

ROUTES

Matériaux , Durabilité des chaussées

MASTER 2 GENIE-CIVIL



SOMMAIRE: Partie I

Chap I:	LE CONTEXTE FRANCAIS	
Chap II:	ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE	
Chap III:	FONCTIONNEMENT D'UNE CHAUSSEE	
Chap IV:	TERMINOLOGIE	1
Chap V:	TRAFIC	
Chap VI:	TERRASSEMENT: REMBLAIS ET COUCHE DE FORME	2
1)	Classification Spécifique des Sols (GTR)	
2)	Conditions d'utilisation en Remblais (GTR)	
3)	Conditions d'utilisation en Couche de Forme	
4)	Traitement des Sols	
5)	Exemple	3
6)	Contrôle de conformité	
Chap VII:	LES GRANULATS	4
1)	Généralités	
2)	Caractéristiques Intrinsèques	
3)	Caractéristiques d'Elaborations	5
4)	Classification des Granulats	
5)	Méthodes d'élaboration des Granulats	6
Chap VIII:	LES LIANTS	
1)	Liants Hydrocarbonés	7
2)	Les Emulsions	
3)	Liants Hydrauliques	8

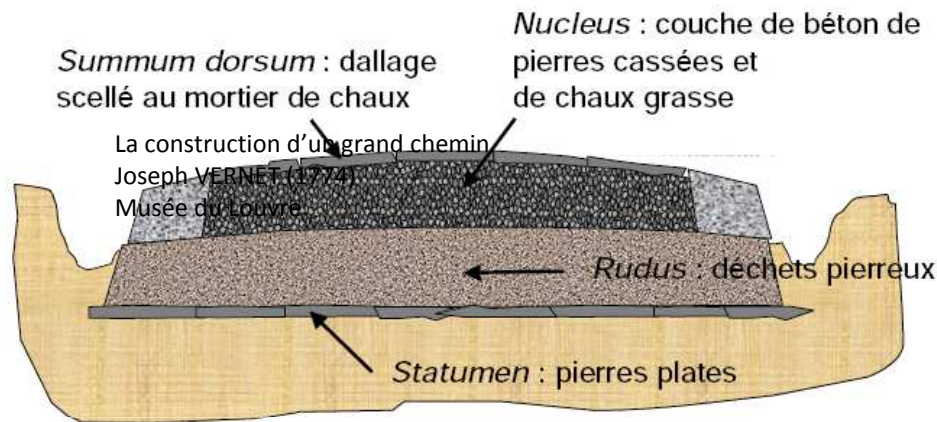
SOMMAIRE: Partie II

Chap IX: LES G.N.T.	
Chap X: LES GRAVES TRAITEES AU LIANT HYDRAULIQUE	8
Chap XI: LES ENROBES BITUMINEUX A CHAUX	9
Chap XII: LES MATERIAUX D'ASSISES	
1) Les Grave-Bitumes	
2) Les EME	10
Chap XIII: COUCHES DE ROULEMENT	
1) Les BBSG	
2) Les BBME	
3) Les BBM	
4) Les BBTM	11
5) Les BBDr	
6) Les Enduits	12
Chap XIV: CONTRÔLE DES ENROBES	
Chap XV: LES DIFFERENTS TYPES DE STRUCTURES DE CHAUSSEES	13
Chap XVI: DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES NEUVES	
Chap XVII: ENTRETIEN DES CHAUSSEES	
Chap XVIII: RENFORCEMENT DES CHAUSSEES	14
1) Principes	
2) Auscultation	15
3) Conception des solutions de renforcement	
Chap XIX: FABRICATION DES ENROBES	16
Chap XX: MISE EN OEUVRE DES CHAUSSEES	

CHAP I: LE CONTEXTE FRANCAIS

- GEOGRAPHIE: Zone Géographique de Passage

- HISTOIRE: -50 av J.C. → II^{ème} Invasion des ROMAINS : en Europe = 90 000 Km voies principales / 200 000 kms voies secondaires



Construites par l'armée et esclaves

Technique avancée

Début de la Cartographie: Table de PEUTINGER

XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle Domination et Prestige Français

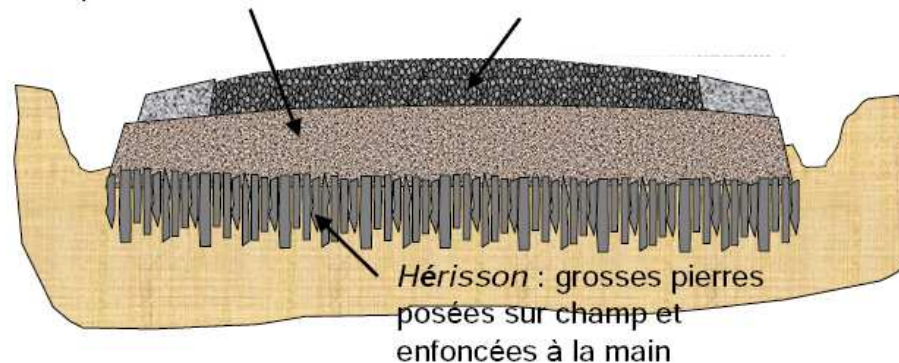
Construction de beaucoup de voies : routes de commerce, routes des postes et routes militaires

1716 - Louis XV crée l'administration des Ponts et Chaussées

Fin de l'ancien Régime: 15 000 km autour de Paris, +17 000 km aux frontières

Couche de régularisation constituée par des éclats de pierres

Pierres dures, cassées à la massette



- CLIMAT

- CONTEXTE ADMINISTRATIF

CHAP I: LE CONTEXTE FRANCAIS

Table de PEUTINGER



XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècle



La construction d'un grand chemin
Joseph VERNET (1774)
Musée du Louvre



CHAP I: LE CONTEXTE FRANCAIS

- HISTOIRE
 - XIX^{ième}

Napoléon développe le réseau routier pour raison militaire (Italie, Espagne)
 Mise en place des premières Bornes Kilométriques,
 Classement des routes en voies Impériales et Départementales → 550 000 km de routes
 - XX^{ième}

1894 invention de l'automobile, 1895 invention du pneu démontable par Michelin
 1901 Ligue Contre la Poussière des Routes (3000 automobiles)
 1907 premier cours de « Goudronnage et pétrolage de chaussées » à l'Ecole de Travaux Publics, du Bâtiment
 1908 1^{ier} congrès mondial de la Route à Paris : « Lutte contre la Poussière » → départ du goudronnage
 1946 gaz naturel remplace le gaz du charbon → déclin du goudron au profit du Bitume
 1957 1^{ier} autoroute en France (Allemagne 1909)

 2000 Normes Européennes
- CLIMAT
 - Climat TEMPERE = HANDICAP (variations de températures Importantes)
 1962 Hivers, destruction en 15j de ¼ du réseau routier au dégel → développement du LPC
 1965 Eté chaud, orniérage des chaussées → Fin des enrobés denses
- CONTEXTE ADMINISTRATIF
 - Le + rigoureux du monde
 Perpignan = Rouen = Paris
 - Essieu Légal le plus lourd du monde = 13 Tonnes (Handicap)
 Domination de l'INGENIERIE PUBLIQUE: Ministère de l'Equipement
 Direction des Routes

 ⇒ Forte Normalisation et conception des référentiels techniques
- Réseau le plus dense et l'Approche Technologique la plus performante au monde
 - Majorité des Techniques routières inventée en France

CHAP I: LE CONTEXTE FRANCAIS

XX^{ième}



La route
Jean Louis DEMARNE (1824)
Musée du Louvre

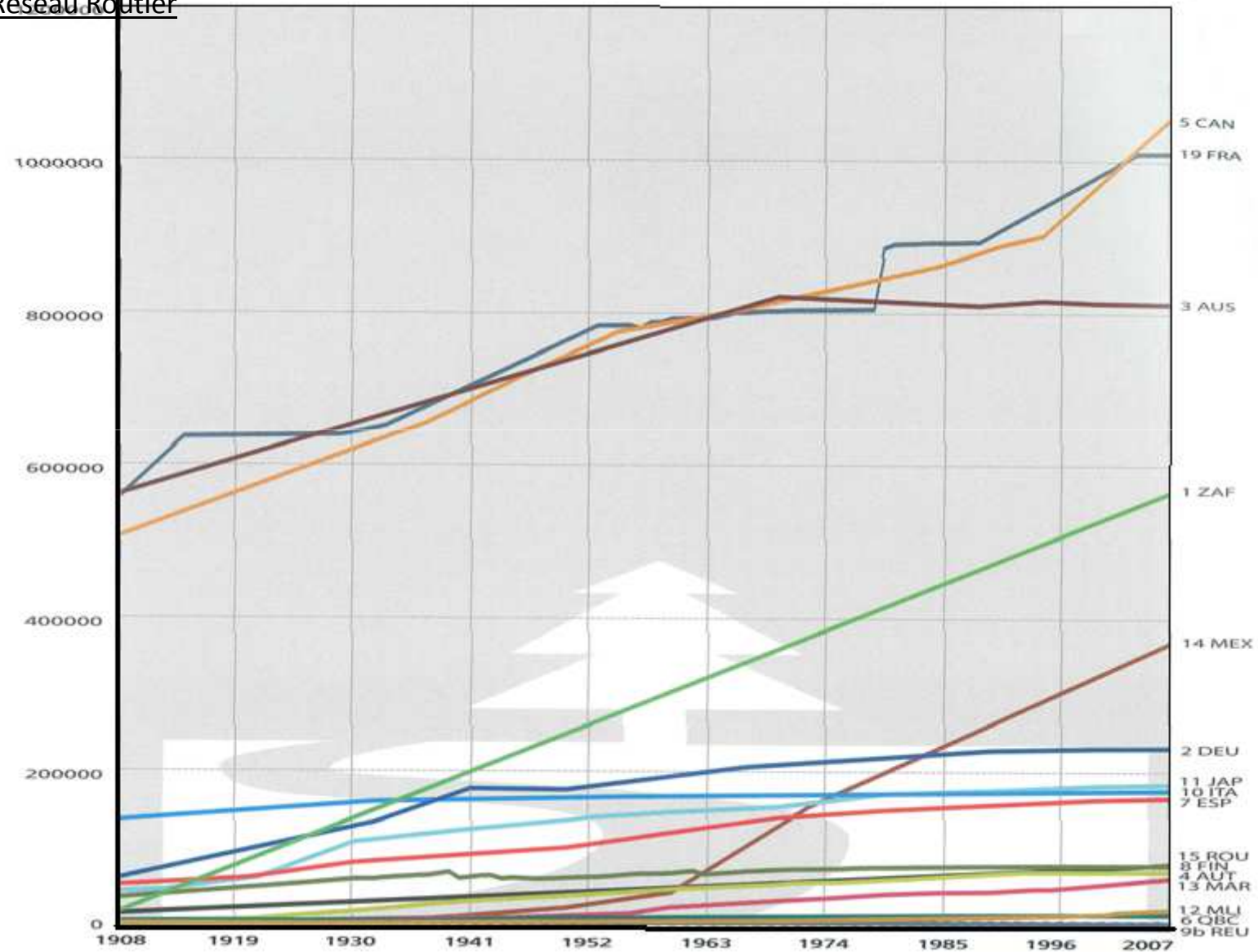
1962 Hivers, destruction en 15j de ¼ du réseau routier au dégel → développement du LPC



Voici un nouvel exemple de dégâts provoqués aux routes par le mauvais temps. Des crevasses ont détérioré cette chaussée près de La Ferté-Gaucher (Seine-et-Marne). Le gouvernement envisage de mettre hors-gel trois grands axes aboutissant à la capitale. (Nos informations page 2.)

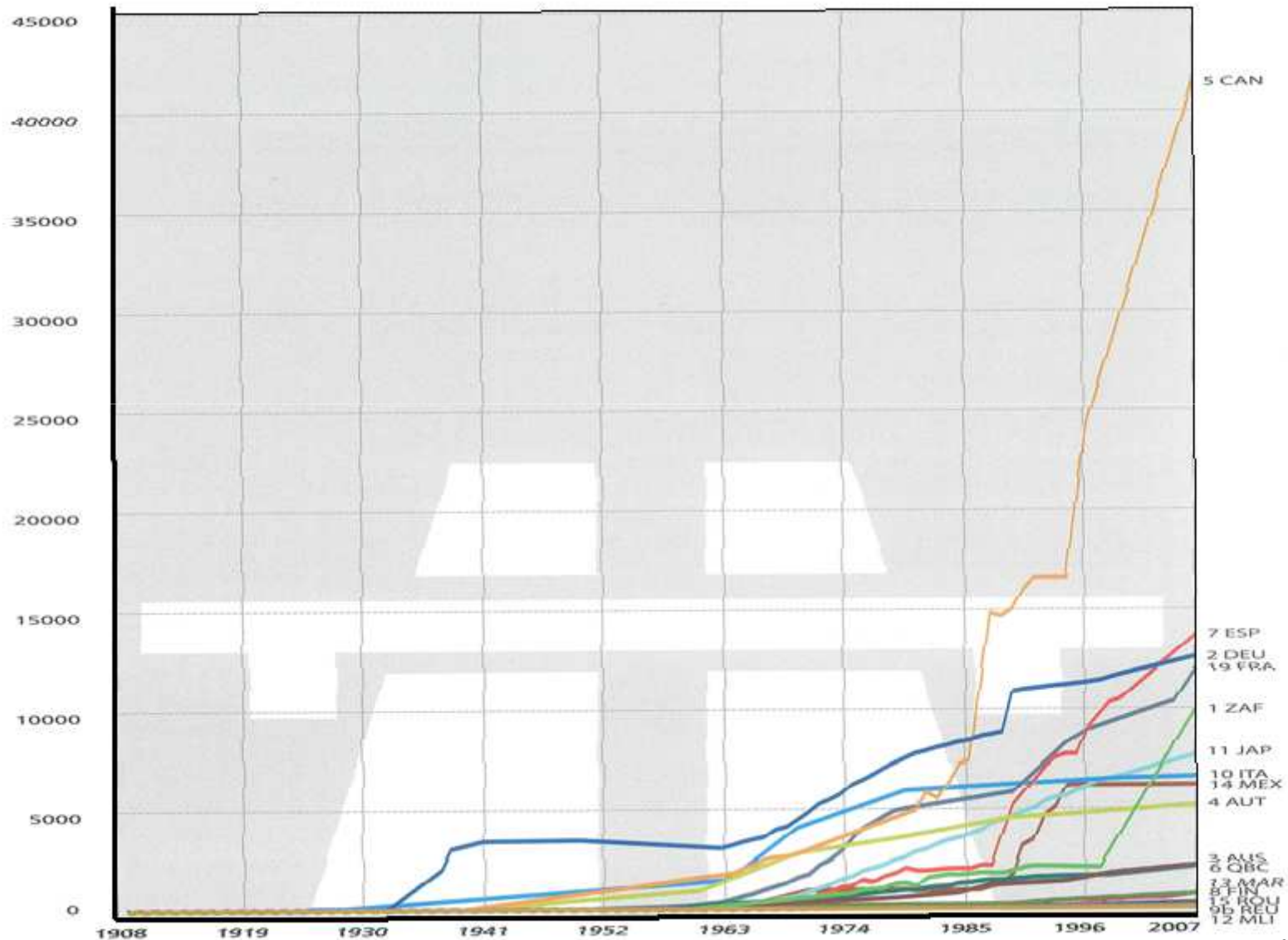
CHAP I: LE CONTEXTE Français / qq Chiffres

100 ans de Réseau Routier



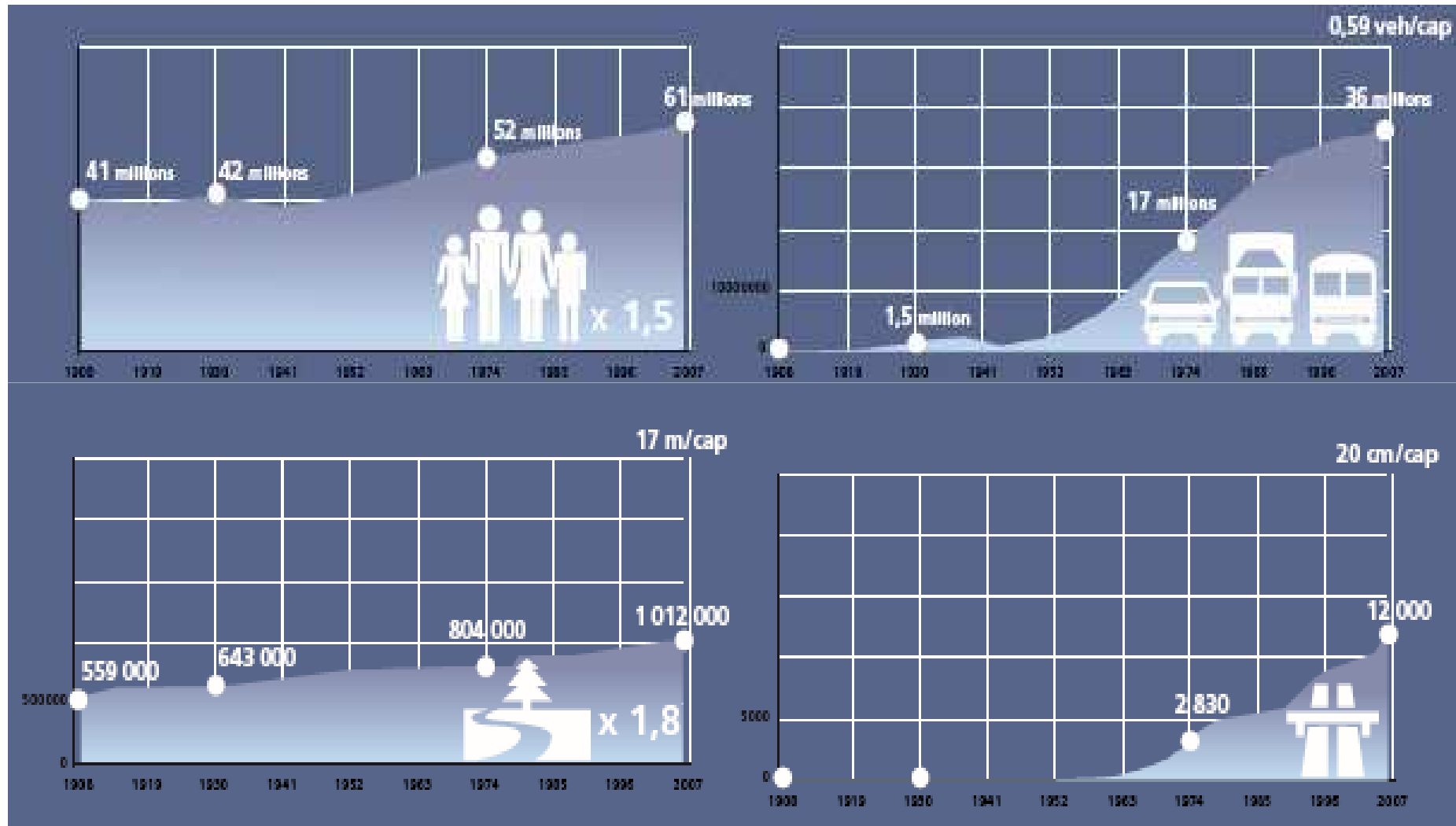
CHAP I: LE CONTEXTE Français / qq Chiffres

100 ans d'Autoroute



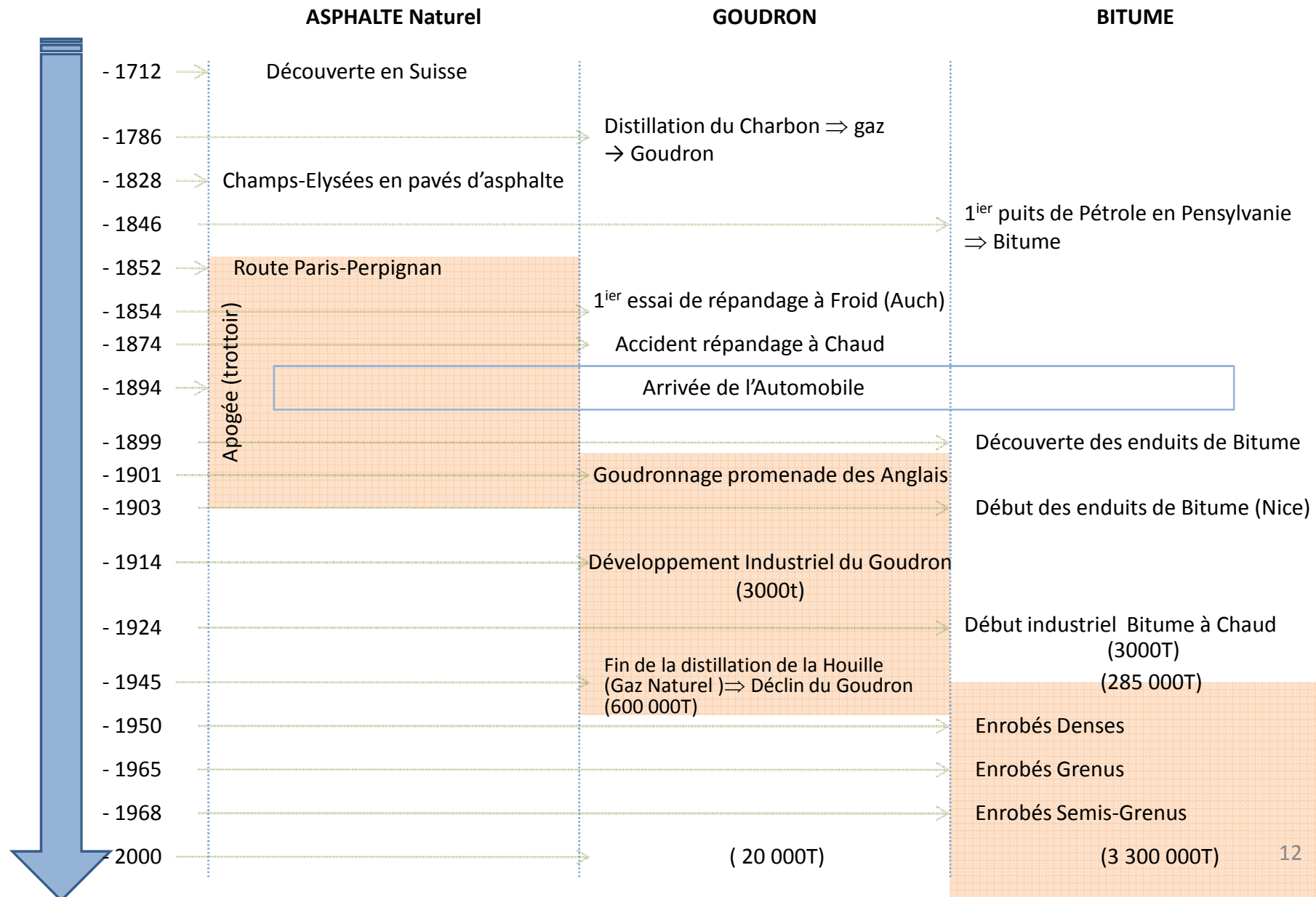
CHAP I: LE CONTEXTE Français / qq Chiffres

Aujourd'hui: réseau routier le + dense au monde (Rapport : Surface voie/Surface pays/ Nbre d'habitants)



CHAP I: LE CONTEXTE Français

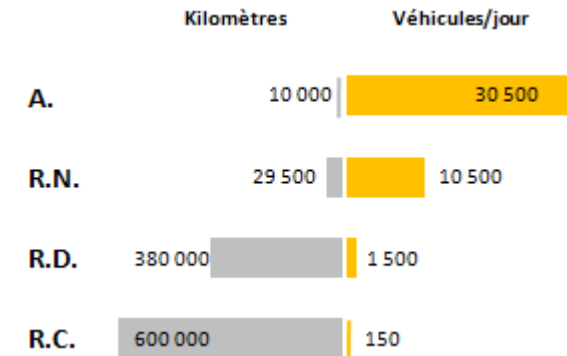
Histoire moderne de la Technique Routière



CHAP I: LE CONTEXTE Français / qq Chiffres

PATRIMOINE FRANCAIS DEVOIR DE CONSERVATION!

- Réseau Routier:
 - 10 500 Km d'autoroute
 - 1 500 Km de Voie Rapide Urbaine (VRU)
 - 26 000 Km de Route Nationale (R.N.)
 - 365 000 Km de Route Départementale (R.D.)
 - 550 000 Km de Voie Communale (V.C.)
 - 700 000 Km de Chemin Ruraux (80% non revêtus)
 - 165 000 Ouvrage Routiers (>5ml)
 - 160 Tunnels routiers
 - 1 I.T.G.G.
 - Km de pistes d'avion Utilitaires (V.U.)
- Véhicules:
 - 29 000 000 de véhicule Légers (V.L.)
 - 6 500 000 de véhicule Utilitaires (V.U.)
 - 80 000 Bus
- Trafics de personnes:
 - 84% par la route en V.L.
 - 9% par réseaux ferré
 - 5% par la route en autobus
 - 2% par avion
- Trafics de marchandises:
 - 75% par la route
 - 16% par réseaux ferré
 - 7% par oléoducs
 - 2% par voies navigables



CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

► Organisation des études de projet d'infrastructures routières en France:

→ Etudes préalables: - Définitions des problèmes et des solutions adaptées

- Inventaire simplifié des impacts

→ Etudes d'avant projet: - Choisir entre les différentes variantes de tracés possibles

- Définir son coût d'objectif

⇒ Bande passante des 300m

→ Concertation avec le public: « Un projet routier doit faire preuve d'acceptabilité sociale »

- Pas Obligatoire, réservé aux Grands Projets

- Informer le Public

- Faire émerger en retour des paramètres de l'environnement non détectés

→ Enquête publique et déclaration d'utilité publique: Obligatoire pour les aménagements > 1,9M€

- Etude d'Impact complète et mesures compensatoires

- Nomination par le Préfet d'un commissaire enquêteur

- Accueil de Public pendant 1 mois minimum

- Recueil des remarques, questions

- Rapport du Commissaire enquêteur ⇒ Déclaration d'Utilité Publique par le Préfet

→ Etudes de projet

- Enquête parcellaires et lancement des acquisitions foncières

- Enquête Loi sur l'eau

- Etude complète=

Métrés

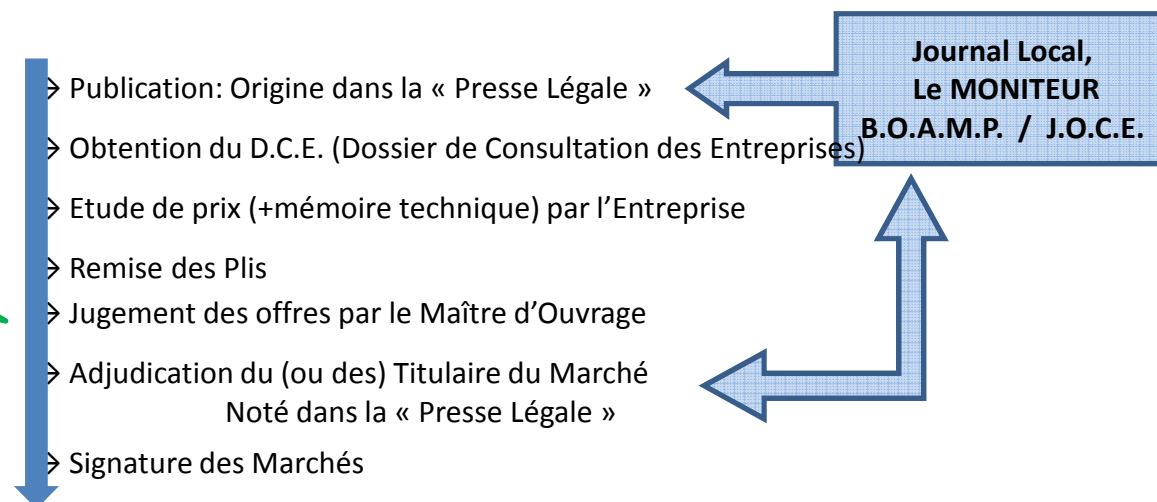
Labo

Montage du D.C.E.

CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

► Appel d'Offre:

- Etabli par le Maître d'Ouvrage
- Conforme au Code des Marchés Publics
- Doit contenir tous les éléments techniques du projet
- Diverses procédures:
 - + Appel d'offre Ouvert= Ouvert à toutes les entreprises
 - + Appel à candidatures= Dossiers de consultation envoyés uniquement aux entreprises retenues sur références.
 - + Appel d'offre sur performance= Réponse à un problème défini par le Maître d'Ouvrage
 - + Marché de conception réalisation= Le candidat retenu étudie le projet et le réalise pour un prix fixé à l'A.O. **P.P.P.**
- Possibilité d'ouvrir l'AO aux **VARIANTES** techniques
 - ⇒ L'entreprise peut proposer une 2^{ème} offre avec une solution technique différente (Structure de chaussées)



CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

► Exemple d'annonce légale: source LE MONITEUR 18 Sept 2008

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

Procédure ouverte

AO-0837-1002

RD 921



Desserte sud de St-Gaudens Zone ouest - Chaussées

AVIS DE MARCHÉ

SECTION I : POUVOIR ADJUDICATEUR

I.1) Nom, adresses et point(s) de contact : Conseil Général de la Haute-Garonne, 1 boulevard de la Marquette cedex 9, Contact : Direction des Marchés Publics bât B porte 503 ou 505, à l'attention de Monsieur le Président du Conseil Général, F - 31090 Toulouse, Tél : 0534333591, Email : marches.sect1@cg31.fr, Fax : 0534333581

Adresse(s) internet :
<http://www.marchespublics.cg31.fr>

Adresse auprès de laquelle des informations complémentaires peuvent être obtenues : Point(s) de contact susmentionné(s)

Adresse auprès de laquelle le cahier des charges et les documents complémentaires (y compris des documents relatifs à un système d'acquisition dynamique) peuvent être obtenus : Point(s) de contact susmentionné(s)

Adresse à laquelle les offres ou demandes de participation doivent être envoyées : Point(s) de contact susmentionné(s)

I.2) Type de pouvoir adjudicateur et activité(s) principale(s) : Collectivité territoriale Services généraux des administrations publiques.

Le pouvoir adjudicateur agit pour le compte d'autres pouvoirs adjudicateurs : non

SECTION II : OBJET DU MARCHÉ

II.1) Description

II.1.1) Intitulé attribué au marché par le pouvoir adjudicateur : RD 921 Commune de Saint Gaudens - Desserte sud de St-Gaudens Zone ouest - Chaussées

II.1.2) Type de marché et lieu d'exécution des travaux, de livraison des fournitures ou de prestation de services : Travaux
Exécution

Lieu principal d'exécution : RD 921, 31800 Saint Gaudens

Code NUTS : FR623

II.1.3) L'avis implique : l'avis implique un marché public

II.1.4) Information sur l'accord-cadre :

II.1.5) Description succincte du marché ou de l'achat / des achats : RD 921 desserte sud de Saint Gaudens zone ouest - Chaussées

II.1.6) Classification CPV (Vocabulaire Commun pour les marchés publics) : 45233225

II.1.7) Marché couvert par l'accord sur les marchés publics (AMP) : Oui

II.1.8) Division en lots :

Prestations divisées en lots : non

II.1.9) Des variantes seront prises en considération : Oui

II.2) Quantité ou étendue du marché

II.2.1) Quantité ou étendue globale : les travaux comprennent entre autres : remblais provenant des déblais ou traités à la chaux : 2 100 m³, remblais d'emprunt : 3 000 m³, couche de forme en matériaux d'emprunt : 1 940 m³, grave 0/20 : 4 200 m³, grave bitume : 18 400 T, béton bitumineux : 6 000 T, accotements grave 0/80 : 3 100 m³, engazonnement : 46 000 m², tranchée et fourreaux : 2 400 ml.

II.2.2) Options : Non

II.3) Durée du marché ou délai d'exécution

Durée du marché ou délai d'exécution : 9 mois (à compter de la date d'attribution du contrat)

SECTION III : RENSEIGNEMENTS D'ORDRE JURIDIQUE, ECONOMIQUE, FINANCIER ET TECHNIQUE

III.1) Conditions relatives au contrat

III.1.1) Cautionnement et garanties exigées : garantie à première demande si avance sollicitée

III.1.2) Modalités essentielles de financement et de paiement et/ou références aux textes qui les réglementent : 100 % du budget propre du conseil Général

- délai global de paiement de 45 jours par mandat administratif. Articles 86 à 111 du Code des Marchés Publics

III.1.3) Forme juridique que devra revêtir le groupement d'opérateurs économiques attributaires du marché : groupement solidaire. Il est interdit aux candidats de présenter plusieurs offres en agissant à la fois : - en qualité de candidats individuels et de membres d'un ou plusieurs groupements, - en qualité de membres de plusieurs groupements.

III.1.4) L'exécution du marché est soumise à d'autres conditions particulières : Non

III.2) Conditions de participation

III.2.1) Situation personnelle des opérateurs économiques, y compris exigences relatives à l'inscription aux registres du commerce ou de la profession
Renseignements et formalités nécessaires pour évaluer si ces exigences sont remplies : Déclaration d'intention de soumissionner (DC4 conseillé), attestation sur l'honneur datée et signée en original établie en application des articles 43 à 45 du Code des marchés publics (modèle joint au DCE).

III.2.2) Capacité économique et financière

Renseignements et formalités nécessaires pour évaluer si ces exigences sont remplies : chiffre d'affaires des trois dernières années (DC5 conseillé), déclaration appropriée des banques ou preuve d'une assurance pour les risques professionnels.

III.2.3) Capacité technique

Renseignements et formalités nécessaires pour évaluer si ces exigences sont remplies : DC 5 conseillé : description des moyens matériels et humains, importance du personnel d'encadrement pour chacune des trois dernières années : certificats de travaux de même nature réalisés au cours des cinq dernières années.

III.2.4) Marchés réservés : Non

SECTION IV : PROCEDURE

IV.1) Type de procédure

IV.1.1) Type de procédure : Ouverte

IV.1.2) Limites concernant le nombre d'opérateurs invités à soumissionner ou à participer :

IV.1.3) Réduction du nombre d'opérateurs durant la négociation ou le dialogue :

IV.2) Critères d'attribution

IV.2.1) Critères d'attribution : Offre économiquement la plus avantageuse appréciée en fonction des critères énoncés avec leur pondération :

1. prix : 70

2. valeur technique : 30

IV.2.2) Une enchère électronique sera effectuée : Non

IV.3) Renseignements d'ordre administratif

IV.3.1) Numéro de référence attribué au dossier par le pouvoir adjudicateur : 2008/voi/0849

IV.3.2) Publication(s) antérieure(s) concernant le même marché

IV.3.3) Conditions d'obtention du cahier des charges et des documents complémentaires ou du document descriptif

Date limite pour la réception des demandes de documents ou pour l'accès aux documents : 13 octobre 2008 à 12 h 00

Documents payants : non

IV.3.4) Date limite de réception des offres ou des demandes de participation : 13/10/2008 à 12 h 00

IV.3.5) Date d'envoi des invitations à soumissionner ou à participer aux candidats sélectionnés

IV.3.6) Langue(s) pouvant être utilisée(s) dans l'offre ou la demande de participation : Français.

IV.3.7) Délai minimal pendant lequel le soumissionnaire est tenu de maintenir son offre

Durée en jours : 90 (à compter de la date limite de réception des offres)

IV.3.8) Modalités d'ouverture des offres : 14 octobre 2008 à 09 h 00

Lieu : Conseil Général Haute-Garonne

Personnes autorisées à assister à l'ouverture des offres : non

SECTION VI : RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

VI.1) Il s'agit d'un marché à caractère périodique :

VI.2) Marché(s) s'inscrivant dans un projet et / ou un programme financé par des fonds communautaires : Non

VI.3) Autres informations :

possibilité d'accès au règlement de consultation, au dossier de consultation et de réponse par voie électronique à l'adresse suivante www.marchespublics.cg31.fr

VI.4) Procédures de recours

VI.4.1) Instance chargée des procédures de recours : Tribunal Administratif de Toulouse, 68 rue Raymond IV, 31000 Toulouse, . Tél : 0562735757. E-mail : greffe.ta-toulouse@juradm.fr. Fax : 0562735740

VI.4.2) Introduction des recours

VI.4.3) Service auprès duquel des renseignements peuvent être obtenus concernant l'introduction des recours : Conseil Général de la Haute-Garonne, 1 bd de la Marquette, 31090 Toulouse cedex 9, . Tél : 0534333591. E-mail : marches.sect1@cg31.fr. Fax : 0534333581

VI.5) Date d'envoi du présent avis : 02 septembre 2008

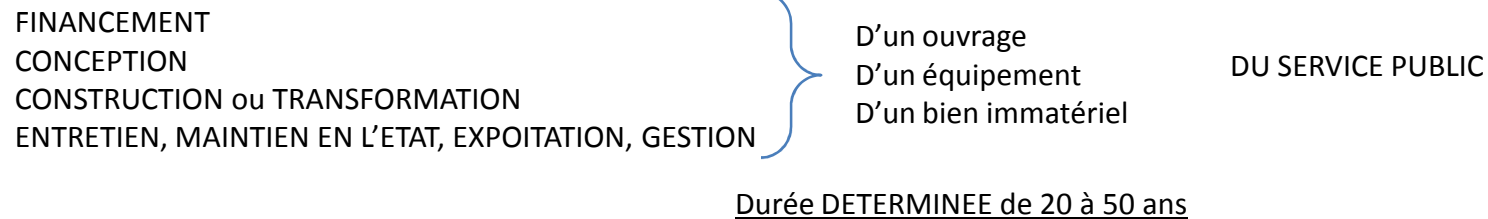
CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

Ambiguïté du financement des infrastructures routières en France:

« C'est le contribuable qui les finance, mais l'utilisateur ne les paye pas! »

- **P.P.P.** : PARTENARIAT PUBLIC PRIVE

Désengagement financier de l'Etat qui confie au privé:



► Concession:

Péage

⇒ Viaduc de Millau

⇒ A65 – Pau / Langon

► Partenariat:

Loyer payé aux entreprises (sans critère de trafic)

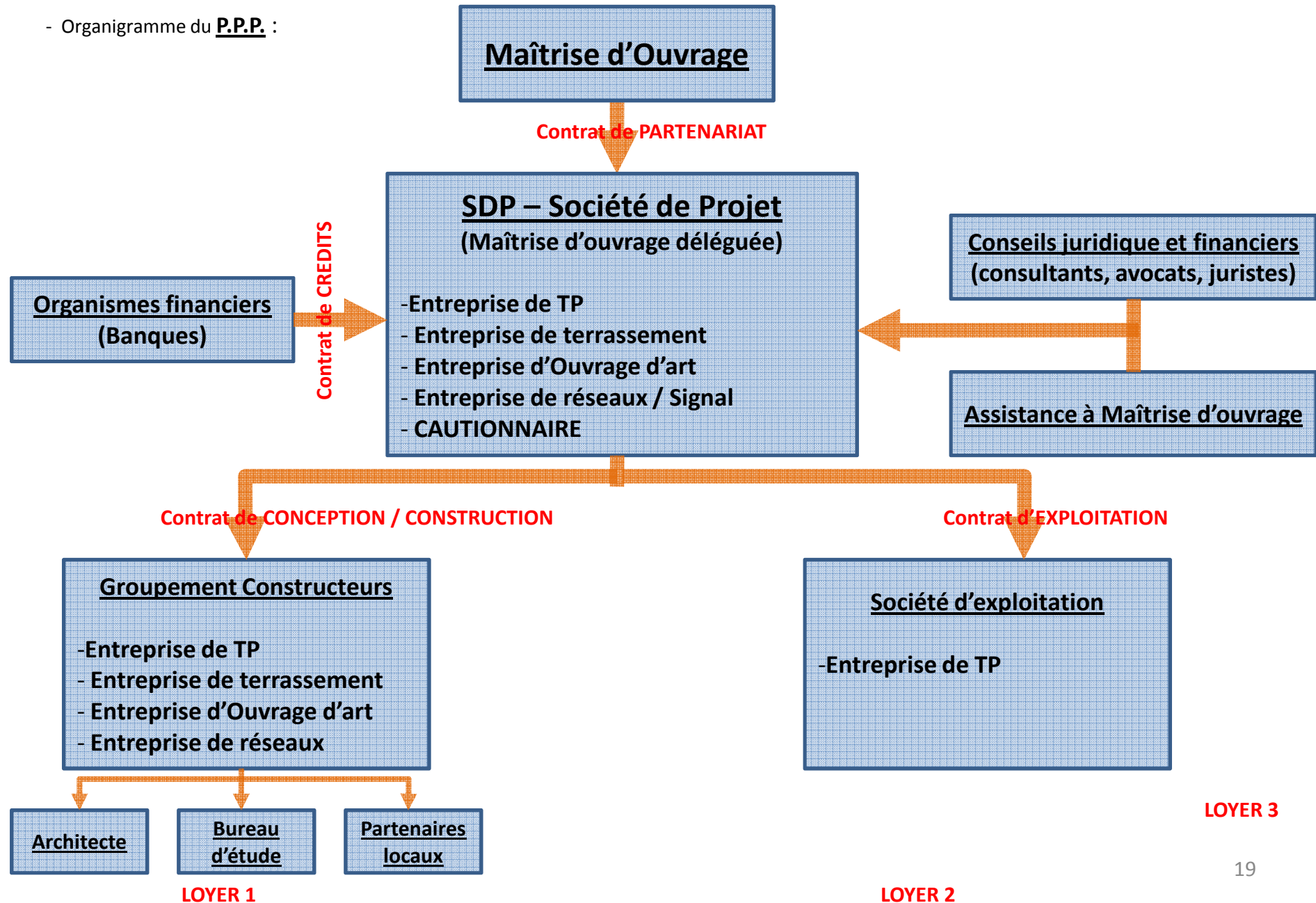
⇒ Projet RN88 – Séverac / Carmaux

► D.S.P. (Délégation de Service Public):

⇒ Station d'Épuration

CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

- Organigramme du P.P.P. :



CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

► Marché de Travaux= **CONTRAT** qui lie le Maître d'Ouvrage avec l'Entreprise retenue.

→ Toute modification du projet en cours de travaux = modification du contrat

⇒ **AVENANT** (Code des marchés publics)

Rq: certaines entreprises étudient très finement le D.C.E. pour en déterminer les faiblesses ou les erreurs.

→ Possibilité de contentieux opposant Maître d'Ouvrage et entreprise: **RECLAMATION**

⇒ Régulé à l'amiable

⇒ Régulé devant le Tribunal Administratif

► Exécution des marchés:

→ Chantier (O.S., Situations Financières Intermédiaires)

→ Réception (Solde Financier)

→ Garantie: Ordonnance du 08 Juin 2005= « les VRD donc les routes sont considérés comme des ouvrages de Génie civil » (≠ travaux de Bâtiment)

⇒

DECENNALE pour la structure (couche d'assise) conception et/ou malfaçon Pas de garantie sur la couche de surface (couche d'usure) 1 an contre les malfaçons Pas d'obligation d'assurance!

► Pièces d'un Marché: ! Ordres Juridique Précis (CCAG)

→ Acte d'Engagement

→ Cahier des Clauses Administratives Particulières

→ Cahier des Clauses Techniques Particulières

→ Plans

→ Bordereau des Prix

→ Détail Estimatif

→ (Sous-Détails de Prix)

→ Cahier des Clauses Techniques Générales

→ Cahier des Clauses Administratives Générales

→ Schéma Organisationnel du Plan d'Assurance Qualité
Risque Environnemental

A.E.

C.C.A.P.

C.C.T.P.

B.P.

D.E.

C.C.T.G.

C.C.A.G.

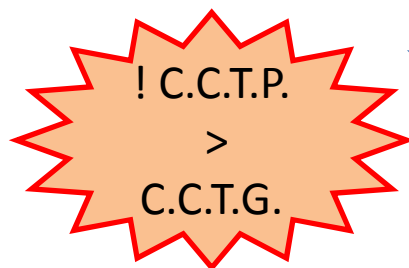
S.O.P.A.Q.

S.O.P.R.E.

**Fascicules Nationaux,
Normes Européennes
depuis 1998 = Loi**

→ P.A.Q.

20



CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

- **MAITRE D'OUVRAGE** : Initiateur du projet, propriétaire, Responsable et programmeur de l'entretien, garant de la

PAYEUR

Sécurité

6%

3%

53%

36%

15%

2%

6%

32%

Etat: Désengagement financier (transfert des RN → RD depuis 2006)

Concessionnaires d'Autoroute (vendu par l'Etat depuis 2005)

Département (Conseil Généraux)

Syndicat Mixte de Transport (TRAMWAY)

Les Communes

Les Privés: C.C.I.(Aéroport), AIRBUS, Leclerc, (I.N.S.A.),



- **MAITRE D'ŒUVRE**:

Entité compétente pour la conception et le suivi des Travaux

Fonction:

Etude Préliminaire, Conception, Budgétisation

Appel d'Offre (A.O.), D.C.E.

Suivi et contrôle des Travaux

Réception

Qui:

D.D.E. (Etat) → Décentralisation (Janvier 2007)

Conseil Généraux : Arrondissement et Subdivision

Communes (grosses): Services Techniques

Communauté de communes (rural)

Communauté d'agglomérations (fonds propres)

Communauté Urbaines (fonds Européens), CUB, CUT

CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

- **MAITRE D'ŒUVRE**: Bureau d'Etude Privés:

→ Français: EGIS (Caisse des Dépôts et Consignation)
SETEC (Indépendant, Français)
INGEROP (Indépendant, Français)

Rq: Gros Français mais petits mondiaux

→ Etrangers: SNC LAVALLIN (Canadien)
ARCADIS (holandais)
GRONTMIJ (holandais)= rachat de Ginger

Rq: mastodontes avec des objectifs de croissances externes

Mutations actuelles: Développement de la maîtrise d'œuvre privée

Notion de rentabilité au détriment de la technicité!

Rq: développement du maître d'œuvre « Contractant Général »

Ex: SNC LAVALLIN= train de la montée du Puy de Dôme

CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

- **ENTREPRISES** : ► 3 leaders Nationaux et Internationaux

Groupe BOUYGUES



Colas



Screg



Sacer



66 7000 personnes
11,7 (6,5)M€ de C.A.
89 000 Chantiers

Groupe VINCI



Eurovia (Jean-Lefebvre)



39 000 personnes
7,7 M€ de C.A.
33 000 Chantiers

Groupe EIFFAGE



Eiffage TP (Appia, Beugnet)



21 000 personnes
4,1 (3,3) M€ de C.A.
30 000 Chantiers

CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

- ENTREPRISES : ► Nationaux et Locaux



CHAP II: ORGANISATION DES T.P. EN FRANCE

► Système Qualité du chantier :

« La Route n'est pas une Industrie, c'est un artisanat mécanisé »

⇒ Mise en place d'une approche Qualité en France depuis 1994

► P.A.Q. Plan d'Assurance Qualité :

→ Issu du S.O.P.A.Q. après signature du Marché

→ Description: des moyens
des méthodes
des contrôles Internes et Externes

→ Proposition des Fournitures

→ Contrôle Interne: Interne à la chaîne de production
Sous la responsabilité des exécutants

→ Contrôle Externe: Externe à la chaîne de production
Laboratoire de l'Entreprise

► Contrôle Extérieur

→ Fait par le M.Oeuvre

→ Valide les résultats de l'Entreprise

→ Fonction du P.A.Q.

► Certificat ISO 9000: Management Qualité

→ Système de Management Interne Qualité

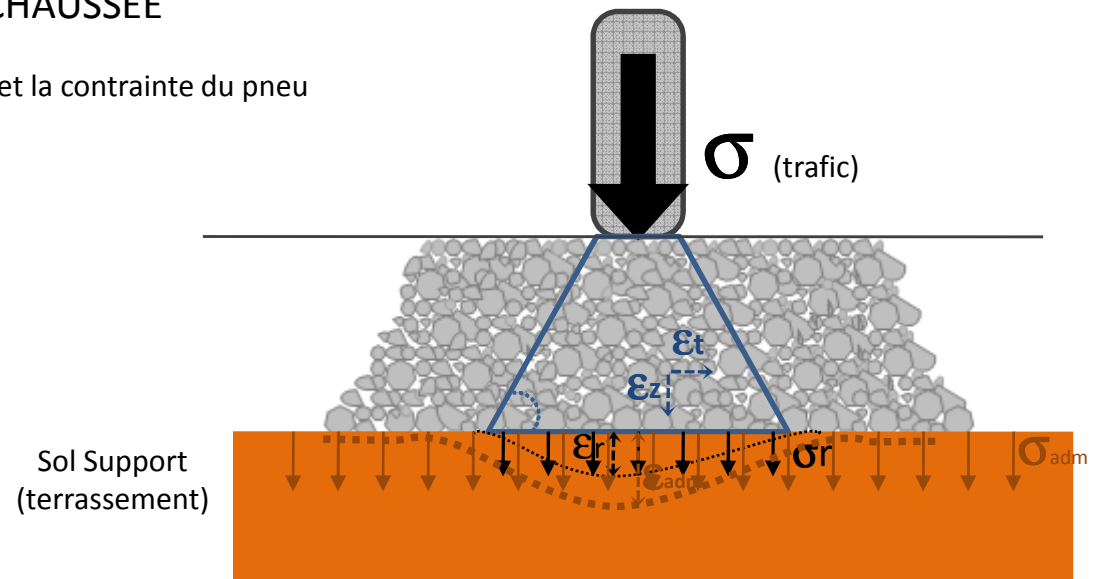
→ Non Règlementaire



🔔 LA CONFORMITE DE L'ŒUVRE EST PRONONCEE D'APRES LES RESULTATS DU CONTRÔLE EXTERIEUR

CHAP III: FONCTIONNEMENT D'UNE CHAUSSEE

► Chaussée= interface entre le sol support et la contrainte du pneu



► Données de Base=

- Les performances mécaniques du sol support = contraintes maxi admissibles σ_{adm}
déformation maxi admissibles ϵ_{adm} (réversible)
- Les chaussées = toujours formées de matériaux granulaires
 - ⇒ Angle de frottement interne
 - ⇒ Déformation interne des matériaux ϵ_z, ϵ_t
 - ⇒ Contrainte Résiduelle σ_r
 - ⇒ Déformation Résiduelle ϵ_r

► Dimensionner une Chaussée= Trouver le meilleur compromis entre



- ★ Améliorer la contrainte maxi du sol support
- ★ Augmenter la hauteur de la chaussée
- ★ Améliorer l'angle de frottement interne

Sol : $\epsilon_r < \epsilon_{adm}$

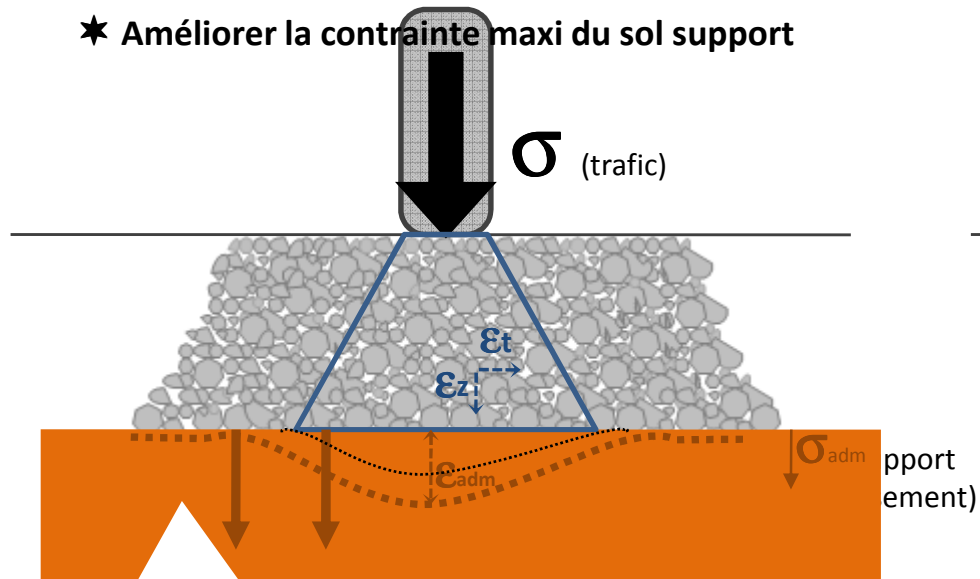
matériaux :
 $(\epsilon_z, \epsilon_t) < \epsilon_{(adm, mat)}$
 $\sigma_{tt} < \sigma_{(adm, mat)}$

- Paramètres complémentaires=
- Fatigue (attrition), durée de vie
 - Imperméabilité
 - Traficabilité
 - Surface= Glissance, bruit, confort

- Comportement au Gel/Dégel
- Limites de Mise en Œuvre (Epaisseurs)

CHAP III: FONCTIONNEMENT D'UNE CHAUSSEE

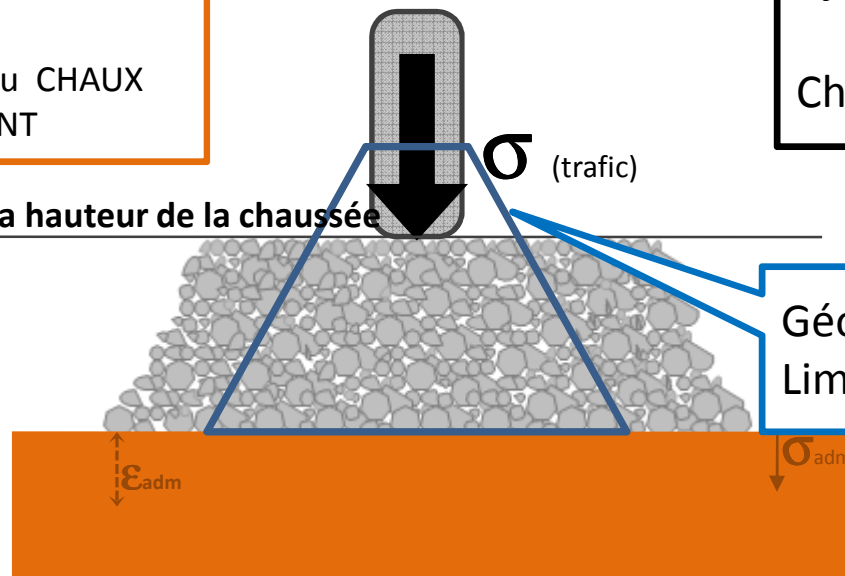
★ Améliorer la contrainte maxi du sol support



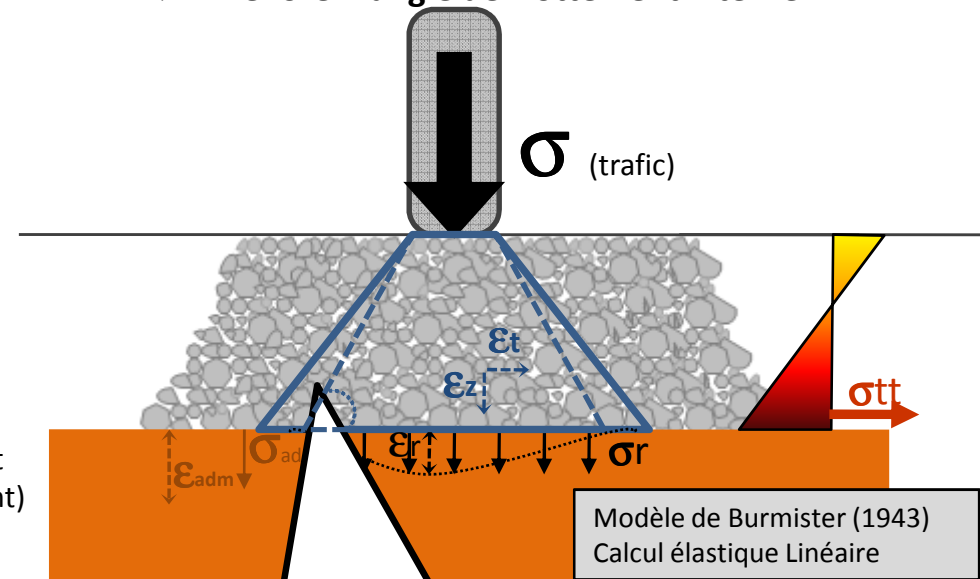
TERRASSEMENT

Présence d'Argile
 Traitement du sol
 Insensibiliser à l'eau CHAUX
 Durcir CIMENT

★ Augmenter la hauteur de la chaussée



★ Améliorer l'angle de frottement interne



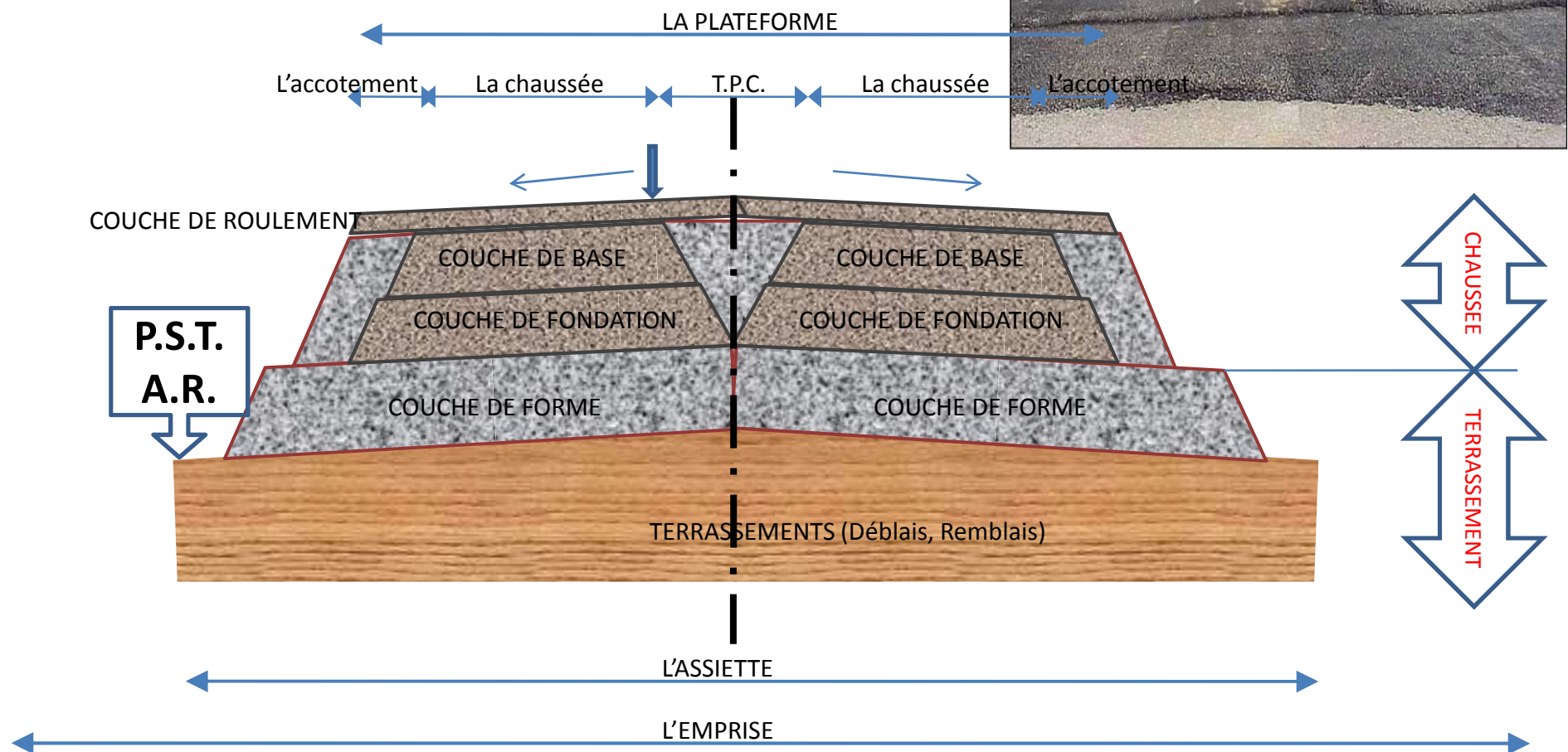
Modèle de Burmister (1943)
 Calcul élastique Linéaire

Ajout d'un liant
 Bitume ou Ciment
 Chaussée semi-rigide

Géométrie
 Limiter par la mise en œuvre

CHAP IV: TERMINOLOGIE

- Terminologie géométrique des voies routières :



- Dévers = 2,5% mini en France
- Profil en Long (ligne blanche V.R.)

CHAP IV: TERMINOLOGIE

► Les différents types de routes Françaises:

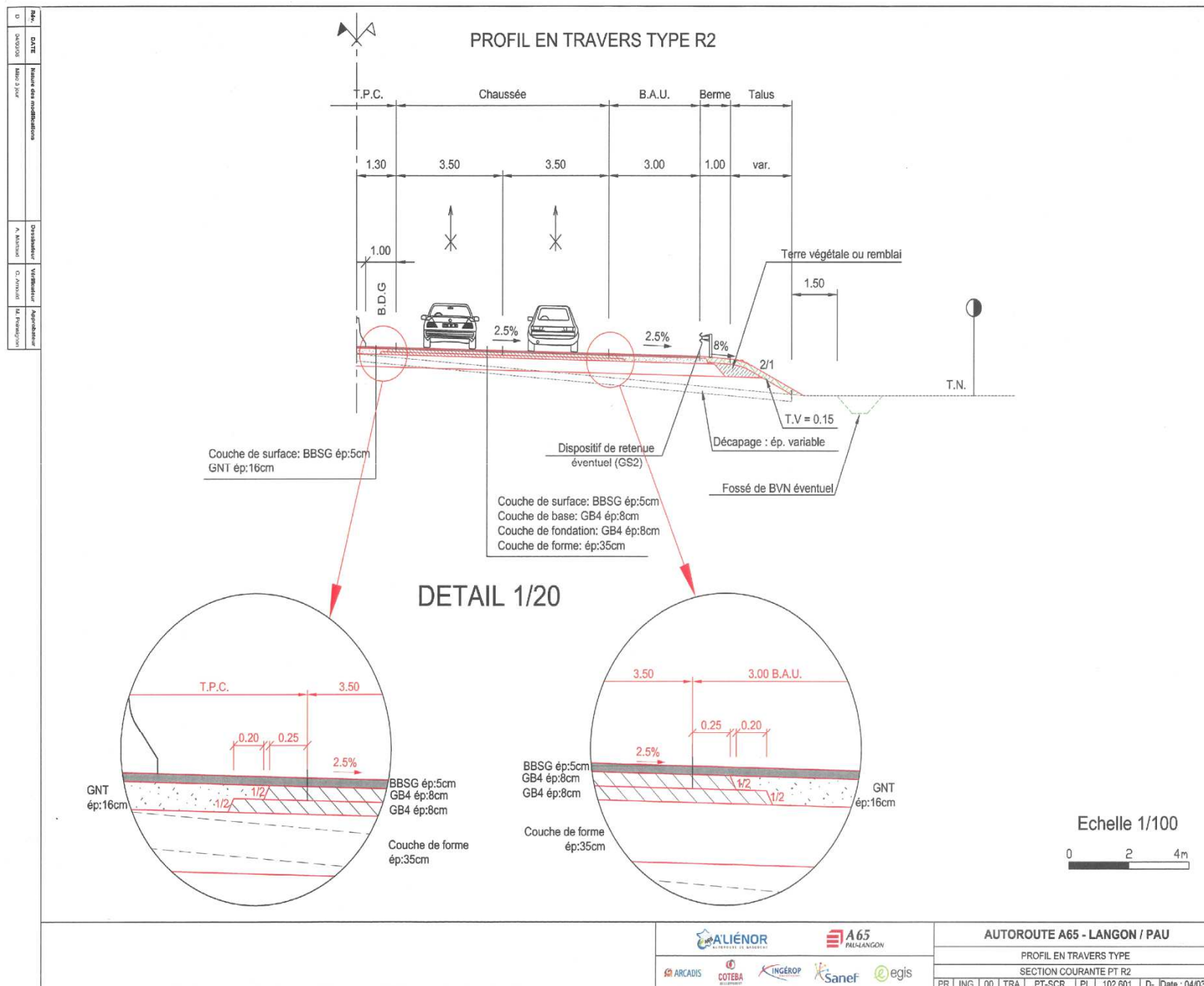
- Type L: Routes de grandes **Liaison**, Autoroutes
- Type T: Routes de **Transit**, Routes Express
- Type R: Routes **Multifonctionnelles**, Essentiel des voies principales en rase campagne
- Type S: Routes de **Secondaires**, mêmes caractéristiques que les routes R avec un trafic faible

Hypothèses \nrightarrow pour le dimensionnement des structures

Types de routes	VRNS Voies du Réseau Non Structurant		VRS Voies du Réseau Structurant	
	R (Routes)	R (Artères interurbaines)	T (Routes express)	L (Autoroutes)
Nombre de chaussées	1 chaussée (à 2 ou 3 voies)	2 chaussées	1 chaussée (à 2 ou 3 voies)	2 chaussées
Carrefours	plans ordinaires, ou giratoires	giratoires ou plans sans traversée du T.P.C	dénivelés	dénivelés
Accès	selon les cas, sans accès ou accès possibles	si accès, pas de traversée du TPC	sans accès riverains	sans accès riverains
Limitation de vitesse hors agglomération	90 km/h	110 km/h ou 90 km/h	90 km/h	130 km/h ou 110 km/h
Traversée d'agglomération	oui, éventuellement	oui, éventuellement	non	non
Catégories possibles	R60 ou R80	R60 ou R80	T80 ou T100	L100 ou L120
Domaine d'emploi	liaison à courte ou moyenne distance	liaison à courte ou moyenne distance	liaison à moyenne ou grande distance	liaison à moyenne ou grande distance
Trafic à terme	Trafic moyen (1 chaussée)	Fort trafic (2 chaussées)	Trafic moyen	Fort trafic
Type de sécurité	Voies principales en milieu rural	Voies principales en milieu rural	Voies isolées de leur environnement	Voies isolées de leur environnement

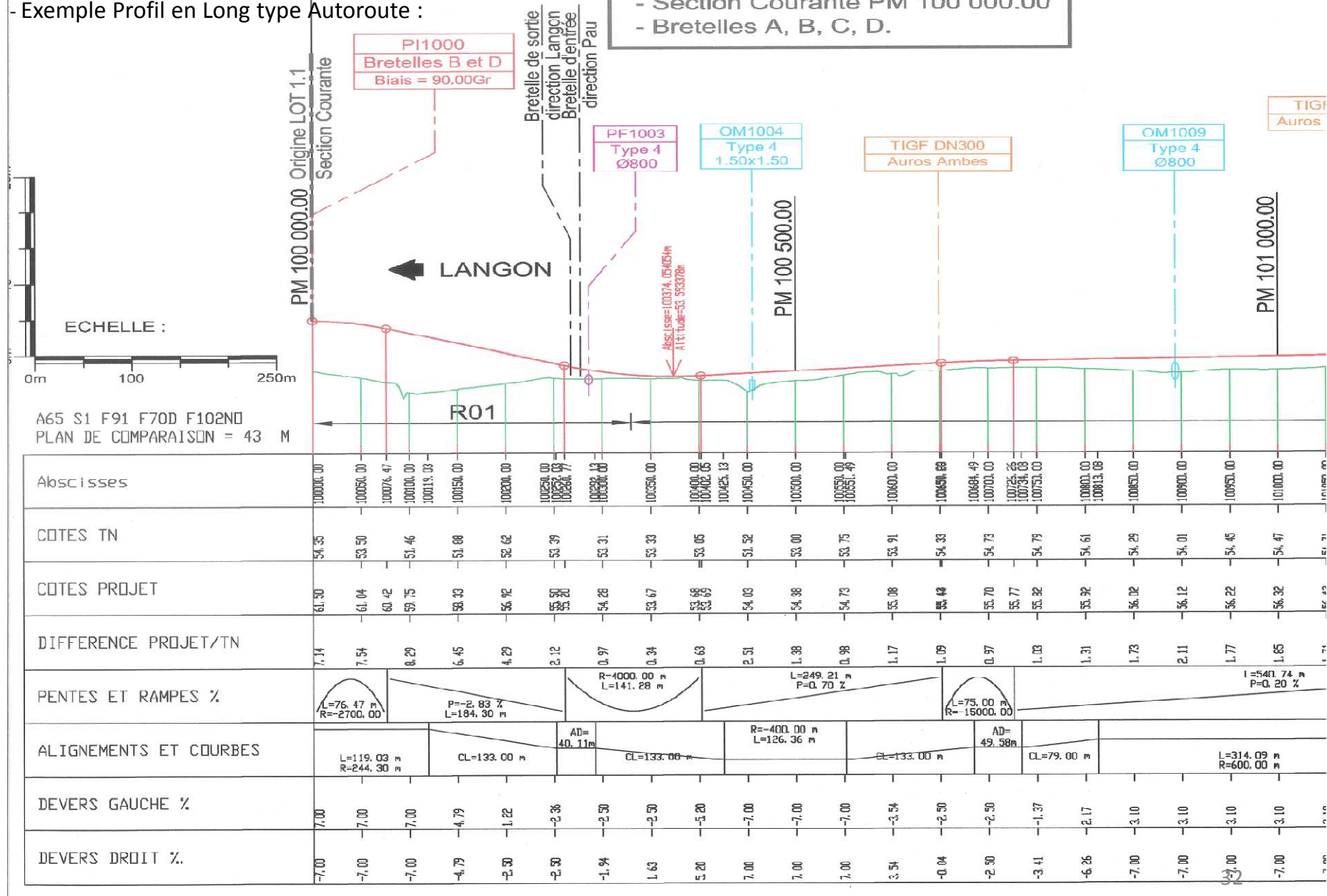
Type de Voie
+
Vitesse





CHAP IV: TERMINOLOGIE

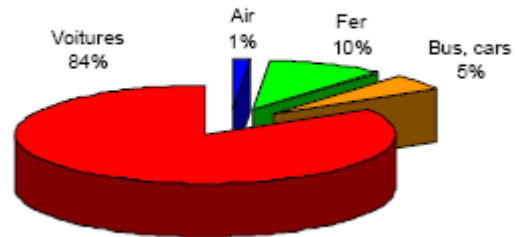
- Exemple Profil en Long type Autoroute :



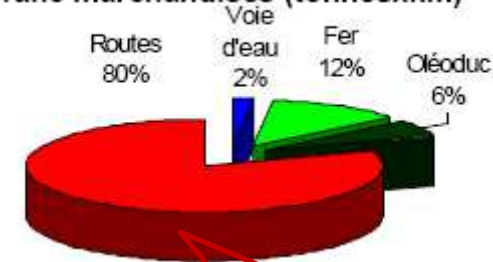
CHAP V: TRAFIC

► Trafic Français en 2004:

Trafic voyageurs (voyageursxkm)



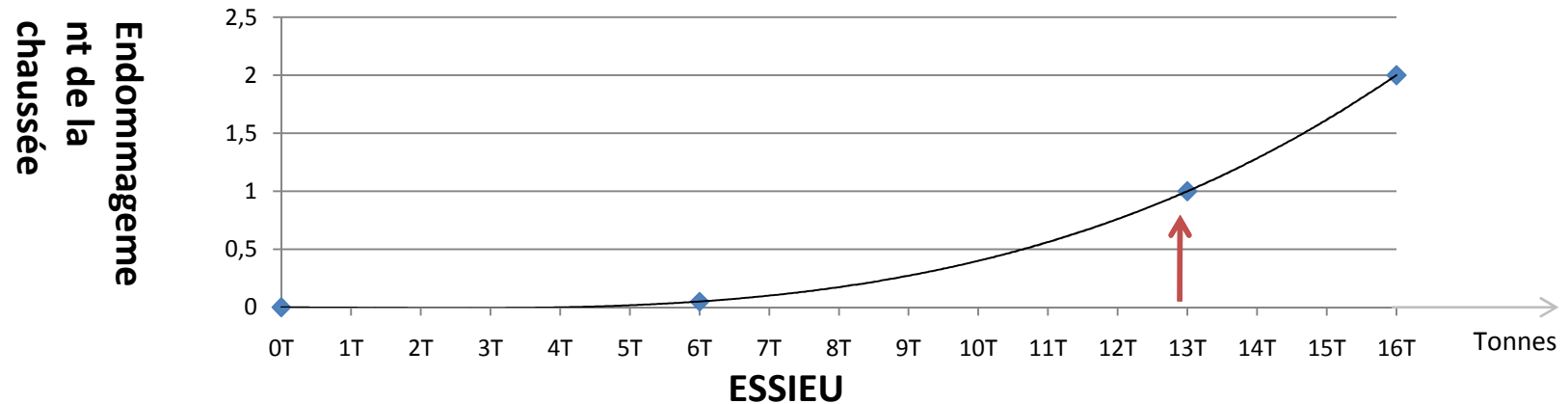
Trafic marchandises (tonnesxkm)



Dont 80% de P.L.

► Accroissement permanent du Trafic: +4,5% moyen en France

► Passage d'un Essieu sur une chaussée :



⇒ 1 passage de P.L. = 500 000 à 1 000 000 de V.L.

► En France : le trafic P.L. = 10% du trafic total

⇒ Le trafic P.L. sert au dimensionnement

CHAP V: TRAFIC

► Poids Lourds = véhicule de charge Utile > 3,5 tonnes

► Essieux : → Essieu Isolé à roues simples



→ Essieu Isolé à roues jumelées



→ Essieu montés en Tandem



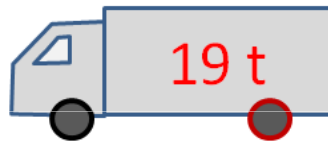
→ Essieu montés en Tridem



► Catégories de Poids-Lourds(SPL) :

→ PORTEURS:

4x2



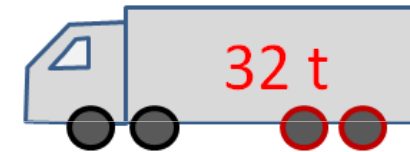
Max 13t

6x4



Max 11,5t

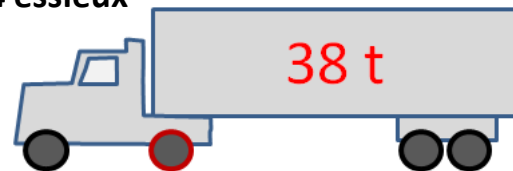
8x4



Max 11,5t

→ ARTICULES: (semi-remorque)

4 essieux



Max 10,5t

5 essieux



Max 10,5t

CHAP V: TRAFIC

► Transport Exceptionnels :

- ★ Transport Combiné: Port (<100km) **PTAC 44 t (5essieux) / Essieu Max 13t**
- ★ Transport de Bois ronds (Grumier) **PTAC 52 t (5ex) / 57 t (6ex) / 65 t (7ex) / 72 t (>7ex)**
- ★ Transport de Betteraves **PTAC 44 t (5ex)**
- ★ Convoi Exceptionnel

► Décret du 18 Janvier 2011 : **→ Le poids total roulant autorisé pour les poids lourds transportant des produits agro-alimentaires passe immédiatement de 40 à 44 tonnes.**

→ Sixième essieu obligatoire en 2014 pour les véhicules neufs et 2019 pour les autres

→ Mise en application de l'Ecoredevance poids lourds programmée pour 2012=
44T pour tous les autres trafics

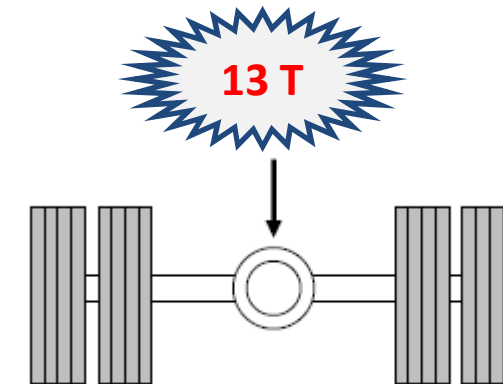
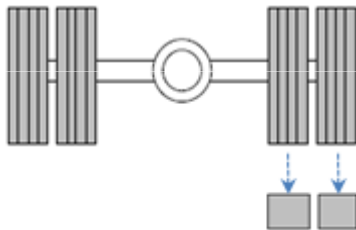
CHAP V: TRAFIC

► France = Essieu Légal le plus élevé au Monde :

Pays	Essieu simple	Essieu tandem
Allemagne	10	16
Belgique	13	20
Espagne	13	21
France	13	21
Grèce	13	-
Italie	12	19
Pays-Bas	10	16
Portugal	10	-
Royaume-Uni	10	16

► Modélisation de l'essieu de Référence :

Empreintes réelles :

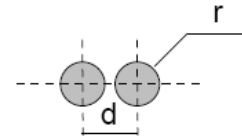


Empreintes pour la modélisation :

$$R = 0,125 \text{ m}$$

$$Q = 0,662 \text{ Mpa}$$

$$d = 0,375 \text{ m}$$



► Mesure du Trafic en **M.J.A.** = Moyenne par Jour sur 1 Année des passages de P.L. par sens

Pour les chaussées bidirectionnelles : Largeur < 5ml → 100% du trafic total PL dans les 2 sens

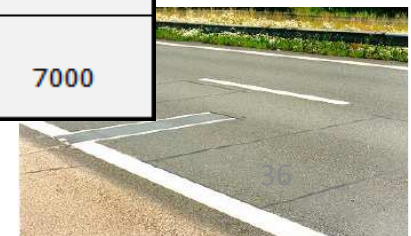
5ml < Largeur < 6ml → 75% du trafic total PL dans les 2 sens

6ml < Largeur → 50% du trafic total PL dans les 2 sens (ou comptage de la voie la + chargée)

► Classes de Trafic:

Classe	T5		T4		T3		T2		T1		T0		TS		T Exp
					T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+	
M.J.A.	0	25	50	85	150	200	300	500	750	1200	2000	3000	5000	7000	

► Comptage du Trafic: boucle magnétique, compteur pneumatique, comptage manuel, radar



CHAP V: TRAFIC

► Pour le calcul de Dimensionnement = le trafic est caractérisé par le nombre NE

NE = nombre équivalent d'essieux de référence correspondant au trafic PL cumulé sur la durée initiale de calcul

$$NE = N \times CAM$$

N = nombre cumulé de poids lourds

$$N = 365 \times MJA \times C$$

$$C = [(1+\tau)^p - 1] / \tau \quad \text{facteur de cumul}$$

τ = taux d'accroissement du trafic

p = durée de vie de calcul de la chaussée

VRS → Réseau Structurant: 30 ans – 5%

VRNS → Réseau Non Structurant : 20 ans – 2%

CAM = coefficient d'agressivité

→ Calculé après comptage détaillé des essieux

→ Si ∃ pas de comptage

Chaussée à Faible Trafic				
Classe	T5	T4	T3-	T3+
CAM	0,4	0,5	0,7	0,8

Chaussée à Trafic Moyen et Fort ($\geq T2$)			
	Couches Hydrocarbonées des structures mixtes et inverses	C chaussées bitumineuses d'épaisseur $\geq 20\text{cm}$	Couches de matériaux traités aux liants hydrauliques et en béton de ciment
	Couches Hydrocarbonées d'épaisseur $\leq 20\text{cm}$ des chaussées bitumineuses	Couches non liées et Sols Support	
CAM	0,4	0,5	0,8


► Engagement du M.O. sur Trafic et Durée de vie (30ans) ↔ LITIGES

CHAP V: TRAFIC

► Exemple de calcul:

Trafic T2
Taux de croissance géométrique 7% par an
Durée initiale 20 ans
Couche Bitumineuse

1) Trafic T2 → 200 PL/jour



Classe	T5		T4		T3		T2		T1		T0		TS		T Exp
					T3-	T3+	T2-	T2+	T1-	T1+	T0-	T0+	TS-	TS+	
M.J.A.	0	25	50	85	150		200	300	500	750	1200	2000	3000	5000	7000

2) Facteur de cumul $C = [(1+\tau)^{\rho} - 1] / \tau$

τ = taux d'accroissement du trafic = 7%

ρ = durée de vie de calcul de la chaussée = 20 ans

$$C = [(1+\tau)^{\rho} - 1] / \tau = [(1+0,07)^{20} - 1] / 0,07 = \mathbf{40,995}$$


3) Trafic Cumulé par voie $N = 365 \times MJA \times C = 365 \times 200 \times 40,995 = \mathbf{2,99 \ 10^6}$

4) Coefficient d'agressivité CAM

Chaussée Bitumineuse → CAM = 0,5

5) Nombre d'essieux équivalents $NE = N \times CAM$

$$NE = 2,99 \ 10^6 \times 0,5 = \mathbf{1,50 \ 10^6}$$



Chaussée à Trafic Moyen et Fort ($\geq T2$)			
	Couches Hydrocarbonées des structures mixtes et inverses	Chaussées bitumineuses d'épaisseur ≥ 20 cm	Couches de matériaux traités aux liants hydrauliques et en béton de ciment
	Couches Hydrocarbonées d'épaisseur ≤ 20 cm des chaussées bitumineuses	Couches non liées et Sols Support	
CAM	0,4	0,5	0,8

CHAP V: TRAFIC

► Grenelle de l'environnement: FRET

Constat: augmentation prévisionnelle de fret Européen

Débat Européen sur l'autorisation des MEGA TRUCKS (SUPER POIDS LOURDS)

25,25m de longueur

PTC porté à 60T

Essais actuels en Suède, Allemagne, Danemark et Pays-Bas

→ AVANTAGES

Investissement faible en transport

Rentabilité immédiat du transport

→ INCONVENIENTS

Infrastructure routière Court terme= giratoire, aire de stationnement....

Long terme= Structure, entretien....

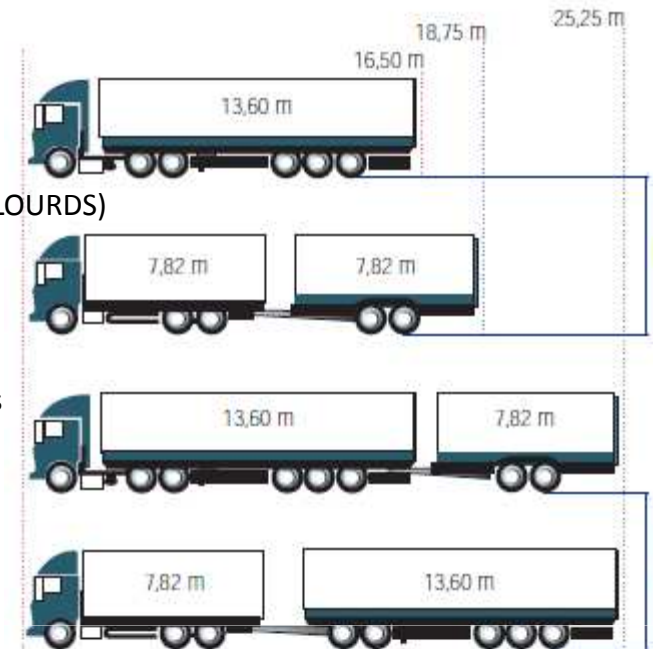
Sécurité routière

Environnement: Gaz à effet de Serre

Concurrence déloyale avec les autres modes de Fret

Financement déloyal: Collectivité / Utilisateurs

Coûts externes réels



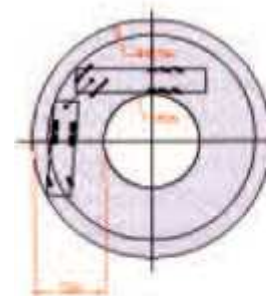
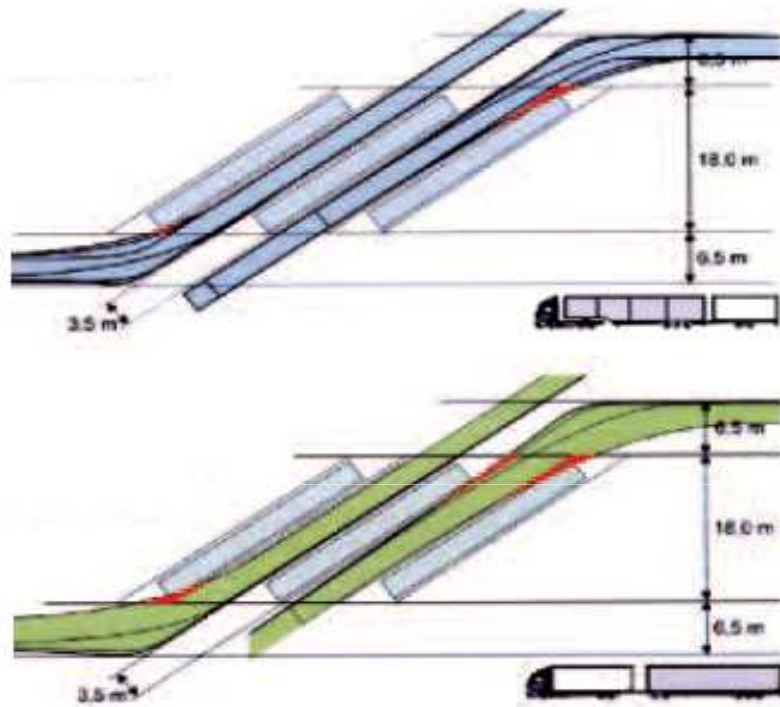
→ SOLUTION: transport combiné?

CHAP V: TRAFIC

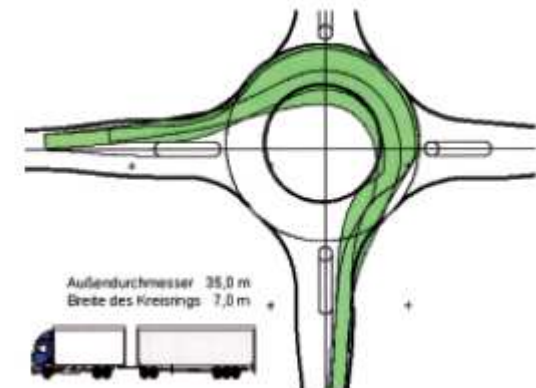
→ INCONVENIENTS

Infrastructure routière

Court terme= giratoire, aire de stationnement....

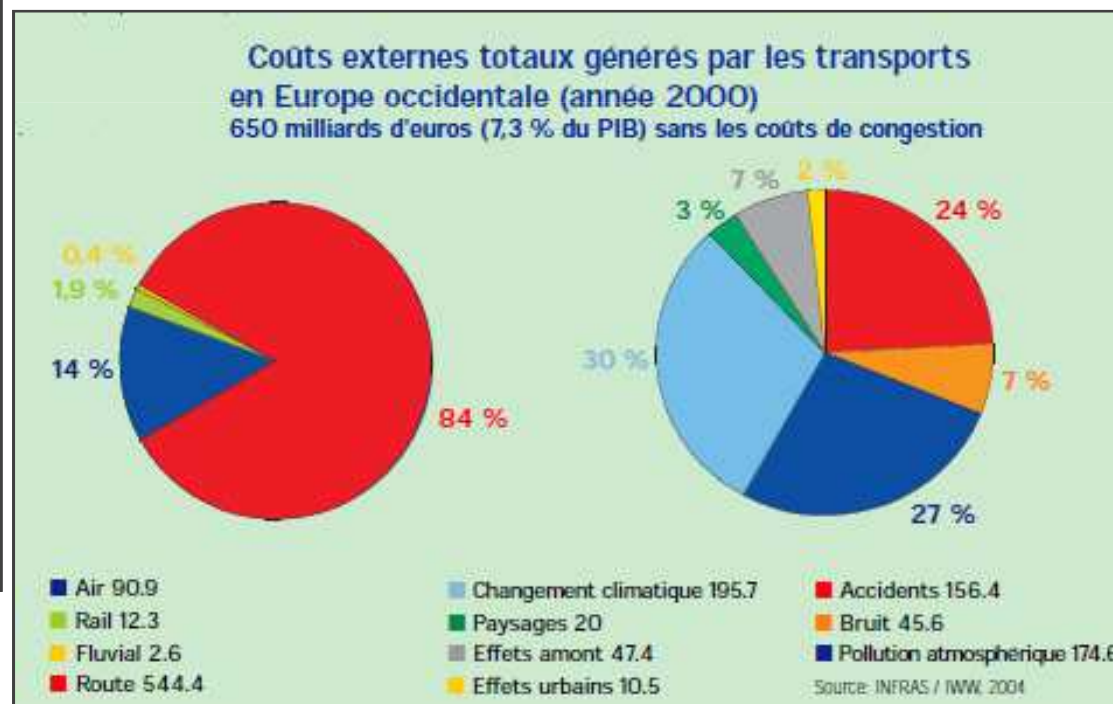
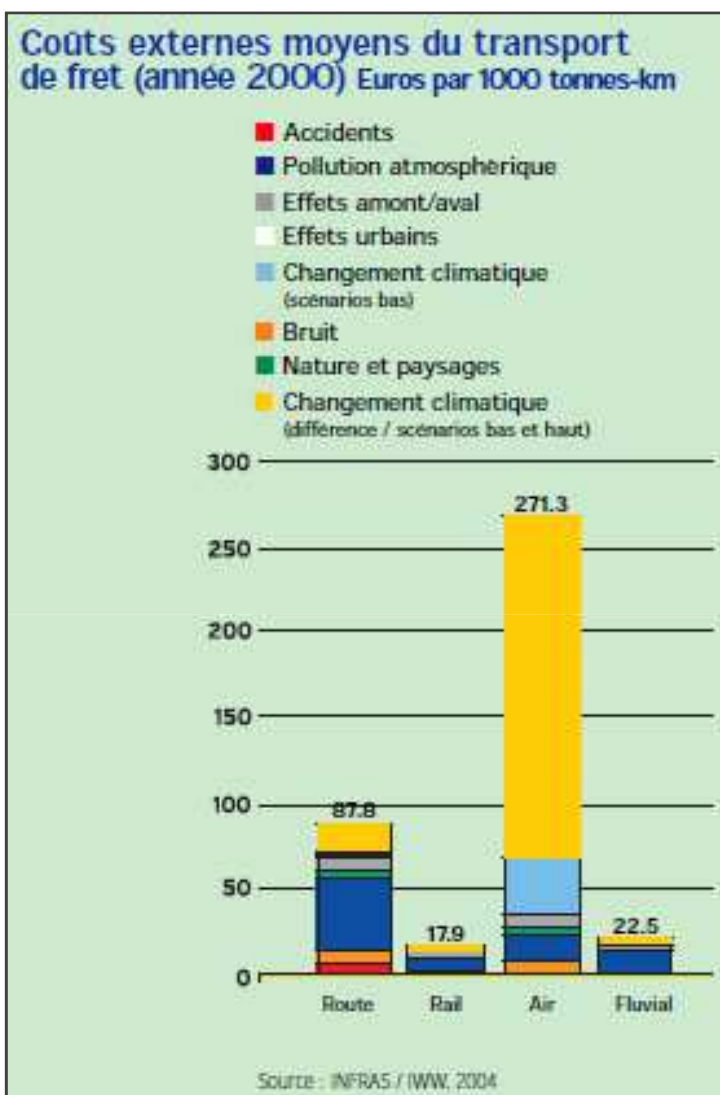


BO-Kraftkreis
 Außenradius 12,5 m
 Innenradius 5,0 m
 Breite des Kreisrings 7,5 m

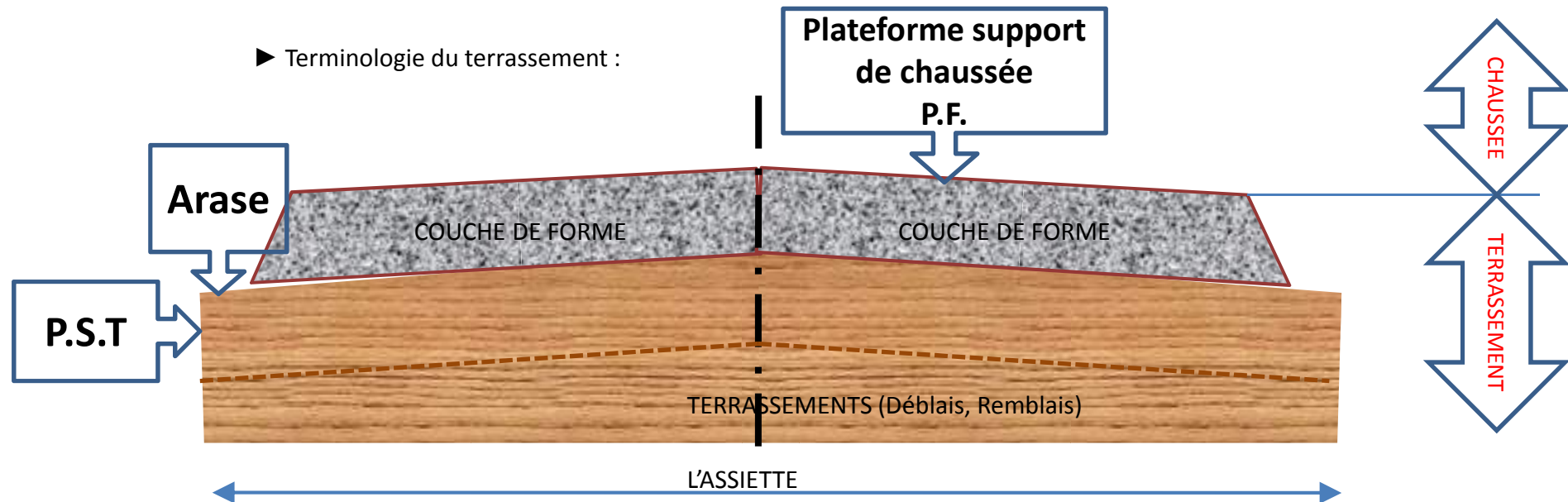


Außendurchmesser 35,0 m
 Breite des Kreisrings 7,0 m

CHAP V: TRAFIC



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME



► Règles et Objectifs :

- Utiliser et s'adapter aux matériaux du chantier ou d'une zone extérieure la plus proche possible appelée Zone d'Emprunt.
- Utilisation de règles de référence à partir desquelles l'ingénieur doit en apprécier les adaptations en fonction de son expérience (\Rightarrow pas de calcul mathématique).
- Adapter le terrain naturel au profil en long du projet et proposer une portance suffisante pour permettre la réalisation des couches de chaussées et accepter le trafic.
- Déblais, remblais, drainage, talus, décapage.

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

- La Bible du Terrassier : RTR (Recommandation pour les Terrassements Routiers) de 1976

⇒ en 2000 **GTR Guide Technique des Remblais et Couches de Forme**

► 2 Organismes :

SETRA (Service d'Etude sur les Transports, les routes et leurs aménagements)=
Service Technique du Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement durable

R.S.T. (Réseau du Service Technique de l'Équipement) =

► 2 Fascicules :

→ I Principes Généraux

→ II Annexes Techniques

► 4 étapes :

→ Classification spécifique des Sols

→ Définition des modalités de Mise en Œuvre propre à chaque classe de sol (Remblais et Cdf)

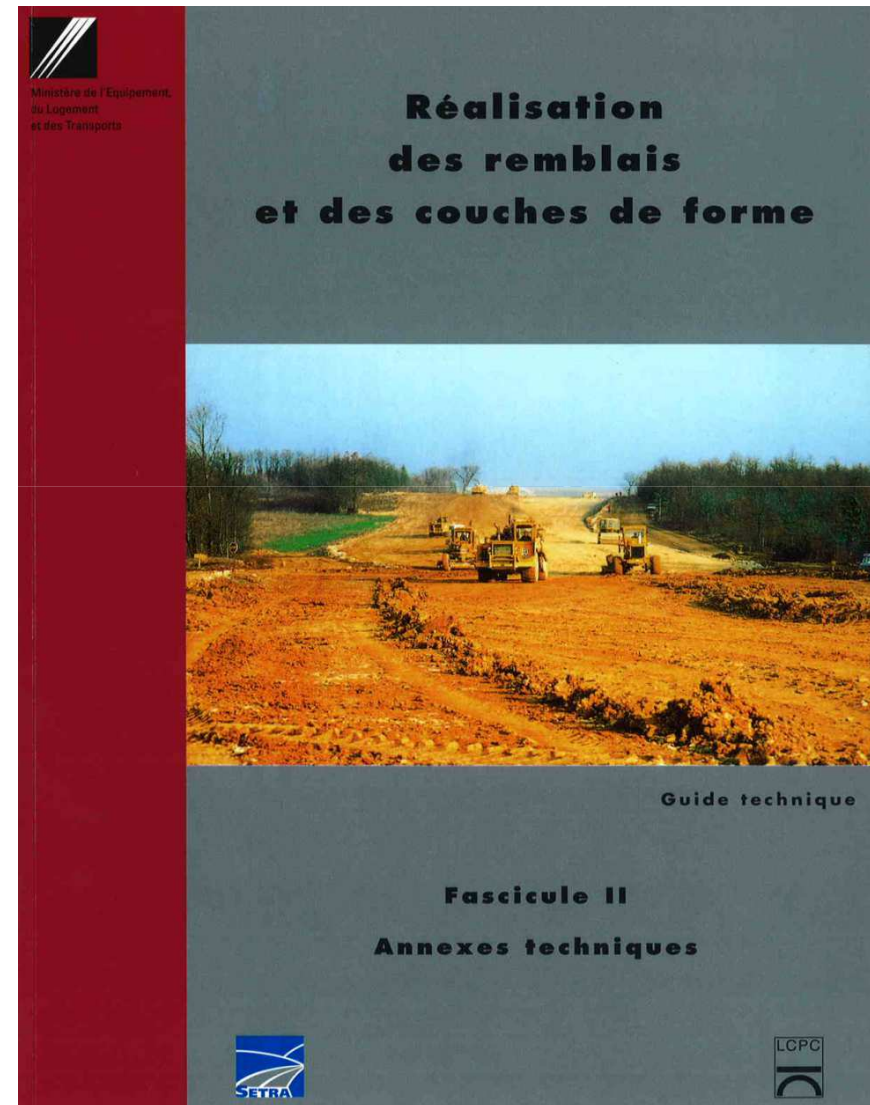
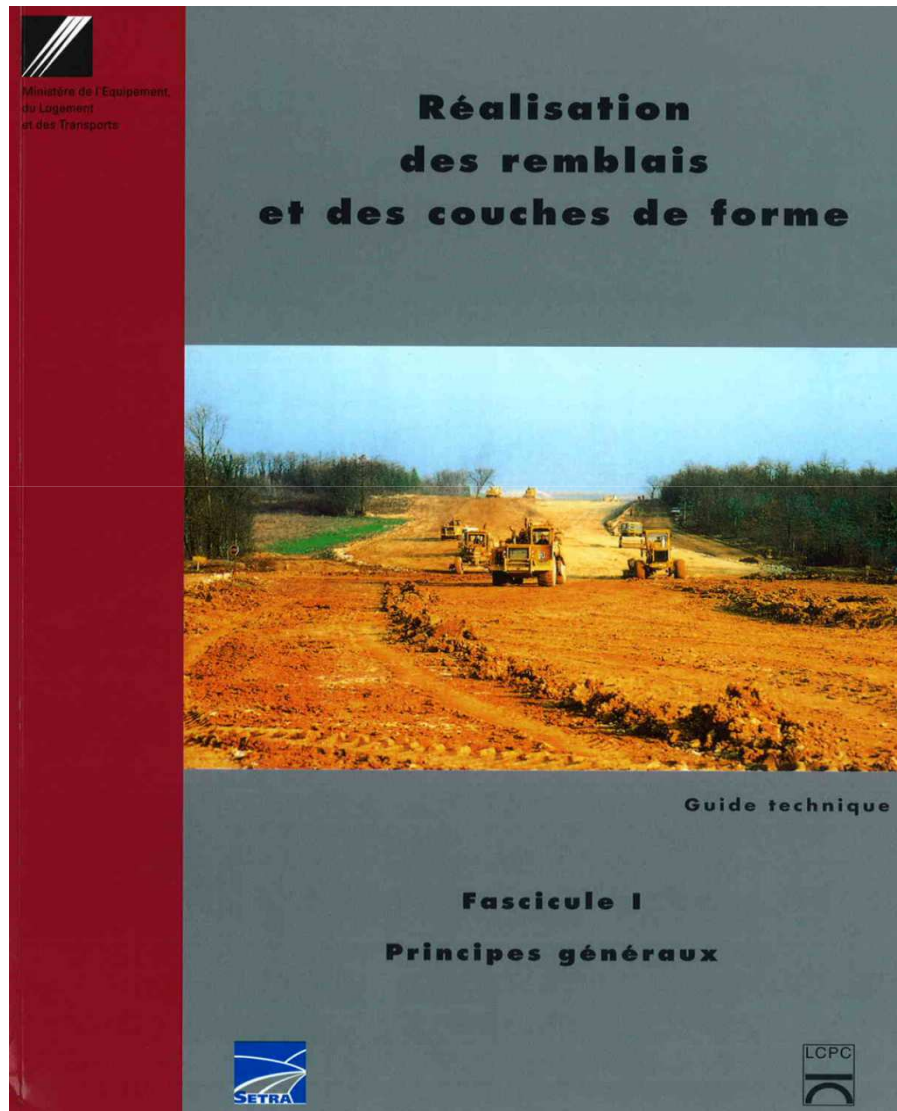
→ Détermination du Compactage (Remblais & Cdf)

→ Procédures et Techniques de Contrôle (Remblais & Cdf)



Actualité : Recommandation « zéro emprunt, zéro dépôt » (2001, Ministère) = optimisation de l'emploi des matériaux rencontrés dans l'emprise des travaux ⇒ Projet TerDOUEST (LCPC 2008-2012) (Terrassement Durable des Ouvrages en Sols Traités)

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

7) Synthèse Terrassement

GTR 2000

► Classification des Matériaux:

GRANULO
VBS
IP

1^{er} Classement selon la nature ⇒ **6 Classes A,B,C,D,R,F (+ sous-classe)**

W proctor
w
IPI

2^{ème} Classement selon l'état hydrique ⇒ **5 sous classes th,h,m,s,ts**

► Réalisation des Remblais: **7 rubriques de réalisation**

Situation météorologique du chantier ⇒ **choix des conditions de réalisation** ⇒ **7 qualités de P.S.T.**

⇒ **4 classes d'Arase Associées**

Contrôles de convenance

Levé topo
Portance

Module de calcul (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase terrassement	AR1	AR2	AR3	AR4

► Réalisation des Couches de Forme: **4 rubriques de réalisation**

Situation météorologique du chantier ⇒ **choix des conditions de réalisation**

⇒ **épaisseur**

⇒ **4 classes de P.F.**

Contrôles de convenance

Levé topo
Portance
Déflexion

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

- 1) Classification spécifiques des sols: Axée sur les conditions de réutilisation (\neq extraction)

\Rightarrow **6 Classes A,B,C,D,R,F** (+ sous-classes)

► Classes A,B,C et D = **SOLS**

→ Sols = Matériaux naturels

Constitués de grains séparables

de dimensions très variables (argile \leftrightarrow blocs)

De nature et d'origine géologique diverses

→ Classes : A = SOLS FINS

B = SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES

C = SOLS COMPORTANT DES FINES ET DES GROS ELEMENTS

D = SOLS INSENSIBLES A L'EAU

→ 3 paramètres pour classer ces sols =

Analyse Granulométrique

Indice de Plasticité (IP)

Valeur au Bleu d'un Sol (VBS)

▪ Paramètres de nature: Caractéristiques Intrinsèques Invariables

★ La Granularité

★ L'Argilosité → 2 essais Labo = ▪ Indice de Plasticité = Ip (Limites d'Atterberg)

▪ Valeur de Bleu de Méthylène = VBS (Essai A LA TACHE)

▪ Paramètres de comportement mécanique: pour les Matériaux Granulaires en Couche de Forme

★ L.A.

★ M.D.E.

★ F.S.

▪ Paramètres d'état: Fonction de l'Environnement (Etat Hydrique)

★ Teneur en Eau: w / Essai Proctor

★ Ic : Indice de consistance

★ I.P.I. : Indice portant immédiat

★ C.B.R. : Indice portant après immersion

Essai PROCTOR Normal

Indice Portant Immédiat (IPI)

Indice (CBR)

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

Analyse Granulométrique

Norme NF P 94- 056 → Etablir la répartition pondérale des éléments granulaires d'un matériau

- Principe: Pour les fractions de matériaux comprise entre 80 μ m et 50 mm. Séparer par brassage sous l'eau les grains agglomérés, puis une fois séchés, les classer au moyen d'une série de tamis et peser le refus cumulé sur chaque tamis. Rapporter à la masse totale sèche pour définir des pourcentages.

- Méthode d'essai:

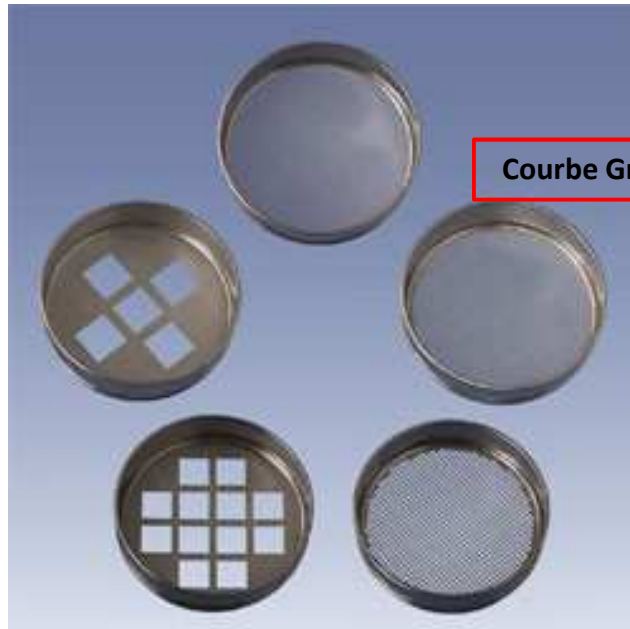
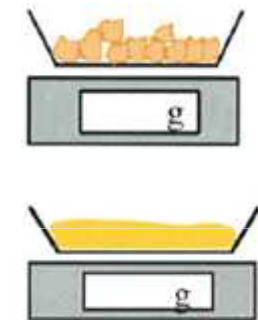
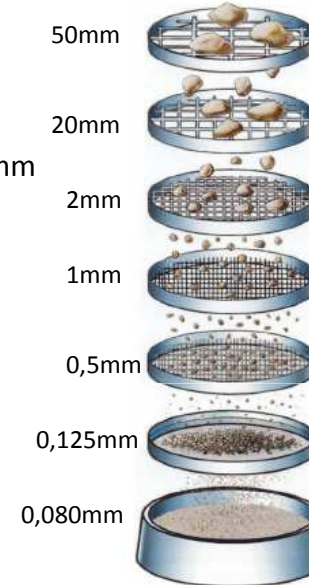
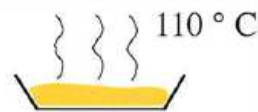
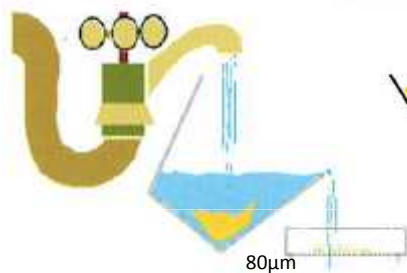
1) Echantillonnage

2) Lavage

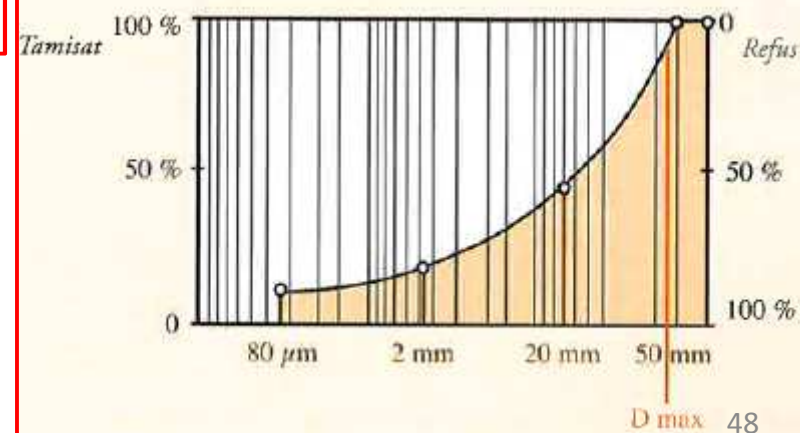
3) Etuvage

4) Criblage de la Fraction 80 μ m/50mm

4) Pesage



Courbe Granulométrique



ent du Sol

e à l'eau)

ieux et graveleux

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

Valeur au Bleu d'un Sol (VBS)

Norme NF P 94- 068 → Caractérisation de l'argéiosité d'un matériaux

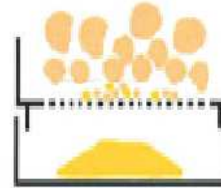
- Principe: Pour tous les sols et certains matériaux rocheux (pour les matériaux très argileux préférer les limites d'Atterberg Ip). Sur la fraction 0/5mm de tous les sables et graves. Test à la tache sur papier filtre: des doses de solution de Bleu de Méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai jusqu'à la limite d'adsorption soit atteinte.
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

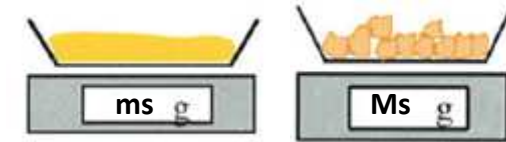
~~2) Etuvage~~



3) Criblage de la Fraction 0/5mm



4) Pesage



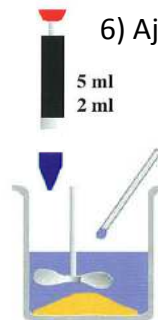
$$C = ms / Ms$$

5) Préparation de la Solution



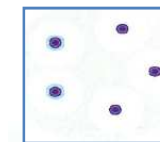
10g de bleu de méthylène anhydre / litre

6) Ajout du BM par goutte à goutte



$$B = \text{nbre goutte} \times 5\text{ ml} \times 10\text{g} / 1000\text{ml}$$

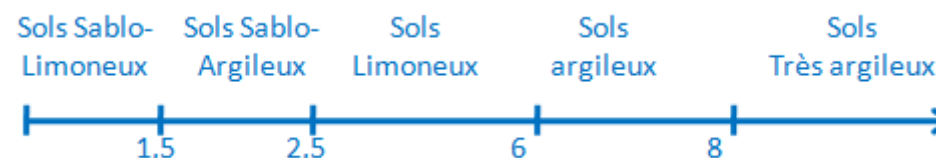
7) Vérification par la tache (halo de 1mm)



$$\text{VBS} = g(\text{bleu}) / 100g(0/50 \text{ mm})$$

$$\text{VBS} = B / ms \times C \times 100$$

► 6 Seuils du GTR



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

Indice de Plasticité (IP) / Limites d'Atterberg

Norme NF P 94-051 → Caractériser l'argilosité d'un sol

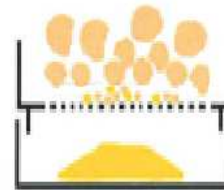
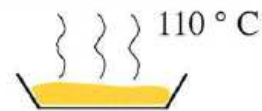
- Principe: Pour les sols comportant un % de Fines ($80\ \mu\text{m}$) $> 35\%$.
L'essai s'effectue sur la fraction 0/400 μm en 2 phases:
détermination de la teneur en eau W_c à la limite de liquidité (résistance à un cisaillement conventionnel)
détermination de la teneur en eau W_p à la limite de plasticité (résistance à la traction conventionnelle)
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

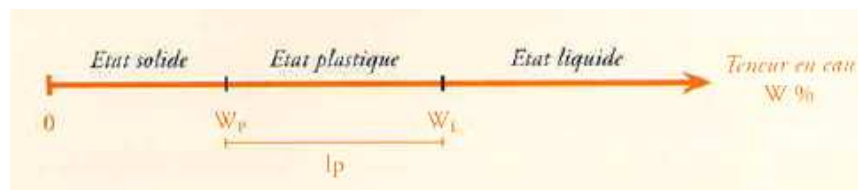
2) Etuvage

3) Criblage de la Fraction 400 μm

4) Pesage

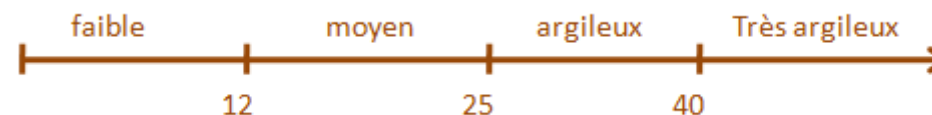


5) Modification de la Teneur en eau

6) Réalisation de la rainure W_L 7) Réalisation du rouleau de sol W_p 

$$IP = W_p - W_L$$

► Spécifications:



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

ESSAI PROCTOR NORMAL

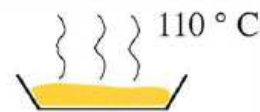
Norme NF P 94- 093 → Déterminer la masse volumique optimale sèche d'un matériau (pd OPN) et sa teneur en eau correspondante.

► Principe: Pour la fraction < 20mm de la plupart des matériaux. A 5 teneurs en eau différentes, 5 essais de compactage dans un moule avec un procédé et une énergie normalisés ⇒ mesure des masses volumiques sèches correspondantes.

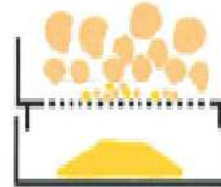
► Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

2) Etuvage



3) Criblage de la Fraction 0/20mm



4) Pesage



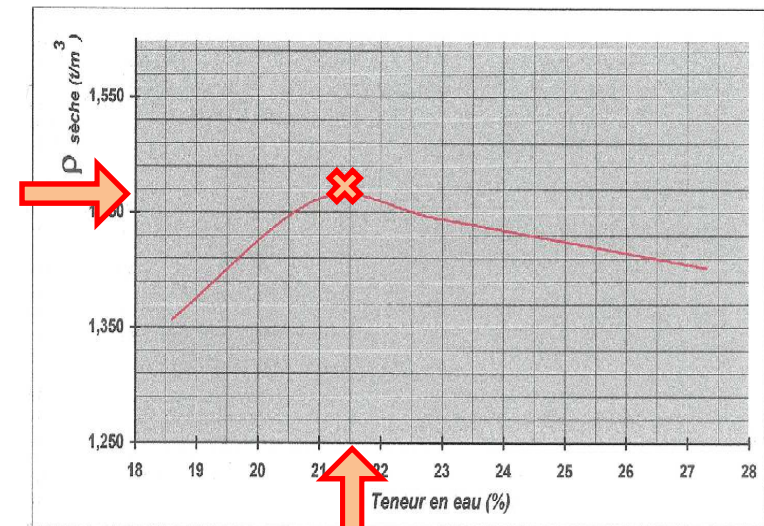
5) Préparation des matériaux
5 éprouvettes



6) Compactage



7) Mesure masse volumique sèche



$$EPN = \rho (T/m^3) \quad - \quad wOPN = w (\%)$$



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

I.P.I. Indice Portant Immédiat

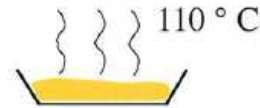
Norme NF P 94- 078 → Déterminer la Portance d'un échantillon de sol (IMMEDIATEMENT)

- Principe: Pour la fraction < 20mm de la plupart des matériaux. Poinçonner un échantillon de matériau compacté à l'OPN, avec un poinçon cylindrique normalisé à vitesse constante (1,27 mm/min). Mesurer les valeurs de force correspondant à des enfoncements de 2,5 et 5mm et les rapporter à des valeurs de référence.

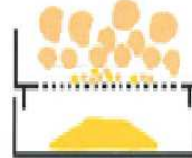
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

2) Etuvage



3) Criblage de la Fraction 0/20mm



4) Pesage



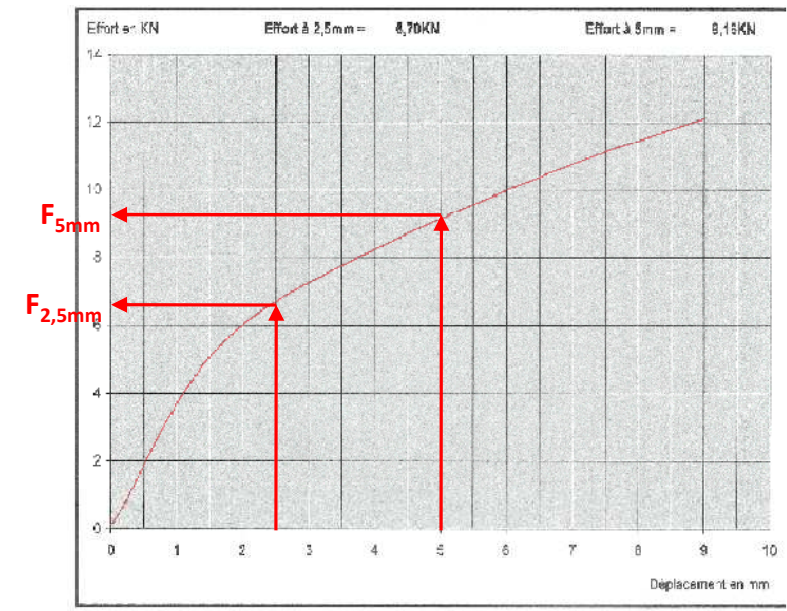
5) Préparation du Moule et compactage au Proctor



6) Poinçonnement



7) Mesure



$$IPI_{2,5mm} = 100 \times F_{2,5mm} / 13,35 \quad (Kn)$$

$$IPI_{5mm} = 100 \times F_{5mm} / 19,93 \quad (Kn)$$

$$IPI = MAX (IPI_{2,5mm}; IPI_{5mm})$$

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

I.CBR Indice CBR après immersion

Norme NF P 94- 078 → Déterminer la Portance d'un échantillon de sol (APRES IMMERSION)

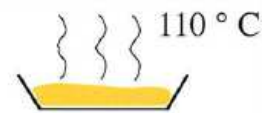
Californian Bearing Ratio

► Principe: Essai identique à I.P.I. après immersion pendant 4 JOURS de l'échantillon surchargé.

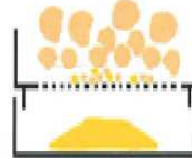
► Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

2) Etuvage



3) Criblage de la Fraction 0/20mm



4) Pesage



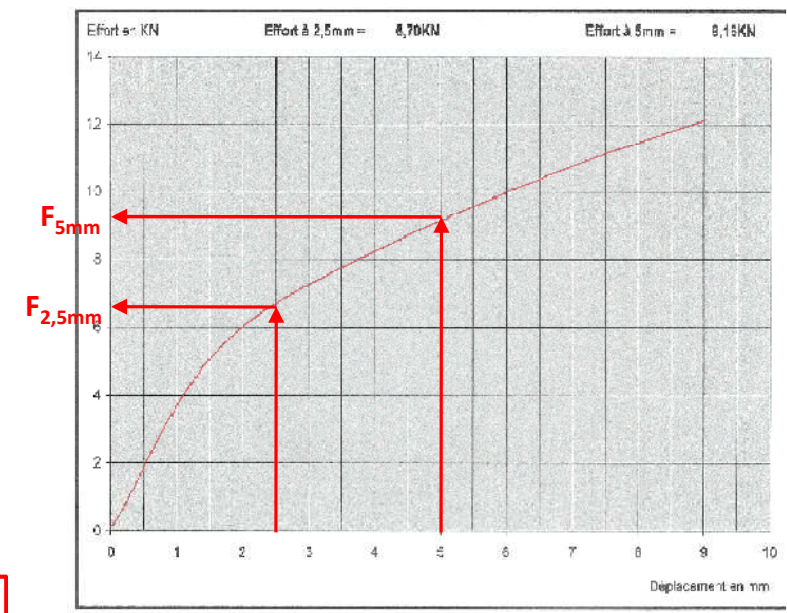
5) Préparation du Moule et compactage au Proctor



6) Poinçonnement



7) Mesure



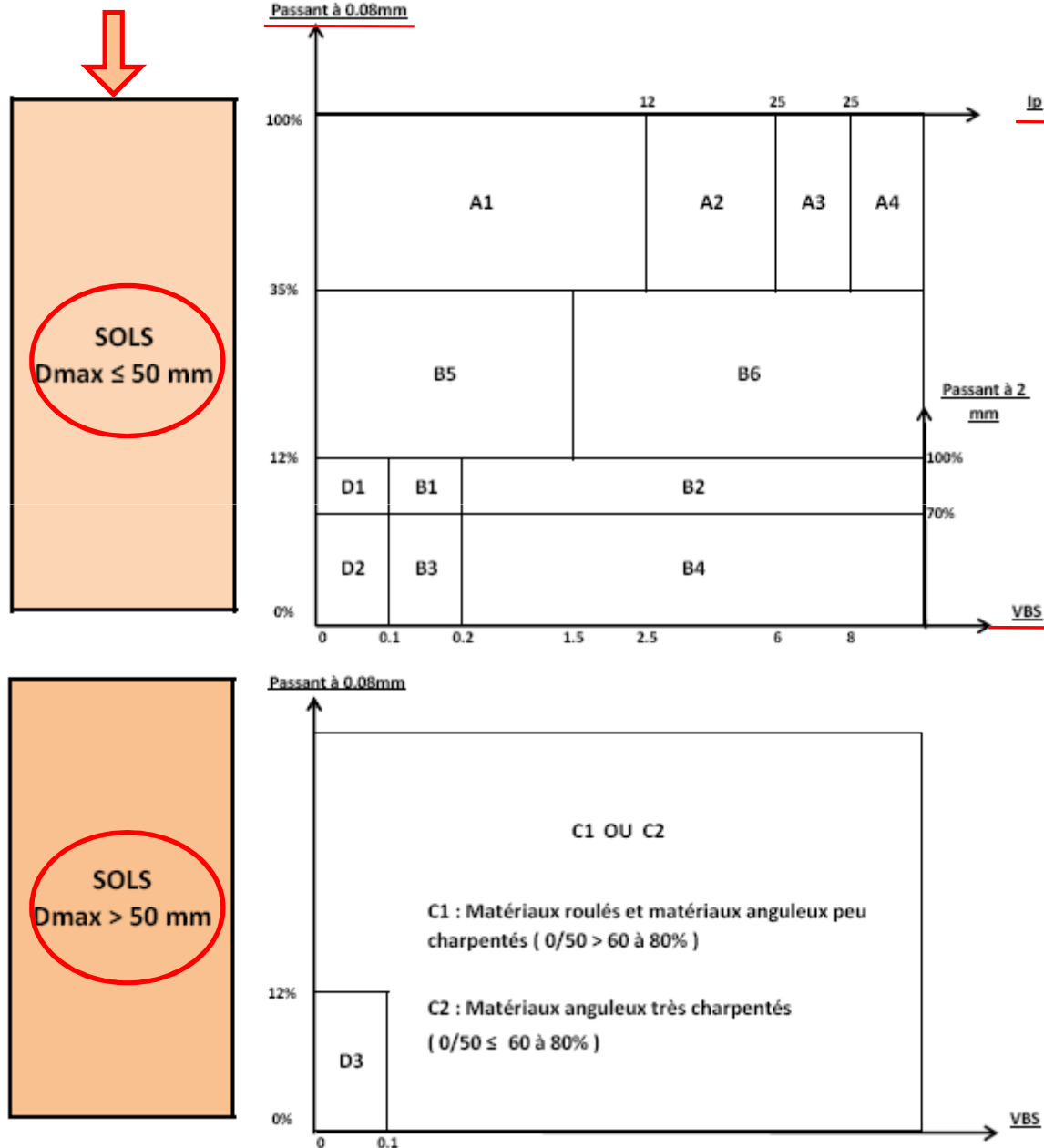
$$ICBR_{2,5mm} = 100 \times F_{2,5mm} / 13.35 \quad (Kn)$$

$$ICBR_{5mm} = 100 \times F_{5mm} / 19.93 \quad (Kn)$$

$$ICBR = \text{MAX} (ICBR_{2,5mm}; ICBR_{5mm})$$

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

→ Détermination des Classes des sols (A,B,C,D): Tableau synoptique des classes



Appellation selon
NFP11-300

Sols fins	A1 - A2 - A3 - A4
Sols sableux et graveleux avec fines	B1 - B2 - B3 - B4 - B5 - B6
Sols comportant des fines et des gros éléments	C1A1 - C1A2 C2A1 - C2A2 C1B2 - C1B4 C2B2 - C2B4 C2B5 - C2B6
Sols comportant des fines (non argileuses) et des gros éléments	C1B1 - C1B3 C2B1 - C2B3
Sols insensibles à l'eau	D1 - D2 - D3

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

→ Détermination des Sous Classes des sols (A,B,C,D): Tableau de classification des sols (GTR 200)**Classe A****SOLS FINS**

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous-classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
D _{max} ≤ 50mm et tamisat à 80µm > 35 %	A sols fins	<u>VBS ≤ 2,5</u> ou <u>I_p ≤ 12</u>	A₁	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _n est proche de w _{OPN} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de l'I _p .	<u>IPI ≤ 3</u> ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	A₁th
					3 < IPI ≤ 8 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	A ₁ h
					8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}	A ₁ m
					0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₁ s
					w _n < 0,7 w _{OPN}	A₁ts
		12 < I _p ≤ 25 ou 2,5 < VBS ≤ 6	A₂	Le caractère moyen des sols de cette sous-classe fait qu'ils se prêtent à l'emploi de la plus large gamme d'outils de terrassement (si la teneur en eau n'est pas trop élevée). Dès que l'I _p atteint des valeurs ≥ 12, il constitue le critère d'identification le mieux adapté.	IPI ≤ 2 ou Ic ≤ 0,9 ou w _n ≥ 1,3 w _{OPN}	A ₂ th
					2 < IPI ≤ 5 ou 0,9 < Ic ≤ 1,05 ou 1,1 w _{OPN} ≤ w _n < 1,3 w _{OPN}	A ₂ h
					5 < IPI ≤ 15 ou 1,05 < Ic ≤ 1,2 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,1 w _{OPN}	A ₂ m
					1,2 < Ic ≤ 1,4 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₂ s
					Ic > 1,4 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₂ ts
		25 < I _p ≤ 40 ou 6 < VBS ≤ 8	A₃	Ces sols sont très cohérents à teneur en eau moyenne et faible, et collants ou glissants à l'état humide, d'où difficulté de mise en œuvre sur chantier (et de manipulation en laboratoire). Leur perméabilité très réduite rend leurs variations de teneur en eau très lentes, en place. Une augmentation de teneur en eau assez importante est nécessaire pour changer notablement leur consistance.	IPI ≤ 10 ou Ic ≤ 0,8 ou w _n ≥ 1,4 w _{OPN}	A ₃ th
					1 < IPI ≤ 3 ou 0,8 < Ic ≤ 1 ou 1,2 w _{OPN} ≤ w _n < 1,4 w _{OPN}	A ₃ h
					3 < IPI ≤ 10 ou 1 < Ic ≤ 1,15 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,2 w _{OPN}	A ₃ m
					1,15 < Ic ≤ 1,3 ou 0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₃ s
					Ic > 1,3 ou w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₃ ts
		I _p > 40 ou VBS > 8	A₄	Ces sols sont très cohérents et presque imperméables : s'ils changent de teneur en eau, c'est extrêmement lentement et avec d'importants retraits ou gonflements. Leur emploi en remblai ou en couche de forme n'est normalement pas envisagé mais il peut éventuellement être décidé à l'appui d'une étude spécifique s'appuyant notamment sur des essais en vraie grandeur.	Valeurs seuils des paramètres d'état, à définir à l'appui d'une étude spécifique.	A ₄ th
						A ₄ h
						A ₄ m
						A ₄ s

Les paramètres inscrits en **caractères gras** sont ceux dont le choix est à privilégier.

Tableau I - Classification des sols A

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME - 1) Classification spécifiques des sols :

► Classes R: Matériaux ROCHEUX

→ Classement fct() = Nature géologique
 Résultats d'essais (fragmentabilité, masse volumique...)
 Expérience

Matériaux rocheux	Roches sédimentaires	Roches carbonatées	Craies	R ₁
			Calcaires	R ₂
		Roches argileuses	Marnes, argilites, pélites...	R ₃
		Roches siliceuses	Grès, poudingues, brèches...	R ₄
		Roches salines	Sel gemme, gypse	R ₅
	Roches magmatiques et métamorphiques	Granites, basaltes, andésites, gneiss, schistes métamorphiques et ardoisiers...		R ₆

► Classes F: Sols Organiques et sous-produits Industriels

Matériaux particuliers	Sols organiques et sous-produits industriels	F
------------------------	--	---

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME **GTR- 1) Classification spécifiques des sols**

2) Condition d'Utilisation en Remblai (GTR):

fct (Nature du sol, météo) \Rightarrow 7 rubriques

► EXTRACTION:

→ en Couche = Fragmentation, tri, Aération

→ Frontale =

► ACTION SUR LA GRANULARITE:

→ Elimination des Blocs >800mm = Permettre le compactage

→ Elimination des Blocs >250mm = Permettre le Traitement

→ Fragmentation = Concasseur, Dameur, ripeur

► ACTION SUR LA TENEUR EN EAU:

→ Humidification =

→ Essorage

► TRAITEMENT:

→ Mélange des sols fins ou argileux avec =

- Chaux
- Ciment, cendre volante, laitier

→ Epandage

→ Traitement

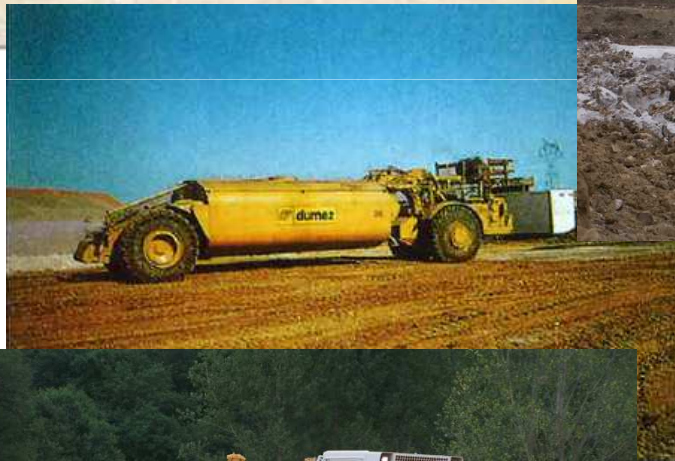
► REGALAGE: 2 Epaisseurs (mince, moyenne)

► COMPACTAGE: 3 Niveaux d'Energie de Compactage (faible, moyen, intense)

► HAUTEUR DES REMBLAIS

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME GTR- 1) Classification spécifiques des sols

2) Condition d'Utilisation en Remblai (GTR):



CHAP VI: REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

GTR 2000 Tableau récapitulatif des conditions d'utilisation des matériaux en remblai

Rubrique	Code	Conditions d'utilisation
E Extraction	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Extraction en couches (0,1 à 0,3m)
	2	Extraction frontale (pour un front de taille > 1 à 2m)
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination des éléments > 800mm
	2	Elimination des éléments > 250 mm pour traitement
	3	Fragmentation complémentaire après extraction
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Réduction de la teneur en eau par aération
	2	Essorage par mise en dépôt provisoire
	3	Arrosage pour maintien de l'état
	4	Humidification pour changer d'état
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un réactif ou un additif adaptés
	2	Traitement à la chaux seule
R Régalage	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Couches minces (20 à 30 cm)
	2	Couches moyennes (30 à 50 cm)
C Compactage	1	Compactage intense
	2	Compactage moyen
	3	Compactage faible
H Hauteur des remblais	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Remblai de hauteur faible ($\leq 5m$)
	2	Remblai de hauteur moyenne ($\leq 10m$)

CHAP VI: REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

→ Détermination des conditions d'utilisation des sols :

B₁, B₂ (états th, et h)**GTR 2000 Exemple des Conditions d'Utilisation des Matériaux en Remblai**

Sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
B₁	Ces sols sont insensibles à l'eau. Ils s'érodent facilement sous l'action du ruissellement. Ils peuvent poser des problèmes de traficabilité si leur granulométrie est uniforme, et s'ils sont secs	++	pluie forte	Situation ne permettant pas la mise en remblai avec des garanties de qualité suffisantes.	NON
		+ = -	toutes situations météorologiques à l'exception de forte pluie	C : compactage moyen	0 0 0 0 0 2 0
B₂th	Sols normalement inutilisables en l'état Ces sols sont inutilisables dans cet état mais une mise en dépôt provisoire, ou un drainage préalable pendant une période suffisante (plusieurs semaines) peuvent permettre de les reclasser en B ₂ h				NON
B₂h	Ces sols sont très sensibles à la situation météorologique. Ils sont sujet au "matelassage", ce qui est à éviter au niveau de l'arase de terrassement. Le drainage préalable (plusieurs semaines) peut être efficace et permettre de reclasser certains d'entre eux en B ₂ m	+	pluie faible	Situation ne permettant pas la mise en remblai, avec des garanties de qualité suffisantes.	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	Solution 1 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0
				Solution 2 : utilisation en l'état C : compactage faible H : remblai de hauteur faible (≤ 5 m)	0 0 0 0 0 0 3 1
		-	évaporation importante	Solution 1 : extraction en couche - aération E : extraction en couche W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10 m)	1 0 1 0 1 2 2
				Solution 2 : aération et traitement W : réduction de la teneur en eau par aération T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 1 1 0 2 0

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

→ Rôle des P.S.T. / QUALITE DE L'ARASE

► A COURT TERME - Validité du terrassement: Permettre la réalisation de la CDF

- Orniérage limité = bonne traficabilité



- Portance minimale EV2= permettre le compactage de la CDF

- 35Mpa si CDF en matériaux traité
- 20Mpa si CDF en matériaux granulaire

- Altimétrie contrôlée = assurer l'épaisseur de la CDF

⇒ **7 cas de P.S.T.** = fct (classification géotechnique des sols)
(conditions Hydrique intéressant le mètre inférieur)

► A LONG TERME - Classification du Terrassement :

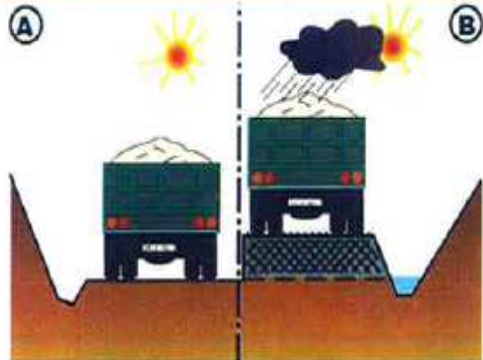
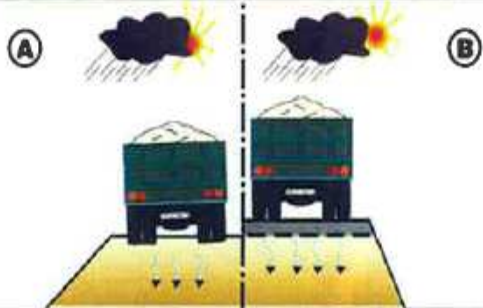

- A chaque PST est associé une ou deux classe de portance à long terme de l'arase ARi

⇒ **4 Niveaux de CLASSE d'ARASE associée**

Module de calcul (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase terrassement	AR1	AR2	AR3	AR4

TABLEAUX IX : DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE P.S.T.

Cas de P.S.T.	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ se trouvant dans un état hydrique (th).	AR0	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purge, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁ , R ₂ et certains matériaux C ₂ , R ₃ et R ₄ dans un état hydrique (h).	AR1	Dans ce cas de P.S.T, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0.5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de P.S.T 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁ , R ₂ et certains matériaux C ₂ , R ₃ et R ₄ dans un état hydrique (m).	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de P.S.T 3.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de P.S.T 2.	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas de P.S.T 2. Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation 62 l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration vers le P.S.T.

Cas de P.S.T	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°4		<p>Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement.</p> <p>Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.</p>	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).
P.S.T. n°5		<p>Sols B, et D, et certains matériaux rocheux de la classe R_{20}.</p> <p>Contexte PST en matériaux sableux fins insensibles à l'eau, hors nappe, posant des problèmes de traficabilité.</p>	AR2 AR3	La portance de l'arase de cette PST dépend beaucoup de la nature des matériaux. Classement en AR3 si le module EV2 de l'arase est supérieur à 120 MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme sur cette PST ne s'impose que pour satisfaire les exigences de traficabilité.
P.S.T. n°6		<p>Sols Matériaux des classes D_{10}, R_{10}, R_{20}, R_{25}, R_{30}, R_{35}, R_{40}, R_{45} ainsi que certains matériaux C_{20}, R_{20}, R_{45} et R_{60}.</p> <p>Contexte PST en matériaux graveleux ou rocheux insensibles à l'eau mais posant des problèmes de réglage et/ou de traficabilité.</p>	AR3 AR4	Classement en AR3 si $EV2 \geq 120$ MPa et en AR4 si $EV2 \geq 200$ MPa. Les valeurs de portance à long terme peuvent être assimilées aux valeurs mesurées à court terme. La nécessité d'une couche de forme ne s'impose que pour les exigences à court terme (nivellement et traficabilité) et peut donc se réduire à une couche de fin réglage.

Ⓐ Comportement de la PST à la mise en œuvre de la couche de forme

Ⓑ Situation pendant la "phase de construction" de la chaussée.

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

GTR- 1) Classification spécifiques des sols

2) Condition d'Utilisation en Remblai

3) Condition d'Utilisation en Couche de Forme:

⇒ Rôle de la CDF

► COURT TERME:

- Assurer Traficabilité tout temps des engins approvisionnant la CdFondation (P.L. 13T) ⇒ EV2 35 Mpa
- Permettre le Compactage efficace de la couche de fondation ⇒ déflexion <2mm
- Satisfaire les Exigences de Nivellement (garantir ép de la CdFondation) ⇒ tolérance +/- 3cm
- Assurer la protection de l'A.R. vis-à-vis des agents climatiques



► LONG TERME:

- Homogénéiser la portance
- Maintien de la portance dans le temps vis-à-vis des sols sensibles à l'eau
- Améliorer la portance du sols support ⇒ Economie de structure de chaussée €
- Protection thermique des sols support gélifs
- Drainage de la chaussée

⇒ Traitement des matériaux pour Couche de Forme

► ACTION SUR LA GRANULARITE:

► ACTION SUR LA TENEUR EN EAU:

► TRAITEMENT:

► PROTECTION SUPERFICIELLE: ⇒ Traficabilité, perméabilité

- Enduit de Cure (Emulsion de Bitume + Gravillon)

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Action sur la granularité	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau
	2	Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol
	3	Elimination de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	4	Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau et de la fraction grossière empêchant un réglage correct de la plate-forme
	5	Fragmentation de la fraction grossière pour l'obtention d'éléments fins
W Action sur la teneur en eau	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Arrosage pour maintien de l'état hydrique
	2	Humidification pour changer d'état hydrique
T Traitement	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Traitement avec un liant hydraulique
	2	Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux
	3	Traitement mixte : chaux + liant hydraulique
	4	Traitement à la chaux seule
	5	Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement un correcteur granulométrique
	6	Traitement avec un correcteur granulométrique
S Protection superficielle	0	Pas de condition particulière à recommander
	1	Enduit de cure éventuellement gravillonné
	2	Enduit de cure gravillonné éventuellement clouté
	3	Couche de fin réglage

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

► Classification des Couches de Forme:

→ Binôme P.S.T. / Couche de Forme = Plateforme Support de Chaussée **P.F.**

→ 4 Catégories de P.F.

	20	50	120	200
Module (MPa)				
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

► Tableau de Dimensionnement des CdF et classification des P.F.:

Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	Épaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plate-forme support de chaussée					
					PST n° 1 AR 1	PST n° 2 AR 1	PST n° 3 AR 1 AR 2		PST n° 4 AR 2	
B ₄₁ th	Les sols de cette classe contiennent une fraction fine en faible quantité mais cependant suffisante pour leur conférer une grande sensibilité à l'eau. Leur fraction grenue est résistante et ne risque donc pas de se broyer sous l'action du trafic. Pour utiliser ces sols en couche de forme deux solutions sont applicables: a) Éliminer par tout moyen ad hoc la fraction o/d responsable de la sensibilité à l'eau. Le matériau ainsi élaboré devient insensible à l'eau et peut être utilisé en toutes situations météo. Il est toutefois conseillé de répandre en surface une couche de fin réglage de 2 à 3 cm d'épaisseur d'un granulat frottant qui améliorera nettement la traficabilité. b) Traiter ces matériaux avec les liants hydrauliques en place (ou en centrale lorsqu'ils sont dans un état moyen ou sec).	++ OU + OU = OU -	toutes conditions météo	G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
B ₄₁ h		++ OU +	pluie même forte	G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,65 PF2	e = 0,4 PF2	e = 0,3 PF2	e = 0,2 PF2	
		= OU -	pas de pluie	Solution 1 : G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	(1)	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	e = 0,35 PF3
				Solution 2 : T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 0 1 1					
B ₄₁ m		++ OU +	pluie même forte	G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
		= OU -	pas de pluie	Solution 1 : G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	(1)	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	
				Solution 2 : W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 1 1 1					
B ₄₁ s		++ OU +	pluie même forte	G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2)	e = 0,5 ou (2)	e = 0,4 ou (2)	e = 0,3 ou (2)	(3)
		= OU -	pas de pluie	Solution 1 : G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	(1)	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF2	e = 0,35 PF3	
				Solution 2 : W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure éventuellement gravillonné	0 2 1 1					
B ₄₁ ts	++ OU + = OU -	toutes conditions météo	G : Élimination de la fraction o/d S : Mise en œuvre d'une couche de fin réglage	1 0 0 3	e = 0,8 ou (2) e = 0,65 PF2	e = 0,5 ou (2) e = 0,4 PF2	e = 0,4 ou (2) e = 0,3 PF2	e = 0,3 ou (2) e = 0,2 PF2	(3)	

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

- GTR- 1) Classification spécifiques des sols
 2) Condition d'Utilisation en Remblai
 3) Condition d'Utilisation en Couche de Forme

4) Traitement des Sols

- La 2^{ème} Bible du Terrassier : ⇒ en 2000 Guide de Traitement des Sols



- 2 produits de traitement: → La chaux aérienne
- Les liants hydrauliques

► La chaux aérienne : Principalement calcique (≠ chaux magnésienne, ≠ chaux hydraulique)

→ Obtenu par décarbonatation du Calcaire ($\text{CO}_3 \text{ Ca}$) à 900 °C



! Réaction réversible: la chaux vive humidifiée peut se récarbonater lentement sous l'action du CO_2 atmosphérique ⇒ qualificatif de « chaux aérienne »

→ 3 formes: chaux vive, chaux éteinte, lait de chaux

→ Caractéristiques de la chaux vis-à-vis du traitement des sols:

- Forme: chaux vive, chaux éteinte au lait de chaux
- teneur en chaux libre
- granularité: tamis de 2, 0,2 ou 0,08mm
- Réactivité: essai de « réactivité à l'eau »

→ Actions sur les sols: Actions immédiates
 Actions à long terme

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

4) Traitement des Sols



ISSN 1151-1516

Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques

**Application à la réalisation
des remblais et des couches
de forme**

Guide technique

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

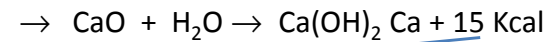
4) Traitement des Sols

► La chaux aérienne :

→ Actions immédiates sur les sols: (Chaux vive)

♦ Modification de l'état Hydrique:

hydratation de la chaux vive:

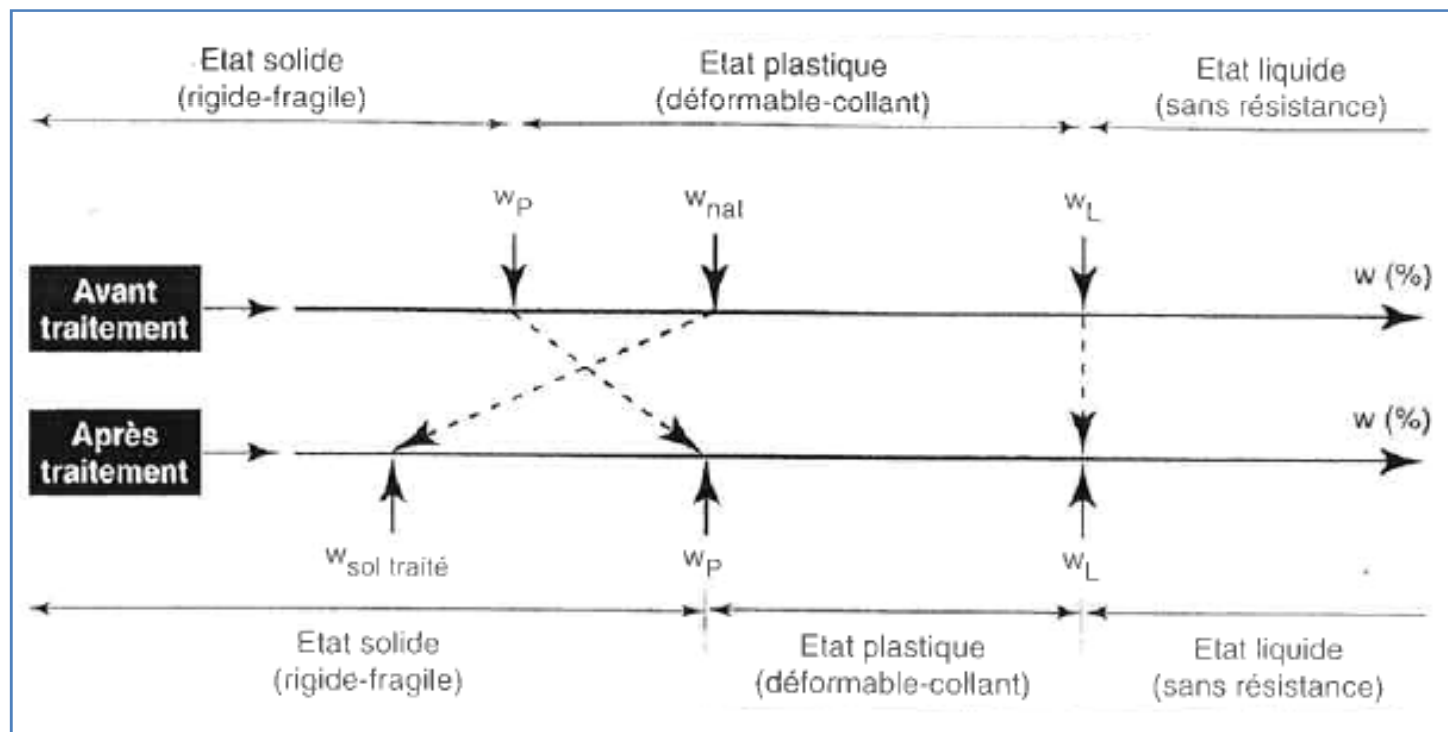


vaporisation d'une partie de l'eau

apport de matière sèche

♦ Modification de la fraction argileuse:

Élévation importante de la limite de plasticité:

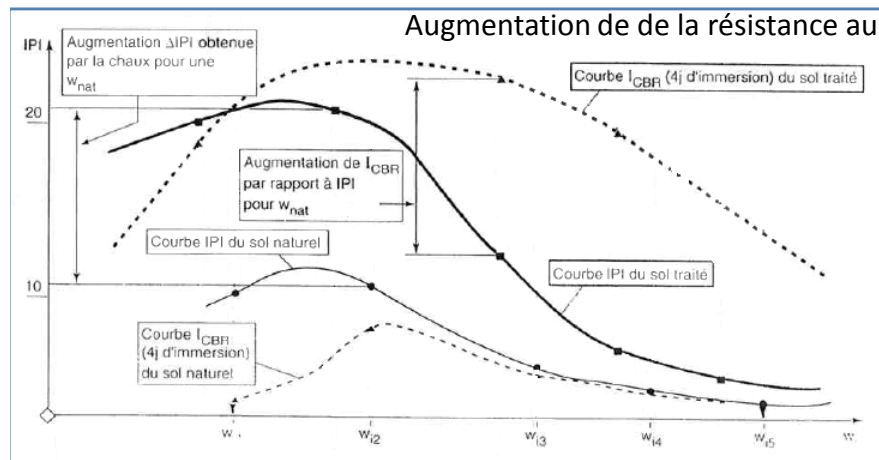


CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

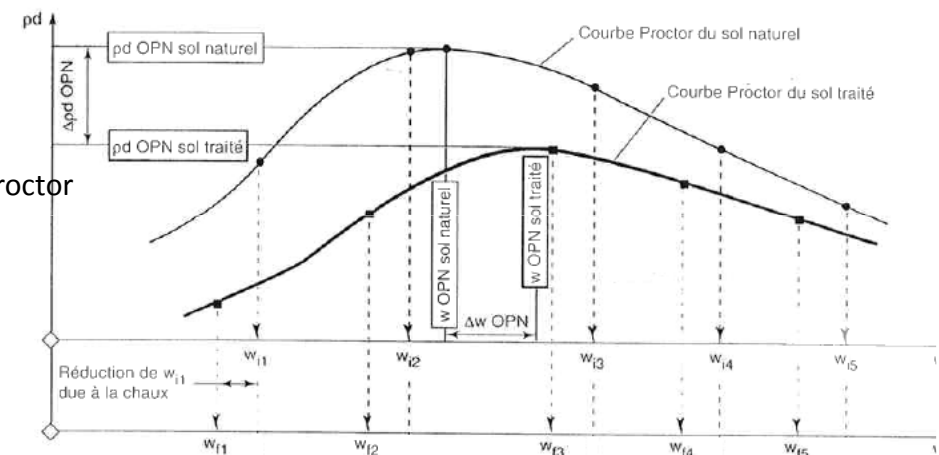
4) Traitement des Sols

► La chaux aérienne :

♦ Modification de la fraction argileuse:



Modification des caractéristiques de compactage du sol: \nearrow Proctor



→ Actions à long terme sur les sols:

♦ Action pouzzolanique: pour les sols très argileux ($V_{bs} > 0,5$)

(Cristaux de Silice, Alumine, Oxyde de Fer) + Chaux → Cristaux de ferro-silico-aluminates de chaux

Présents dans les minéraux argileux

Liaisons de même nature que celles produites avec les liants hydrauliques ou pouzzolaniques $\Rightarrow \nearrow I_{CBR}$ (4 jours)

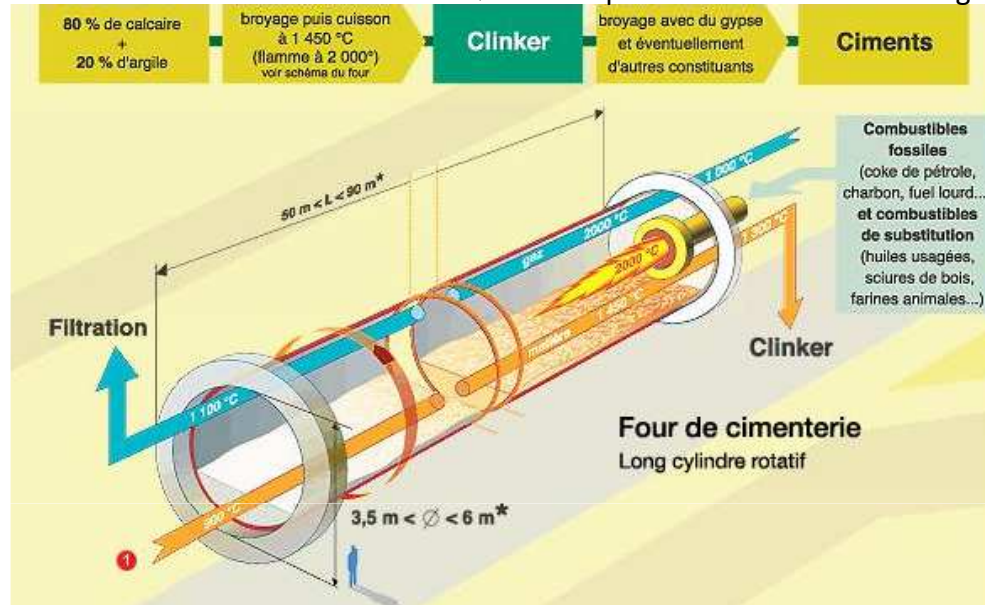
♦ Action de syntaxie: pour les craies et calcaires tendres

Extinction de la chaux vive en chaux éteinte $\Rightarrow \searrow$ teneur en eau

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME 4) Traitement des Sols

► Les liants hydrauliques:

→ Obtenus par cuisson de calcaire + argile \Rightarrow silico-aluminates et ferro-aluminates de calcium anhydres



→ 2 types de liants hydrauliques:

- ◆ Le ciment
- ◆ Les Liants Spéciaux Routiers: LSR

Mêmes constituants que le ciment, dosages différents

Moins chers

Mêmes phénomènes de prise hydraulique, cinétique différente

→ Actions sur les sols:

◆ Actions immédiates:

Baisse de la teneur en eau par ajout de matière sèche

Modification de la fraction argileuse: présence de chaux vive dans les LSR

◆ Actions à moyen et long terme: 3 étapes

Démarrage de la prise: (24h) précipitation sous forme de gel des silico-ferro-aluminates de calcium

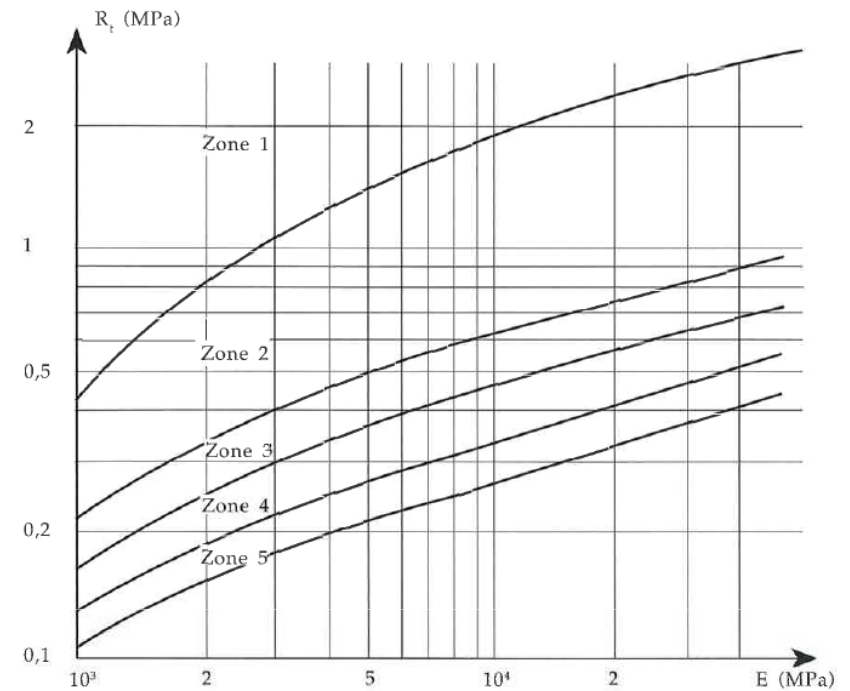
Prise hydraulique: (1/2 sem) développement de la cristallisation des gel

Durcissement: valide la traficabilité

! Température > 5°C

► Classement mécanique des couches de forme:

E Module d'Young à 90j
 R_t résistance en traction



► Règles de surclassement de portance des plates-formes

Traitement en centrale	Traitement en place	Classe mécanique selon le mode de traitement
Zone 1		1
Zone 2	Zone 1	2
Zone 3	Zone 2	3
Zone 4	Zone 3	4
Zone 5	Zone 4, 5	5

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

5) Exemple:

MARCHES PUBLICS DE TRAVAUX

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
DIRECTION DE LA VOIRIE ET DES INFRASTRUCTURES
Service des Etudes Ouest
1, Boulevard de la Marquette
31090 TOULOUSE Cedex 9**

**RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
DU P.R 25+842 AU P.R 29+830 -SECTIONS 2 & 3
COMMUNES DE FONTENILLES-PUJAUDRAN-LEGUEVIN**

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
Cahier des Clauses Techniques Particulières**

► C.C.T.P.:

*RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
du P.R 25+842 au P.R 29+830 -Sections 2 & 3
Communes de Fontenilles-Pujaudran-Leguevin*

2.02.2 Matériaux d'emprunt pour remblais

La provenance et les caractéristiques de ces matériaux doivent figurer dans le PAQ.
Les matériaux doivent être classés selon les catégories le guide technique SETRA (GTR92).
L'entrepreneur est tenu de fournir l'analyse relative à son classement (teneurs en eau, limites d'Atterberg, granulométrie).

Ils doivent nécessiter une énergie de compactage faible à moyenne, selon le GTR 92 pour une mise en remblais conforme aux prescriptions de mise en œuvre du présent CCTP. Le prix de la fourniture est réputé comprendre toutes les dispositions pour obtenir des teneurs en eau correctes lors de la mise en œuvre.

Ces matériaux sont soumis à l'agrément du maître d'œuvre qui pourra demander la réalisation de planches d'essai avant leur acceptation définitive.

En vue d'améliorer les conditions économiques du marché, l'entrepreneur peut proposer un matériau de moindre qualité, nécessitant par exemple un traitement à la chaux.

Dans ce cas :

- l'entrepreneur doit fournir l'étude de traitement et en définir les modalités,
- les coûts et sujétions relatives au traitement et au liant sont à la charge de l'entreprise.

2.02.3 Provenance des Matériaux

Nature des Matériaux	Provenance	Observations
<u>REMBLAIS D'EMPRUNT</u> <i>Pour sol support</i>	Soit des déblais réalisés sur le site ou d' <u>autre site</u>	Proposition de l'entreprise avec accord du Maître d'Oeuvre
<u>MATERIAUX</u> <i>Pour couche de forme</i>	Soit des déblais réalisés sur le site Soit de <u>matériaux d'apport</u>	Suivant études proposées par l'entrepreneur avec accord du Maître d'Oeuvre

2.02.4 Qualité des Matériaux

2.02.4.1 Matériaux pour couche de forme

2.02.4.1.1 Généralités

Les matériaux pour la couche de forme proviendront :

- soit des déblais réalisés sur le site avant traitement,
- soit par des matériaux d'apport à traiter de classe (A1/A2 ou C1B5) afin d'obtenir une classe mécanique 5 telle que définie par le guide technique des remblais et couche de forme,

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

► C.C.T.P. suite:

Module de calcul (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase terrassement	AR1	AR2	AR3	AR4

Module (MPa)	20	50	120	200
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

2.04.6 Spécifications de portance

L'entreprise fera réaliser, à ses frais, des essais de réceptions. Les résultats de ces essais devront satisfaire aux conditions suivantes :

Couche	Essai de plaque ou Dynaplaque	Déflexion
Fond de forme en déblai Arase des terrassements	E V 2 \geq 50 MPa	\leq 3 mm
Couche forme PF3	E V 2 \geq 120 MPa	\leq 2 mm

Si les résultats demandés ne sont pas obtenus, il appartiendra à l'entrepreneur de prendre, à ses frais, toutes dispositions pour que ceux-ci soient respectés.

La construction de la couche de forme ne pourra être exécutée qu'après réception de l'arase des terrassements par le maître d'œuvre.

La construction de la chaussée ne pourra être exécutée qu'après réception de la plate-forme support chaussée par le maître d'œuvre.

Opération n° 30 07 236 - CCTP

Page 63/168

► B.P.:

CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
DIRECTION DE LA VOIRTE ET DES INFRASTRUCTURES
Service des Etudes Oues

Edité le 03/07/08 à 14:13:06

Page : 2

Devis : 08BR03

Numéro de Prix	Libellé	Unité	Quantité Prévue	Prix Unitaire H.T.	Montant H.T.
24	REMBLAIS D'EMPRUNT POUR SOL SUPPORT POUR AR2 (50MPa)	M3	63 000		
25	COUCHE DE FORME AVEC MATERIAUX D'APPORT POUR PF3 (120MPa)	M3	35 000		
26	TRAITEMENT DES REMBLAIS ISSUS DES DEBLAIS A LA CHAUX POUR AR2	M3	16 000		
27	TRAITEMENT DU SOL SUPPORT A LA CHAUX POUR AR2 (50MPa)	M2	130 000		
28	CHAUX VIVE POUR TRAITEMENT DU SOL SUPPORT	T	1 600		

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

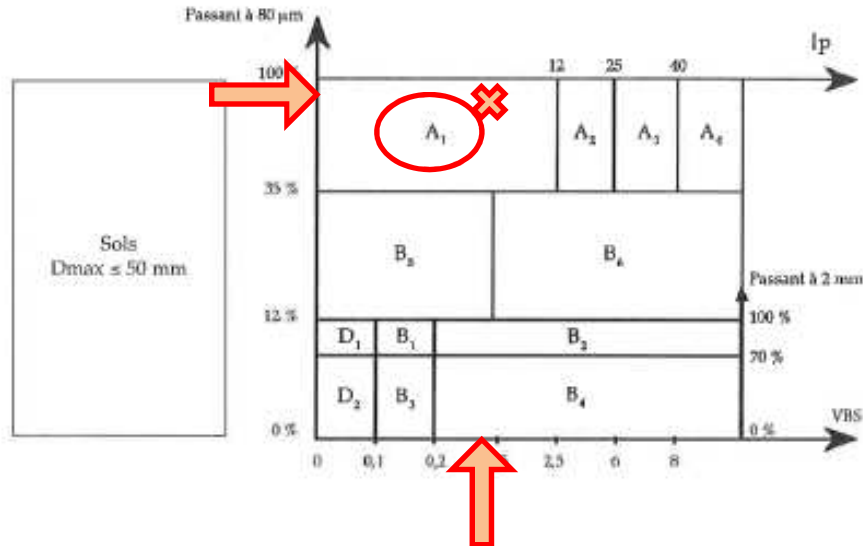
► Recherche et reconnaissance de matériaux:



LABORATOIRE

III. Caractérisation et nature des matériaux (NF P 11-300)

Archivage 2008/GDCH_301



Ces limons sableux sont assimilables à des sols fins de classe A1 dans un état hydrique variable (sec à humide).

Les caractéristiques sont détaillées dans le tableau ci-dessous.

Teneur en eau naturelle (NF P 94-050)	13 à 28 %
D max	5 mm
Valeur au bleu de méthylène (NF P 94-068)	0.8 à 1.3
Passant à 2 mm %	97 à 99
Passant à 0.08 mm %	81 à 94
Densité pd en T/m ³	1.45 à 1.75
Indice Portant Immédiat	2 à 27
Indice Portant après 4 j. d'immersion	2 à 5
Classe GTR	A1 s à h

Classe A

SOLS FINS

Classement selon la nature					Classement selon l'état hydrique	
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Caractères principaux	Paramètres et valeurs de seuils retenus	Sous-classe
Dmax ≤ 50mn et tamisat à 80µm > 35 %	A sols fins	VBS ≤ 2,5 ou I _p ≤ 12	A ₁ Limos peu plastiques, loess, silt alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...	Ces sols changent brutalement de consistance pour de faibles variations de teneur en eau, en particulier lorsque leur w _n est proche de w _{OPN} . Le temps de réaction aux variations de l'environnement hydrique et climatique est relativement court, mais la perméabilité pouvant varier dans de larges limites selon la granulométrie, la plasticité et la compacité, le temps de réaction peut tout de même varier assez largement. Dans le cas de ces sols fins peu plastiques, il est souvent préférable de les identifier par la valeur de bleu de méthylène VBS, compte tenu de l'imprécision attachée à la mesure de l'Ip.	IPI ≤ 3 ou w _n ≥ 1,25 w _{OPN}	A ₁ th
					3 < IPI ≤ 8 ou 1,10 w _{OPN} ≤ w _n < 1,25 w _{OPN}	A ₁ h
					8 < IPI ≤ 25 ou 0,9 w _{OPN} ≤ w _n < 1,10 w _{OPN}	A ₁ m
					0,7 w _{OPN} ≤ w _n < 0,9 w _{OPN}	A ₁ s
					w _n < 0,7 w _{OPN}	A ₁ ts7
					IPI ≤ 2 ou I _p ≤ 0,9	

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

- Utilisation en Remblais: GTR 2000 (Solution pessimiste A1h)

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN REMBLAI

A_i (états th, h, m)


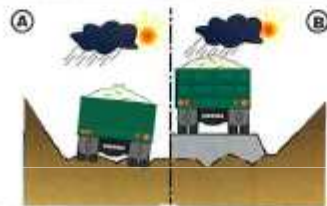
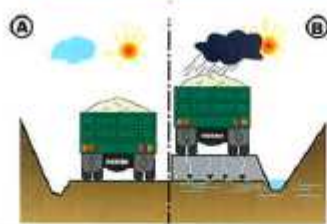
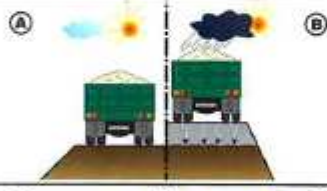
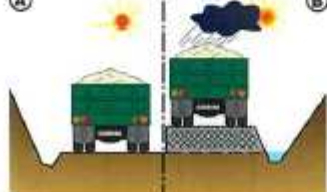
Sol	Observations générales	Situation météorologique	Conditions d'utilisation en remblai	Code E G W T R C H
A _i th	Soils normalement inutilisables en l'état La réduction de teneur en eau par une mise en dépôt provisoire ou drainage préalable (plusieurs mois) peut être envisageable après étude spécifique et permettrait de les ramener en A _i h			NON
A _i h	Ces sols sont difficiles à mettre en oeuvre en raison de leur portance faible ils sont sujets au matelassage Le matelassage est à éviter au niveau de l'arase-terrassement	+	pluie faible	NON
		=	ni pluie, ni évaporation importante	0 0 0 1 0 2 0
		-	évaporation importante	0 0 0 0 0 3 1
			Solution 2 : aération E : extraction en couches minces W : réduction de la teneur en eau par aération R : couches minces C : compactage moyen H : remblai de hauteur moyenne (≤ 10m)	1 0 1 0 1 2 2
			Solution 3 : traitement T : traitement avec un réactif adapté C : compactage moyen	0 0 0 1 0 2 0

Conditions du Chantier

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

► Définition de l'Arase: GTR 2000

RAPPEL DES DIFFERENTS CAS POSSIBLES DE P.S.T. (cf. fascicule I § 3.3.2)

Cas de P.S.T.	Schéma	Description	Classe de l'arase	Commentaires
P.S.T. n°0		Sols A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , se trouvant dans un état hydrique (th). Contexte Zones tourbeuses, marécageuses ou inondables. PST dont la portance risque d'être quasi nulle au moment de la réalisation de la chaussée ou au cours de la vie de l'ouvrage.	AR0	La solution de franchissement de ces zones doit être recherchée par une opération de terrassement (purgé, substitution) et/ou de drainage (fossés profonds, rabattement de la nappe...) de manière à pouvoir reclasser le nouveau support obtenu au moins en classe AR1.
P.S.T. n°1		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₁₅ et R ₁₆ dans un état hydrique (h). Contexte PST en matériaux sensibles de mauvaise portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) et sans possibilité d'amélioration à long terme (B).	AR1	Dans ce cas de PST, il convient : - soit de procéder à une amélioration du matériau jusqu'à 0,5 m d'épaisseur par un traitement principalement à la chaux vive et selon une technique remblai. On est ramené au cas de PST 2, 3 ou 4 selon le contexte - soit d'exécuter une couche de forme en matériau granulaire insensible à l'eau de forte épaisseur (en admettant une légère réduction si l'on intercale un géotextile anticontaminant à l'interface PST - couche de forme).
P.S.T. n°2		Sols Matériaux des classes A, B ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₄ , C ₁ , R ₁₂ , R ₁₃ , R ₁₄ et certains matériaux C ₂ , R ₁₅ et R ₁₆ dans un état hydrique (h). Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A). Cette portance peut cependant chuter à long terme sous l'action des infiltrations des eaux pluviales et d'une remontée de la nappe (B).	AR1	Bien que les exigences requises à court terme pour la plate-forme support puissent être éventuellement obtenues au niveau de l'arase, il est cependant quasiment toujours nécessaire de prévoir la réalisation d'une couche de forme. Si l'on peut réaliser un rabattement de la nappe à une profondeur suffisante, on est ramené au cas de PST 3.
P.S.T. n°3		Sols Mêmes matériaux que dans le cas de PST 2. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau, de bonne portance au moment de la mise en œuvre de la couche de forme (A) mais pouvant chuter à long terme sous l'action de l'infiltration des eaux pluviales (B).	AR1 AR2	En l'absence de mesures de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase, même situation que celle décrite dans le cas PST 2. Classement en AR2 si des dispositions constructives de drainage à la base de la chaussée et d'imperméabilisation de l'arase permettent d'évacuer les eaux et d'éviter leur infiltration dans la PST.
P.S.T. n°4		Sols Mêmes matériaux qu'en PST 1 sous réserve que la granularité permette leur traitement. Contexte PST en matériaux sensibles à l'eau (en remblai ou rapportés en fond de déblai hors nappe) améliorés à la chaux ou aux liants hydrauliques selon une technique "remblai" et sur une épaisseur de 0,30 à 0,50 m. L'action du traitement est cependant durable.	AR2	La portance de l'arase peut être localement élevée mais la dispersion n'autorise pas un classement supérieur. La décision de réalisation d'une couche de forme sur cette PST dépend du projet et des valeurs de portance de l'arase mesurées à court terme (après prise du liant).

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

► Réalisation et classe de la CDF: GTR 2000

CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME

A ₁ , A ₂										Epaisseur préconisée de la couche de forme e (en m.) et classe PF de la plateforme support de chaussée	
Classe de sol	Observations générales	Situation météorologique		Conditions d'utilisation en couche de forme	Code GWTS	PST n° 1	PST n° 2	PST n° 3	PST n° 4		
						AR 1	AR 1	AR 1	AR 2		
A _{1h}		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON						
		= ou -	pas de pluie	T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 2 2						
A _{1m}	La grande sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter avec des liants hydrauliques associés éventuellement à de la chaux. La maîtrise de l'état hydrique de ces sols traités est souvent délicate en raison de la variation brutale de leur comportement (portance) pour de faibles écarts de teneur en eau. Ces sols se traitent généralement en place.	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON						
		= ou -	pas de pluie	W : Arrosage pour maintien de l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 1 2 2						
A _{1s}		+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON		e=0,35	e=0,35	e=0,35	(1)	
		= ou -	pas de pluie	W : Humidification pour changer l'état hydrique T : Traitement avec un liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 2 1 2						
A _{2h}	La sensibilité à l'eau des sols de	+	pluie faible	Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant(s).	NON						
		=	ni pluie ni évaporation	T : Traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : Application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté	0 0 3 2		PF2	PF2	PF3		

Pessimiste

Optimiste

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

► Eude Labo complète:

IV. Conditions de réutilisation des matériaux**A. Réemploi en remblais****A1S**

Ces matériaux de classe A1 peuvent être mis en remblais à l'état naturel dans un état hydrique moyen selon les conditions de mise en œuvre définies par le GTR 2000.

A1h

En effet, ces sols changeant très rapidement de consistance pour de faibles variations de teneurs en eau, un traitement à la chaux vive s'imposera si leur état hydrique est trop élevé.

B. Réemploi en arase terrassement - Traitement à la chaux vive**Résultats d'études 2005 et 2008 : traitement à 2% de CAO**

Etude	2005				2008
Teneur en eau %	19	21	23	27	20
IPI	24	31	32	23	36
CBR à 4j. immersion	25	36	44	38	51
Rapport CBR/IPI	1.1	1.2	1.4	1.7	1.4
Gonflement	0.5	0.4	0.3	0.2	0.2
Densité en T/m ³	1.470 à l'optimum				1.721
Teneur en eau après traitement %	21.5 à l'optimum				16.2
IPI	32 à l'optimum				***
CBR après 4 j. d'immersion	40 à l'optimum				***

L'étude CBR démontre systématiquement une insensibilisation à l'eau de ces matériaux avec des valeurs d'IPI > 20 permettant d'assurer une bonne traficabilité de chantier.

L'ensemble des résultats obtenus sont favorables à l'obtention d'une arase terrassement de classe **AR2**.

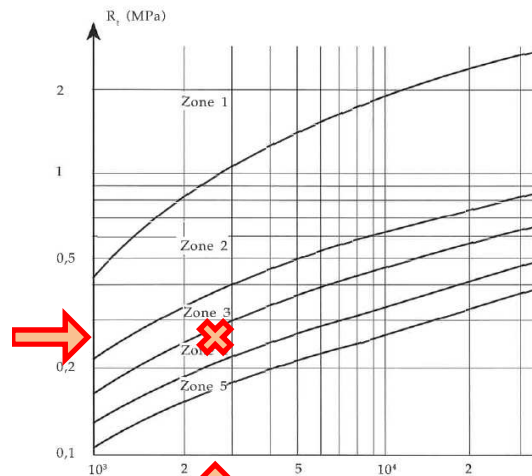
CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

C. Réemploi en couche de forme-Traitement Chaux vive + liants hydrauliques

► Eude Labo complète:

Résultats d'études 2005 : traitement à 1% de CAO et 5% de Rolac 645



Traitement en centrale	Traitement en place	Classe mécanique selon le mode de traitement
Zone 1		1
Zone 2	Zone 1	2
Zone 3	Zone 2	3
Zone 4	Zone 3	4
Zone 5	Zone 4, 5	5

Teneur en eau %	18.5	20	25
Densité sèche en T/m³	1.54	1.55	1.54
IPI	50	37	6
CBR à 4j. immersion	64	99	55
Rapport CBR/IPI	1.3	2.7	10
Gonflement	0	0	0
Rtb en MPa		0.31	
Rt en MPa (0.8 Rtb)		0.25	
Etb en MPa		2533	
Densité à l'optimum T/m³		1.55	
Teneur en eau à l'optimum %		20.1	
IPI		37	
CBR après 4 j. d'immersion		99	
Zone (caractéristiques mécaniques)		4	
Classe mécanique matériaux		Classe 5	

> 1

Les caractéristiques mécaniques mesurées permettent d'obtenir un classement des matériaux traités en zone 4. Dans la mesure où ceux-ci sont traités sur chantier, nous retiendrons une classe mécanique 5.

V. Conclusion

Ces limons sableux classés en sol fin A1 peuvent être réutilisés en remblais en l'état dans la mesure où l'état hydrique est bien maîtrisé. Il devra se situer à l'état sec à moyen pour une mise en œuvre sans traitement.

Le classement de l'arase terrassement en niveau AR2 sera obtenu en procédant à un traitement à la chaux vive à 2% sur une épaisseur de 0.50 m.

La plage de teneur en eau naturelle pour le traitement à la chaux de 2 % se situe entre 20 et 30%.

Pour une réutilisation en couche de forme, le niveau de portance PF3 (EV2 ≥ 120 MPa) à long terme sera obtenu en fonction de la portance du support et de l'épaisseur de mise en œuvre suivantes : en considérant une AR2, l'épaisseur de couche de forme traitée à 1 % de chaux et 5% de rolac 645 sera de 35 cm (classe mécanique 5).

- GTR- 1) Classification spécifiques des sols
 2) Condition d'Utilisation en Remblai
 3) Condition d'Utilisation en Couche de Forme
 4) Traitement des Sols

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

6) Contrôles de conformité

- Différentes phases d'essais: fonction de l'avancement du chantier
 - Essais de convenance: permettent d'adapter et de valider les processus d'exécution et matériels adaptés
 - Essais de suivi: garantissent la bonne réalisation des processus validés
 - Essais d'information: permettent de détecter d'éventuelles anomalies
 - Essais de conformité: permettent de vérifier que la qualité requise est atteinte pour prononcer la réception

► Remblais :

LEVE TOPOGRAPHIQUE

ESSAI A LA PLAQUE

ESSAI A LA DYNAPLAQUE

- ♦ Contrôle géométrique:
- ♦ Contrôle de portance:
 - Cours terme
 - ⇒ 35Mpa si CDF en matériaux traité
 - ⇒ 20Mpa si CDF en matériaux granulaire

Long terme

Module de calcul (MPa)	20	50	120	200
Classe de l'arase terrassement	AR1	AR2	AR3	AR4

► Couche de Forme :

LEVE TOPOGRAPHIQUE

ESSAI A LA PLAQUE

ESSAI A LA DYNAPLAQUE

- ♦ Contrôle géométrique: ⇒
- ♦ Contrôle de portance:

	20	50	120	200
Module (MPa)				
Classe de plate-forme	PF1	PF2	PF3	PF4

- ♦ Contrôle de déflexion: POUR LES MATERIAUX TRAITES

MESURE DE DEFLEXION A LA POUTRE

⇒ déflexion <2mm

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

ESSAI A LA PLAQUE

Norme NF P 94-117-1 → Déterminer Le module sous chargement statique à la plaque EV2

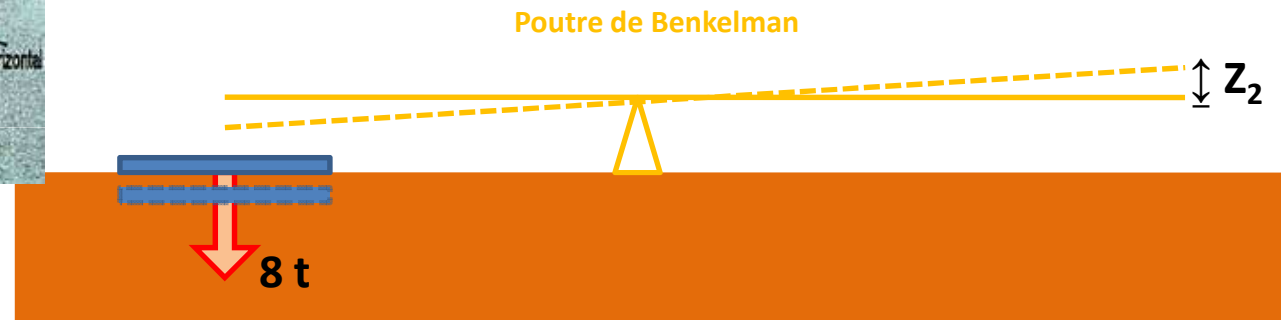
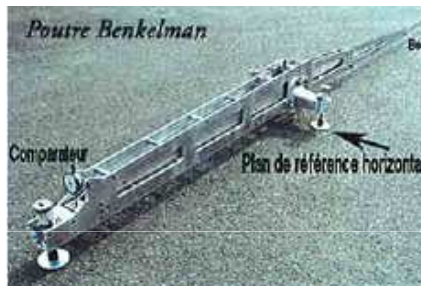
► Principe: Pour les plates-formes d'ouvrages de terrassement avec $D_{max} < 200mm$. Mesurer l'enfoncement d'une plaque circulaire rigide (diamètre 600mm) transmettant au sol une pression uniforme.

► Méthode d'essai:

1) Installer de niveau la Poutre de Benkelman

2) Charger la plaque: 2 essais

3) Mesurer l'enfoncement



$$\text{Module EV2} = 90 / Z_2 \quad (\text{Mpa})$$

► Durée de l'essai: 15 à 30 minutes



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

ESSAI A LA DYNAPLAQUE

Norme NF P 94-117-2 → Déterminer Le module sous chargement dynamique à la plaque

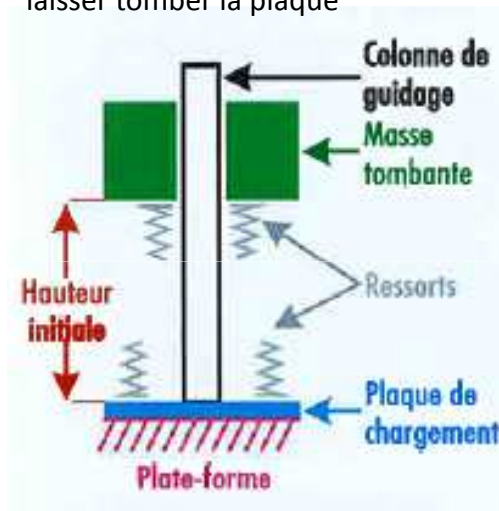
- Principe: Pour les plates-formes d'ouvrages de terrassement avec $D_{max} < 200mm$.
 Dynaplaque 1: Mesurer le rebond d'une plaque circulaire rigide tombante d'une hauteur donnée (diamètre 600mm) transmettant au sol une pression uniforme.

- Méthode d'essai:

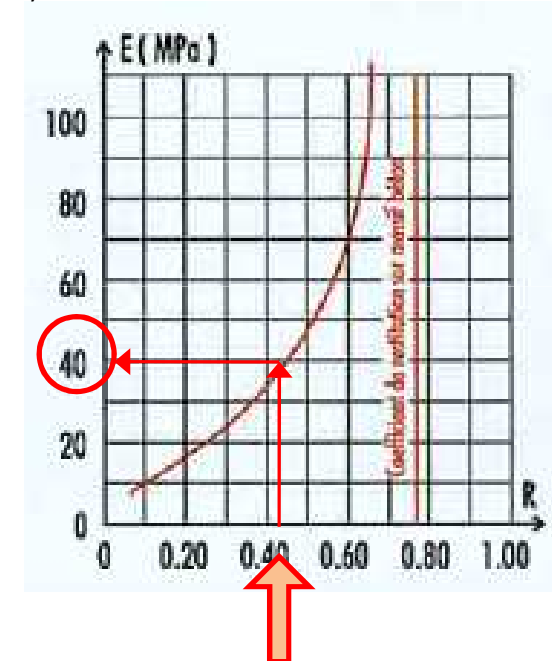
1) Positionner la Plaque



2) Lever à une hauteur définie et laisser tomber la plaque



3) Mesurer la hauteur du rebond



E_{DYN1} (Mpa)

- Durée de l'essai: 2 à 3 minutes

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

MESURE DE DEFLEXION A LA POUTRE

Norme NF P 98-200-1 → Mesurer la déformation de surface sous charge statique de 13T

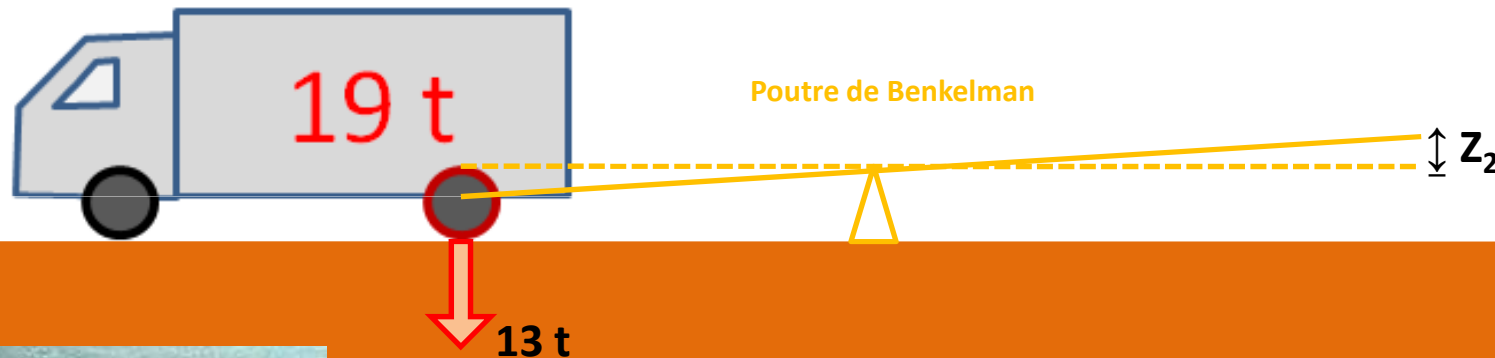
► Principe: Pour les Arases terrassements (AR) et plates-formes support de chaussées (P.F). Mesurer à l'aide d'une poutre de Benkelman, l'enfoncement provoqué par un essieu unique à roue jumelée de camion chargé à 13T.

► Méthode d'essai:

1) Positionner d'un essieu de 13T camion 19T (4x2)

2) Installer de niveau la Poutre de Benkelman

3) Enlever le camion



4) Mesurer l'enfoncement

► Déflexographe en continue



Déflexion Z_2 (1/100 mm)

► Durée de l'essai: 6 minutes

► Essentiellement pour les matériaux traités: à 28 Jours

CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

8) Matériel:



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

8) Matériel:



CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

8) Matériel:



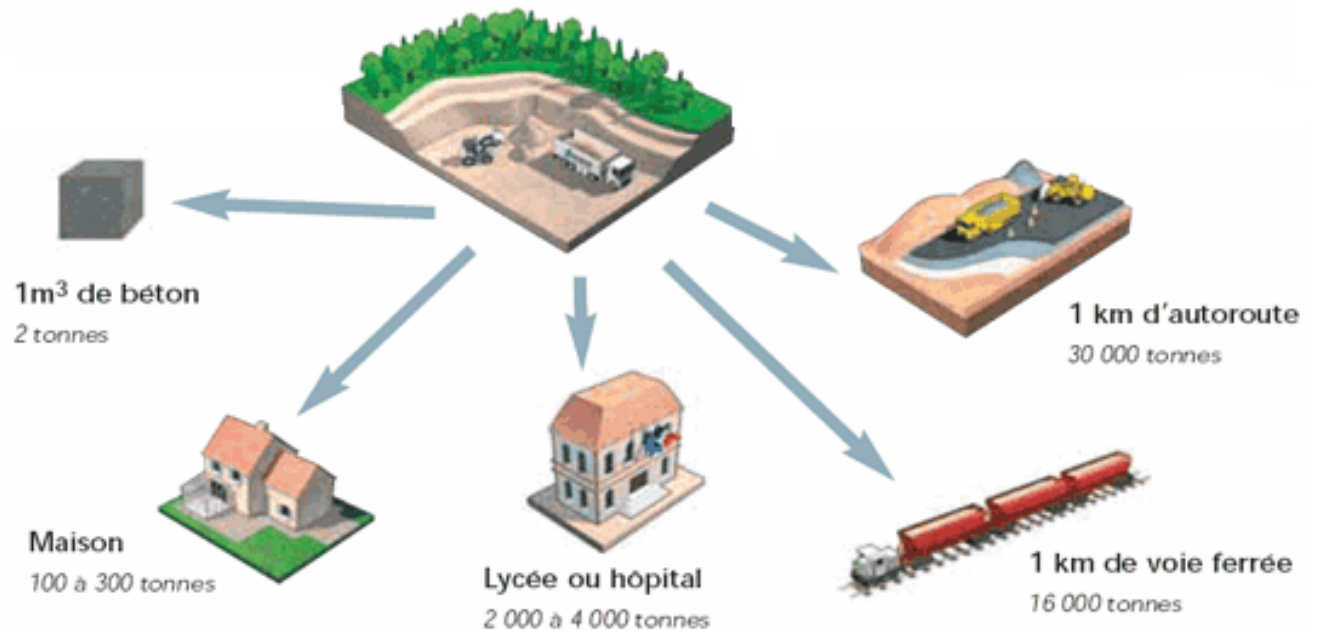
CHAP VI: TERRASSEMENT : REMBLAIS ET COUCHE DE FORME

8) Matériel:



CHAP VII: GRANULATS

► Granulats: → Où?



⇒ Consommation Française=

19 Kg/J/hab

↔

7 T/an/hab

⇒

430 millions T/an

3^{ème} ressource naturelle consommée après l'AIR et l'EAU

→ Répartition industrielle:

- 310 MT pour le TP
- 90 MT pour le BPE
- 32 MT pour les produits bétons

→ Le Granulat et la Route:

- 100% des chaussées souples
- 95% des chaussées traitées (+5% liant, Bitume ou ciment)
- 90% des Bétons (ponts, dalles, poutrelles, bordures....)

CHAP VII: GRANULATS

- ENTREPRISES : ► 3 leaders de la route

Groupe BOUYGUES



35 MT



Groupe VINCI



55MT

Groupe EIFFAGE



18 MT

► leaders du ciment

Groupe LAFARGE



45 MT

Groupe HOLCIM



13 MT

Groupe VICAT



13 MT

Groupe CEMEX



25 MT

Groupe ITALCEMENTI



24 MT

► TOTAL = 218 MT (50%)

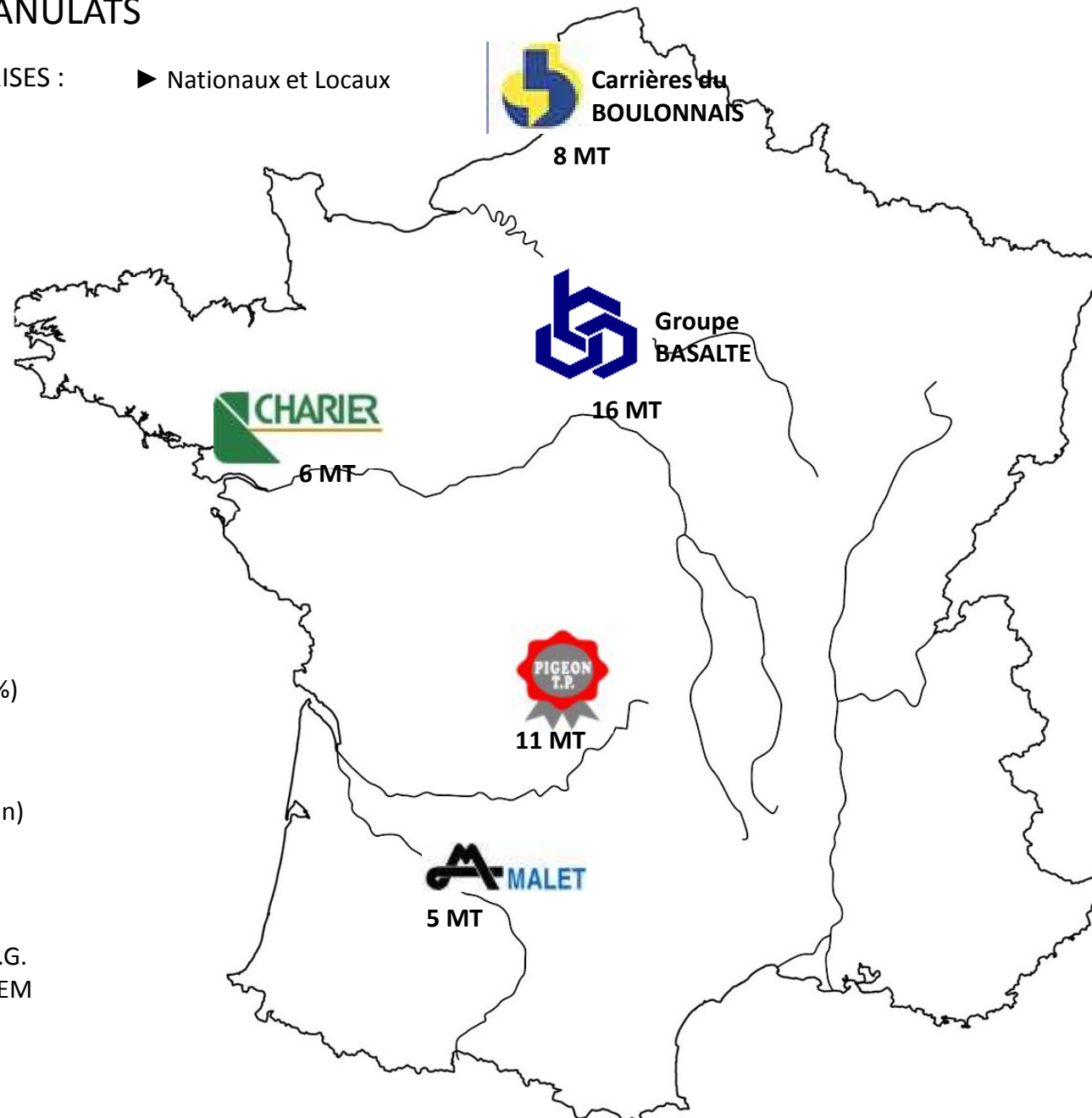
CHAP VII: GRANULATS

- ENTREPRISES : ► Nationaux et Locaux

► TOTAL 46 MT (11%)

► > 2700 carrières
(moyenne=160 000T/an)

► FEDERATION: U.N.P.G.
UNICEM



CHAP VII: GRANULATS

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

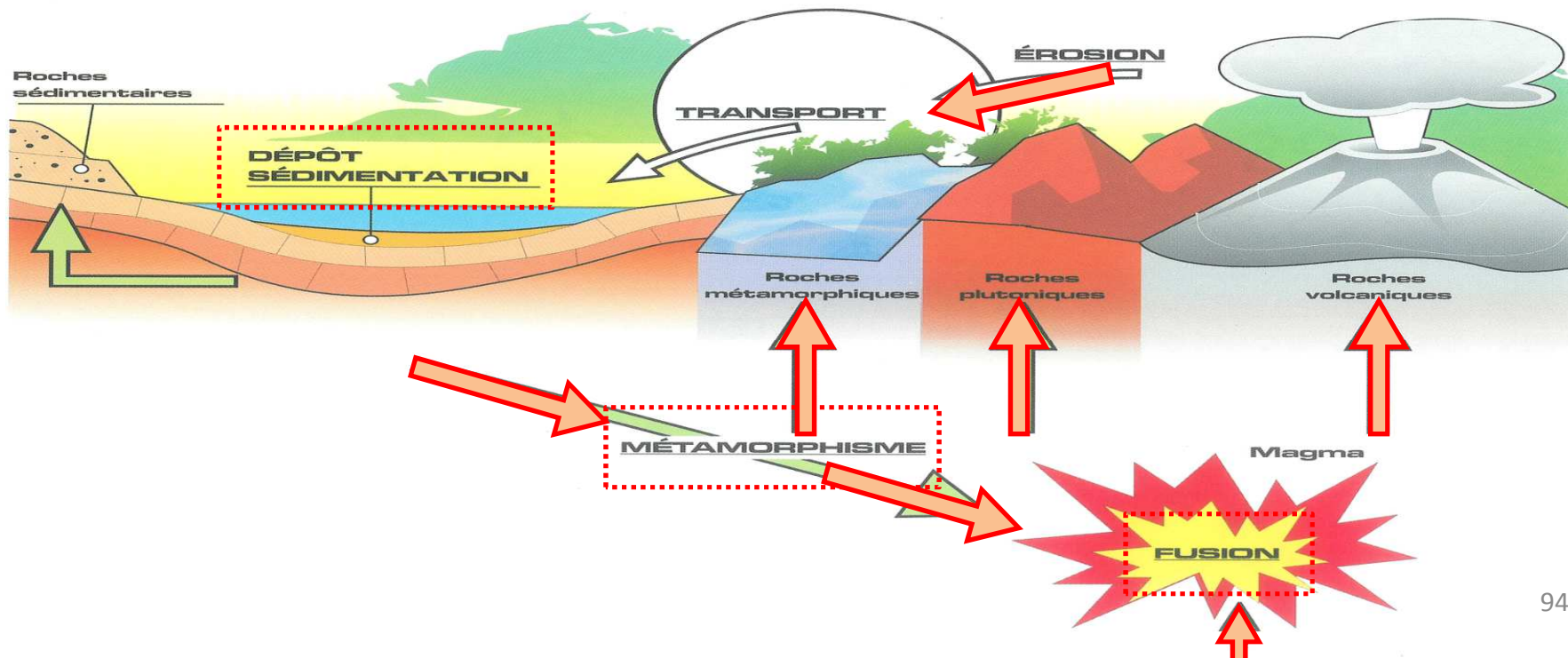
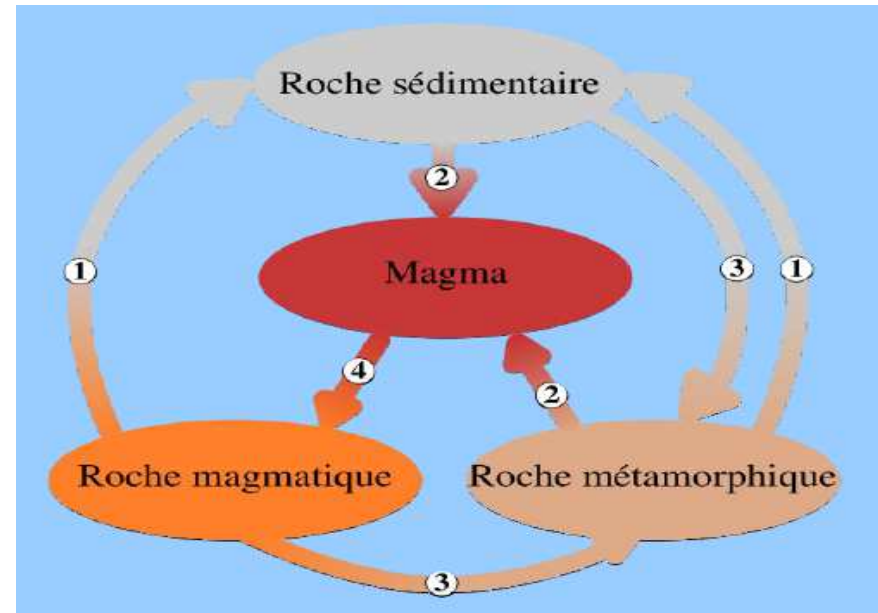
1) Rappels de Géologie:

► Classification des Roches: 3 grandes catégories

- Roches MAGMATIQUES
- Roches SEDIMENTAIRES
- Roches METAMORPHIQUES

► Le cycle perpétuel de formation:

- 1 Erosion, transport
- 2 Fusion
- 3 Pression température
- 4 Refroidissement

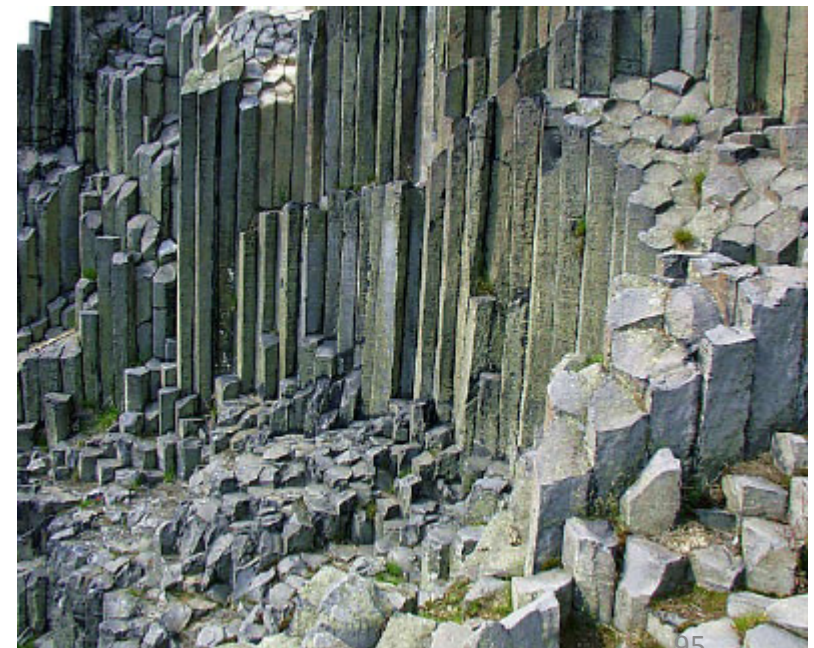


→ Roches MAGMATIQUES : formées par la solidification des magmas

- ★ Roches volcaniques: refroidies brutalement en surface après une éruption volcanique
coulés de laves solidifiées ou accumulation de projections issus d'un volcan
proviennent du magma profond



⇒ **BASALTE** (80%)



→ Roches MAGMATIQUES : formées par la solidification des magmas

- ★ Roches plutoniques: refroidies lentement en profondeur sans dégazage
proviennent de la chambre magmatique (-10 km),
cristallisation du magma superficiel
mise à jour par l'érosion

⇒ **GRANITE** (Quartz, Felspaths, Mica)



⇒ **DIORITE, SYENITE**



CHAP VII: GRANULATS

1) Rappels de Géologie: ► Classification des Roches: 3 grandes catégories

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

→ Roches SEDIMENTAIRES : formées à la surface du globe (sur terre ou au fond des océans)
accumulation (dépôt) en couches de matériaux appelés sédiments issus de l'érosion
des roches affleurant en surface sous l'action d'agents exogènes (vent et eau)

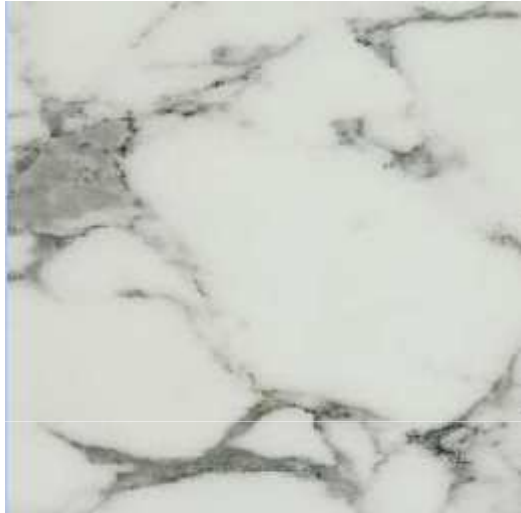
⇒ SABLES, ARGILES, GRES, SCHISTES



⇒ CALCAIRE



→ Roches METAMORPHIQUES : Consécutif à des évènements tectoniques
Enfouissement de roches sédimentaire ou magmatique en profondeur
Fortes pression et températures qui la recombine chimiquement
Recristallisation de certains minéraux
Retour sur la croûte terrestre par mouvements tectoniques

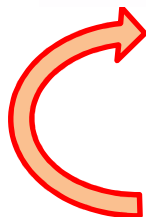
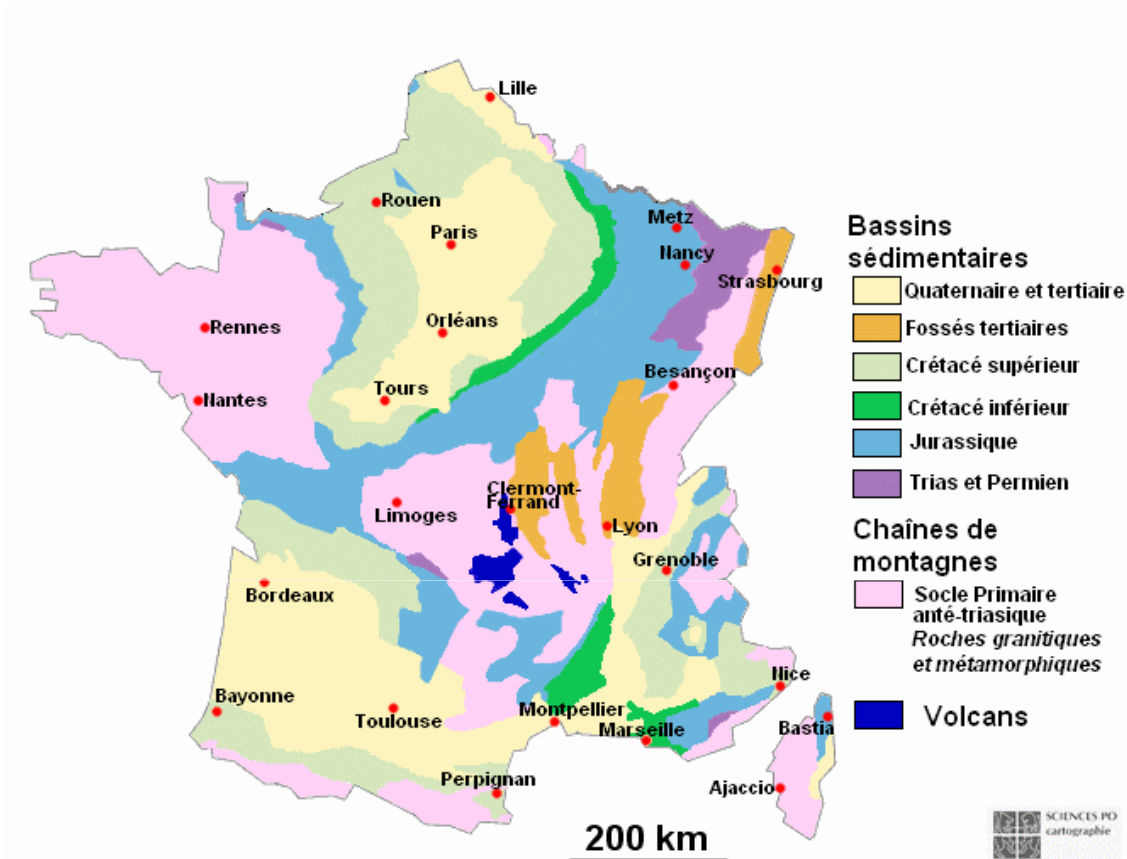


Calcaire ⇒ **MARBRES**

Argile ⇒ **SHISTES, GNEISS**



► Richesse nationale: → Grande diversité du sous-sol Français :



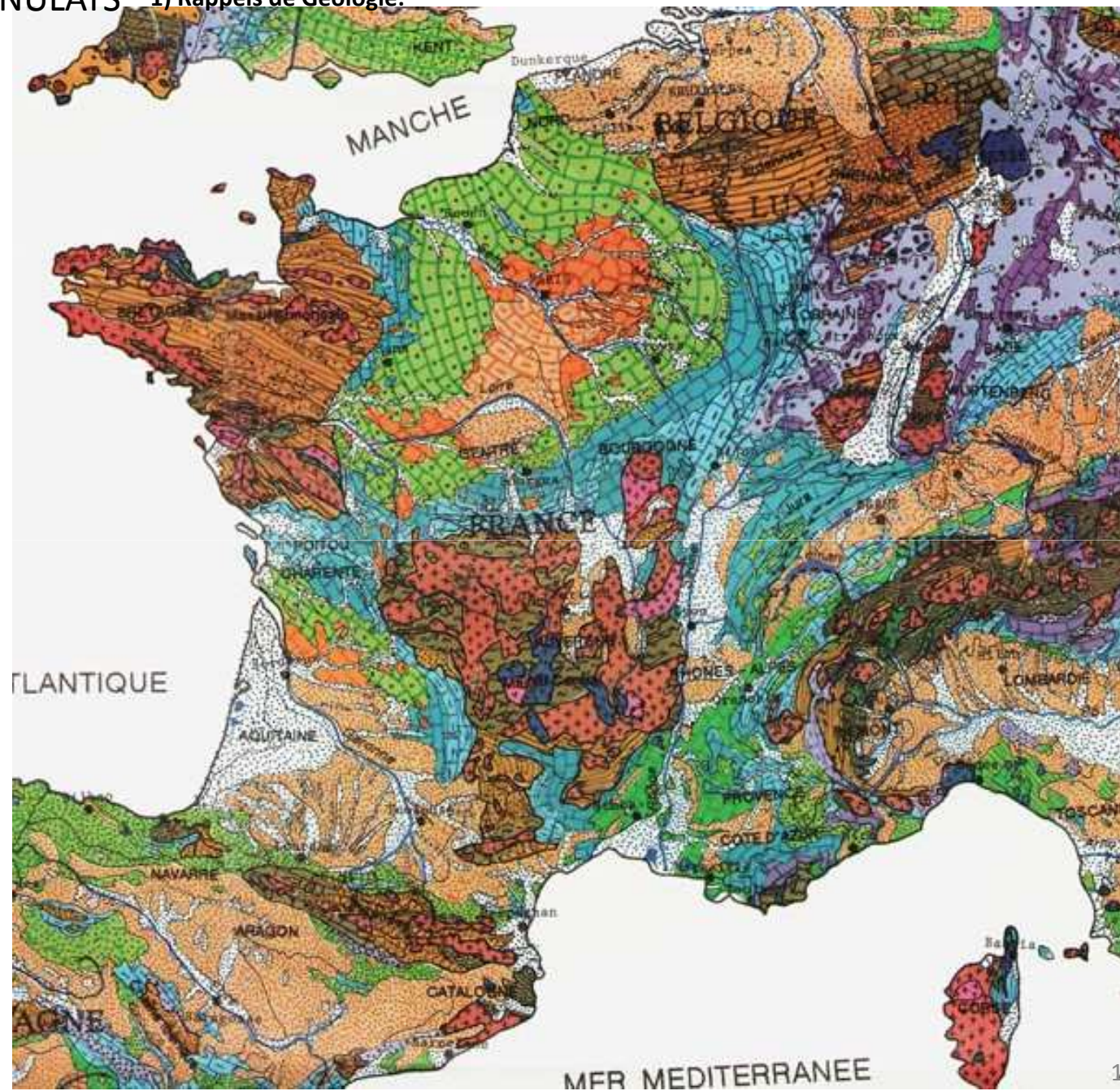
→ Réserves géologiques illimitées

→ Extraction Très Règlementée: - Soumis à autorisation préfectorale
- Durée de vie moyenne: 15ans (Maxi 30ans)

! Pénurie annoncée de gisement autorisé

⇒ Exploitation rationnelle, préservation des gisements,
⇒ recyclage des matériaux

→ Adaptation des méthodes d'élaboration des granulats par le carrier en fonction de la géologie



CHAP VII: GRANULATS

► Provenance des granulats:

→ Roche Massive

252 MT (57%)
éruptif 133MT
sédimentaire 119MT

Carrières

Toutes les situations géologiques



→ Alluvionnaire

175 MT (40%)

Matériaux non consolidés,
déposés par les glaciers

Sablières, Gravières

Exploitation en eau, à sec



→ Marin

12 MT (3%)

Sables

coquillages



→ Recyclage

→ Granulats artificiels:

Sous-produits Industriels: Laitiers

Produits Industriels: Granulats ferreux, réfractaire

Granulats allégés: argile expansé, schiste expansé

CHAP VII: GRANULATS

Contrôles en France: l'ensemble des essais en Laboratoires sont normalisés (Normes Européennes ou Normes Françaises)

► Directive Européenne des produits de Construction= DPC 89/106/CE

⇒ Impose le marquage CE pour les produits de Construction

→ 2004: Granulats

→ 2008: Enrobés

► Marquage CE des Granulats:

- Loi / **OBLIGATOIRE** : contrôlé par l'administration des douanes

- Référentiel commun à tous les pays d'Europe

- 2 niveaux en France: Niveau 4 = simple déclaration

Niveau 2+ = Audit extérieur

- DETERMINE LES **BORNES** DES SPECIFICATIONS DES GRANULATS

LA FREQUENCE DES CONTROLES

- IMPOSE LA MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME QUALITE (gestion des N.C.)

- 7 articles

• **NF EN 13139**

- Granulats pour mortiers

• **NF EN 12620**

- Granulats pour bétons hydrauliques

• **NF EN 13043**

- Granulats pour mélanges bitumineux

• **NF EN 13242**

- Matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités

• **NF EN 13055-1**

- Granulats légers pour bétons et mortiers

• **NF EN 13055-2**

- Granulats légers pour usages routiers autre que béton et mortier

• **NF EN 13450**

- Granulats pour ballasts

► Norme NF 18 545:

- Norme Française (historique)

- Reprend et précise les normes NF EN

- **DEMARCHE VOLONTAIRE** / non Obligatoire

- Définie les règles générales permettant le contrôle des granulats

⇒ Objectif: garantir la **REGULARITE** de la production

→ Approche **STATISTIQUE** : FTP

CHAP VII: GRANULATS

► Types de granulats: 2 familles d'élaboration

→ Granulats roulés: Issus de matériaux marins et alluvionnaires

Faces arrondies, forme sphérique

Destinés essentiellement au Béton (BPE, produits bétons)

0/2r 0/4r 4/10r 10/20r 20/40r

→ Granulats concassés: Issus de matériaux de roche massive

Issus de matériaux marins et alluvionnaires après concassage

Faces cassées, forme cubique

Destinés essentiellement aux matériaux des routes

0/2cf 2/6c 6/10c 10/14c 0/20c 0/31,5c 0/80c

! Les matériaux concassés peuvent servir aux bétons

► 2 Caractéristiques : → Intrinsèques: propre à la roche

- ★ Propriétés mécaniques et physiques
- ★ Propriétés chimiques
- ★ Propriétés thermiques et d'altérabilité

→ d'Elaboration: fonction de la méthode d'élaboration

- ★ Caractéristiques géométriques



CHAP VII: GRANULATS

2) Caractéristiques Intrinsèques:

► Qualités requises pour la construction routière:

Ne sont prises en compte et contrôlées que les caractéristiques intrinsèques qui intéressent la construction Routière

Exemple: Nature Pétrographique

→ Le moins d'usure possible

⇒ Résistance aux chocs dus au passage de l'essieu

Essai Los Angeles (LA)

⇒ Résistance à l'attrition

Essai Microdeval en présence d'Eau (MDE)

Attrition = usure relative des grains qui bougent et frottent les uns par rapport aux autres

Le phénomène d'attrition est amplifié par la présence d'eau ⇒ Imperméabilisation des chaussées en surface

→ Bon contact avec le pneu : Objectif éviter le phénomène d'Aquaplaning

ADHERENCE

⇒ MACROTEXTURE: Création en couche de surface d'aspérités en forme de canaux qui permettent l'évacuation des eaux.

⇒ MICROTEXTURE: Utilisation de la rugosité Intrinsèques du granulat.

Essai PSV (Polished Stone Value)



Attention à l'usure trop rapide des gravillons en surface = POLISSAGE

Rq: la roche Calcaire est interdite en couche de Roulement en Europe

→ ! Sensibilité au gel: Mesure de l'évolution de l'essai Los Angeles (LA) après 25 cycles gel/dégel (-25°C,+25°C)

→ Nature minéralogique: Important pour les bétons: teneur en sulfates, sulfures et chlorures (fissuration et corrosion des armatures)

Sensible pour les enduits à base d'émulsion

→ Présence de matière organique

CHAP VII: GRANULATS

Essai Los Angeles (LA)

Norme NF EN 1097-2 → Résistance à la Fragmentation

- Principe: Echantillon représentatif de 5Kg de 10/14mm subit un cycle de broyage à sec dans un broyeur à boulets. Son degré de fragmentation est apprécié par la proportion de l'échantillon devenue plus petite que 1,6mm.

- Méthode d'essai:

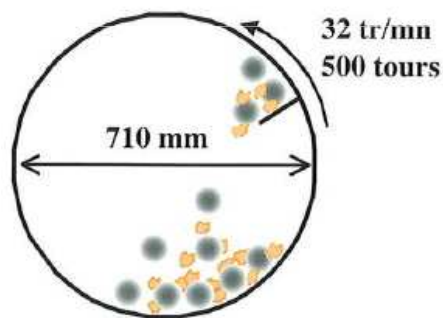
1) Echantillonnage

2) Criblage de la Fraction 10/14

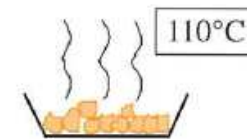
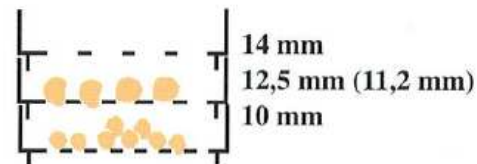
3) Lavage + Séchage

4) Pesage (+5g)

5) Concassage



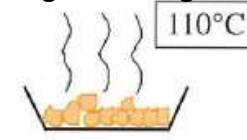
11 x ● (47 mm, 430g)



6) Criblage 1,6mm



7) Lavage + Séchage

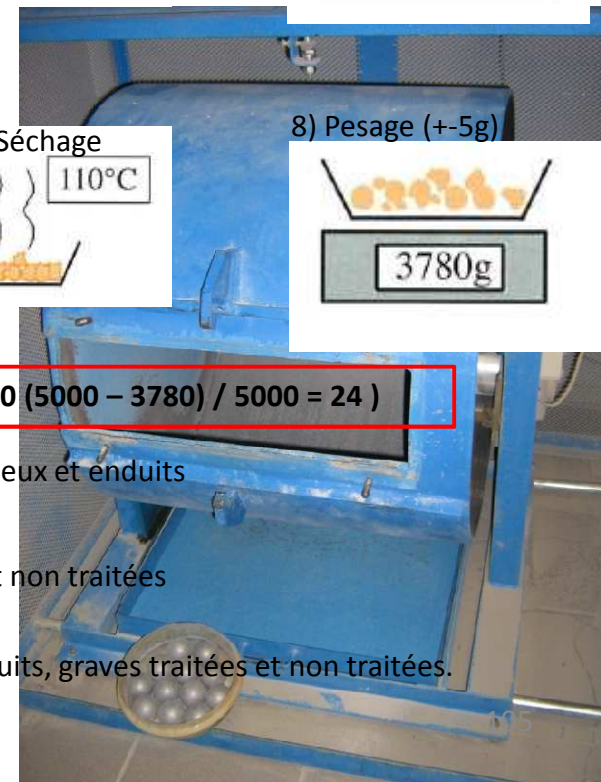


8) Pesage (+5g)

**LA = % < 1,6 mm****(ex. LA = 100 (5000 – 3780) / 5000 = 24)**

- Spécifications:
- Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
8 catégories LA₁₅ (≤ 15) LA₂₀ LA₂₅ LA₃₀ LA₄₀ LA₅₀
 - Norme NF EN 13242 – Granulats pour graves traitées et non traitées
8 catégories LA₂₀ LA₂₅ LA₃₀ LA₄₀ LA₅₀ LA₆₀

- Fréquence des essais: 1 par an sur les gravillons pour enrobés, enduits, graves traitées et non traitées.



CHAP VII: GRANULATS

Essai Microdeval en présence d'Eau (MDE)

Norme NF EN 1097-1 → Résistance à la Fragmentation et attrition

- Principe: LA + Eau = Echantillon représentatif de 5Kg de 10/14mm subit un cycle de broyage en présence d'eau dans un broyeur à boulets. Son degré de fragmentation est apprécié par la proportion de l'échantillon devenue plus petite que 1,6mm.

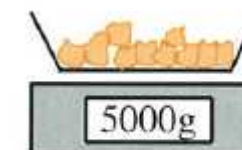
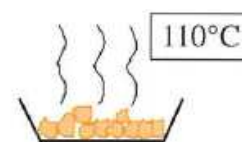
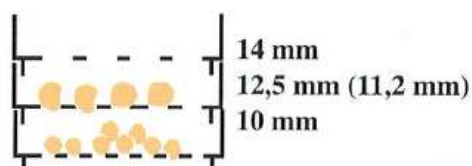
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

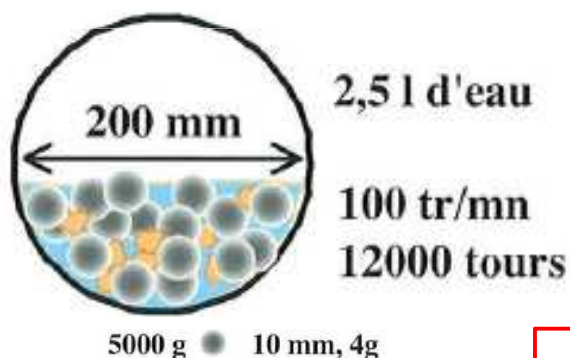
2) Criblage de la Fraction 10/14

3) Lavage + Séchage

4) Pesage (+5g)



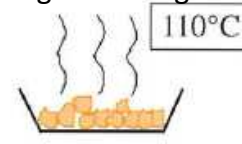
5) Concassage



6) Criblage 1,6mm



7) Lavage + Séchage



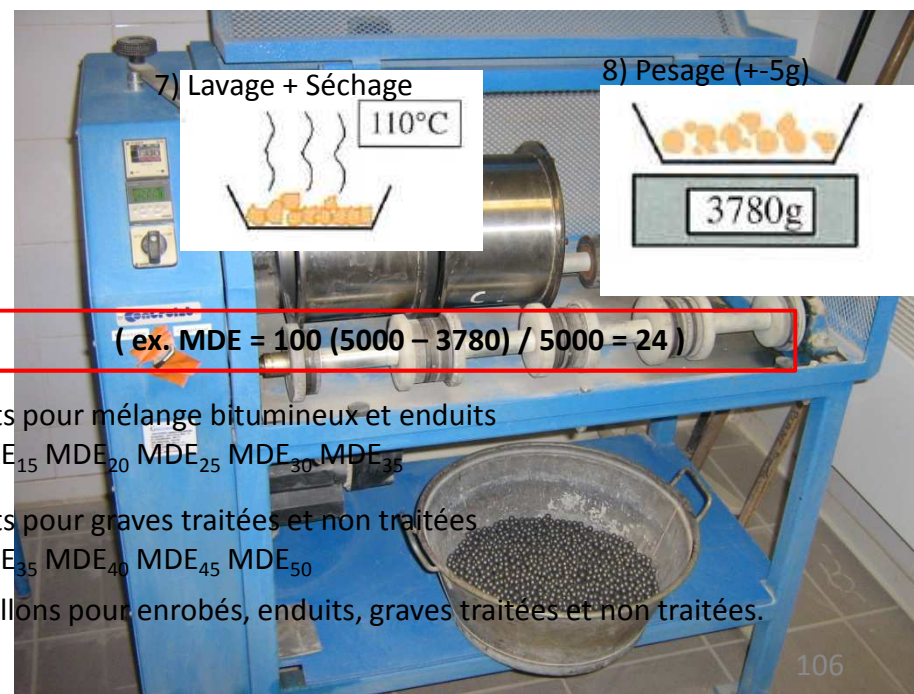
8) Pesage (+5g)



$$\text{MDE} = \% < 1,6 \text{ mm}$$

$$(\text{ex. MDE} = 100 (5000 - 3780) / 5000 = 24)$$

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
7 catégories $\text{MDE}_{10} (\leq 10)$ MDE_{15} MDE_{20} MDE_{25} MDE_{30} MDE_{35}
- Norme NF EN 13242 – Granulats pour graves traitées et non traitées
6 catégories MDE_{20} MDE_{25} MDE_{35} MDE_{40} MDE_{45} MDE_{50}
- Fréquence des essais: 1 par an sur les gravillons pour enrobés, enduits, graves traitées et non traitées.



CHAP VII: GRANULATS

Essai PSV (Polished Stone Value)

Norme NF EN 1097-8 → Résistance de la micro-rugosité au Polissage

- Principe: Une éprouvette constituée d'une mosaïque de gravillons subit deux cycles de polissage. La rugosité résiduelle des gravillons est ensuite mesurée avec un pendule de frottement.

- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

2) Criblage de la Fraction 6/10



3) Déplatage

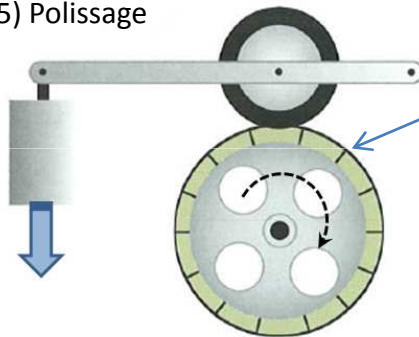
7,2 mm



4) Préparation de 4 éprouvettes

Gravillons
+ sable roulé
+ résine

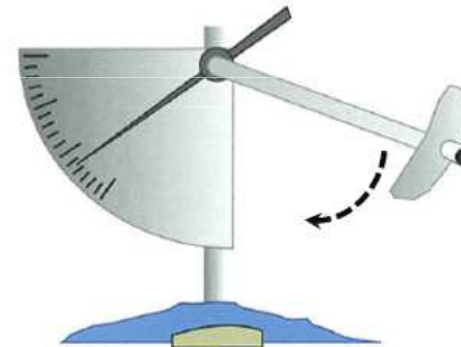
5) Polissage



14 éprouvettes:
2 x 6 matériaux différents
2 matériaux de référence (PSV 52,5)

1^{er} cycle: 3 heures+émeri grossier+eau
2^{ème} cycle: 3 heures+émeri fin+eau

6) Essai de Frottement



5 mesures
Moyenne des 3 dernières valeurs



$$PSV = S + (52,5 - C) \quad S = \text{moy}(4 \text{ éprouvettes}) \text{ et } C = \text{moy}(4 \text{ éprouvettes référence})$$

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
6 catégories PSV₆₈ (≥ 68) PSV₆₂ PSV₅₆ PSV₅₀ PSV₄₄

- Fréquence des essais: 1 par an sur les gravillons pour enrobés, enduits, graves traitées et non traitées.



CHAP VII: GRANULATS

3) Caractéristiques d'Elaboration:

- Définitions :

- ▶ Granulat: ensemble de grains minéraux naturels ou artificiels de dimension compris entre 0 et 80mm.
- ▶ La Granularité: la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat.
- ▶ La Granulométrie: la détermination des dimensions des grains d'un granulat au tamis à maille carrée.
- ▶ Les Fines: éléments de dimensions $< 63 \mu\text{m}$.
- ▶ Le Sable: Granulat de + petite dimension $D_{\text{min}} < 1\text{mm}$, et de + grande dimension D_{max} comprise entre $63 \mu\text{m}$ et $6,3 \text{ mm}$.
Rq: le sable utilisé majoritairement en France pour les routes est du 0/2mm.
- ▶ Le Gravillon: Granulat dont $D_{\text{min}} > 1\text{mm}$ et $D_{\text{max}} < 31,5\text{mm}$.
- ▶ Le Caillou: Granulat dont $D_{\text{min}} > 20\text{mm}$ et $D_{\text{max}} < 80\text{mm}$.
- ▶ La Grave: Granulat dont $D_{\text{min}} > 1\text{mm}$ et $6,3\text{mm} < D_{\text{max}} < 80\text{mm}$.

- Qualités requises des granulats pour les chaussées:

→ Ossature granulaire complète (sans vide ou vide défini)

⇒ Dimension géométrique maîtrisée

→ Frottement Interne

⇒ Maximum de faces cassées

⇒ Eviter les Plats, aiguilles, paillettes

→ Bon collage avec les liants

⇒ Propriétés des granulats

⇒ Teneur en eau des granulats

Echantillonnage

Courbe Granulométrique

Indice de Concassage

Coef d'Aplatissement

Valeur au Bleu

Equivalent de Sable

Teneur en eau

CHAP VII: GRANULATS

Echantillonnage

Norme NF EN 932 -1 → Prélever un échantillon de Laboratoire

► Principe: Choisir au hasard dans un lot de granulats et prélever un échantillon de Laboratoire REPRESENTATIF pour réaliser tous les essais complémentaires.

► Méthode d'essai:

1) Prise d'Echantillon Global:

- Sur Bande
- Sur Stock conique: ouverture et prise au coeur
- Sur Stock plat: positionnement au hasard + mélange
- Dans un camion, wagon, trémie ...

D en mm	Masse mini d'un échantillon Global	Rq: Masse mini pour une Analyse Granulométrique
2	15 kg	0,2 kg
6	20 kg	0,4 kg
10	30 kg	2 kg
20	45 kg	4 kg
63	75 kg	40 kg

2) Réduction en échantillon de Laboratoire par quartage



3) Identification de l'échantillon

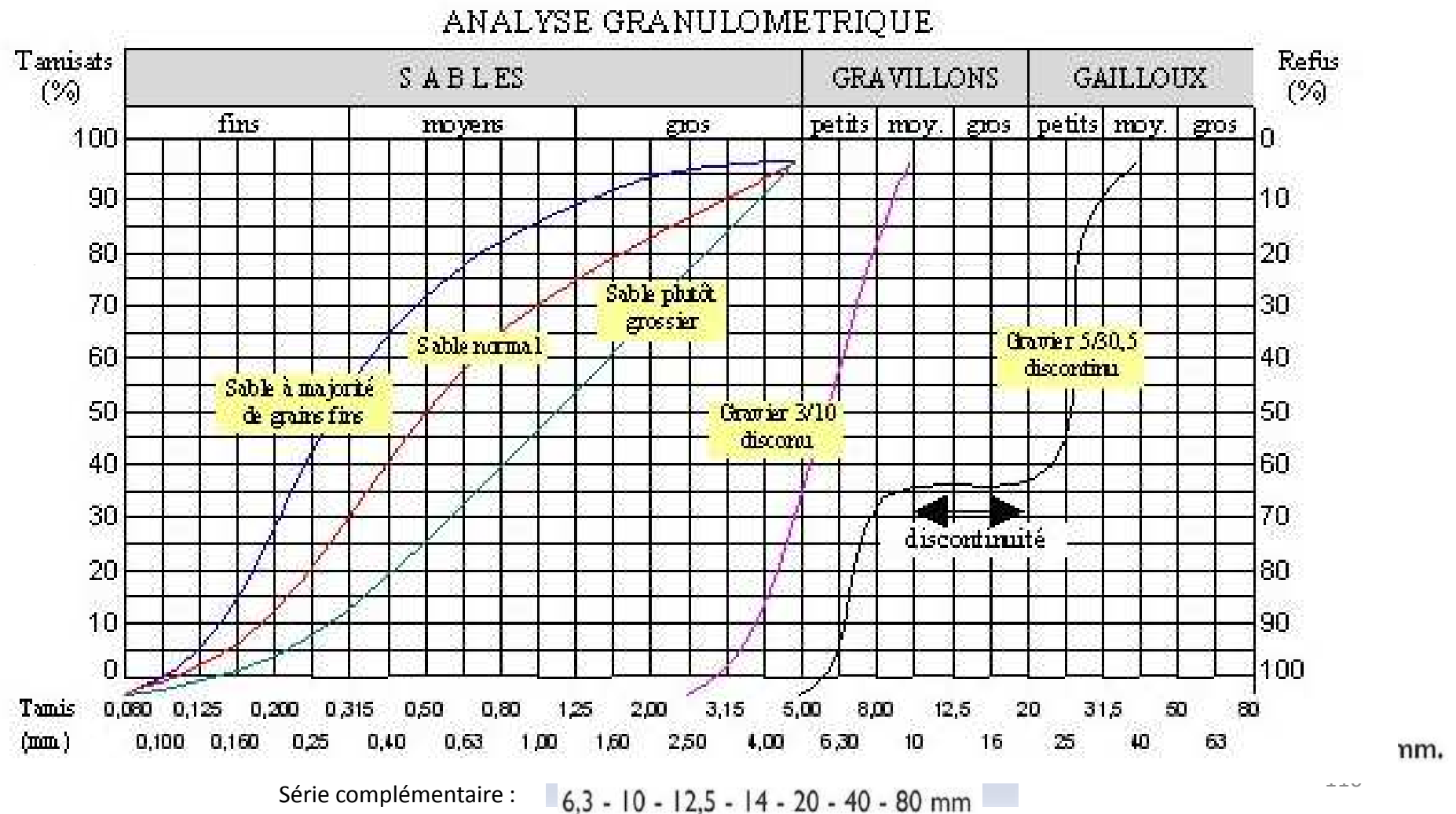
► ! SOURCE DE LITIGE : Fidélité de l'échantillonneur
Echantillonnage Contradictoire

CHAP VII: GRANULATS

Analyse Granulométrique

Norme NF EN 933- 1 → Caractérisation de la Granularité

- Principe: Pour les granulats de dimension $\leq 63\text{mm}$ (filler exclu). Séparer au moyen d'une série de tamis normalisés, un matériaux en plusieurs classes granulaires de dimensions décroissantes. Les dimensions des mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la



CHAP VII: GRANULATS

Analyse Granulométrique

► Spécifications: 8 articles de la norme

- NF EN 13139 - Granulats pour mortiers
- NF EN 12620 - Granulats pour bétons hydrauliques
- NF EN 13043 - Granulats pour mélanges bitumineux
- NF EN 13242 - Matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités
- NF EN 13055-1 - Granulats légers pour bétons et mortiers
- NF EN 13055-2 - Granulats légers pour usages routiers autre que béton et mortier
- NF EN 13450 - Granulats pour ballasts

→ En règle Générale, sont fixé:

- Les seuils maximum et minimum (fuseaux de spécifications)
- Les tolérances pour les tamis intermédiaires
- Les tolérances des fuseaux de fabrication des sables
- Les % des fines

Pour l'Europe:

à 2D	100% de passant
à 1,4D	98% de passant
à D	85-99% de passant
à D/1,4	plage de 30% entre 25-80%
à D/2	plage de 35% entre 20-70%
à d/2	2% ou 5%

→ Les coupures des gravillons ROUTIERS français :

2/4 4/6 **2/6 6/10 10/14** 6/14 14/20 10/20 6/20

→ F.T.P. : FICHE TECHNIQUE PRODUIT

► Fréquence des essais: 1 par semaine de production et par produit

CHAP VII: GRANULATS

Valeur au Bleu

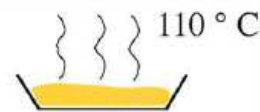
Norme NF EN 933- 9 → Caractérisation de la Propreté

- Principe: Pour la fraction 0/2mm de tous les sables et graves. Test à la tache sur papier filtre: des doses de solution de Bleu de Méthylène sont ajoutées successivement à une suspension de la prise d'essai jusqu'à la limite d'adsorption soit atteinte.

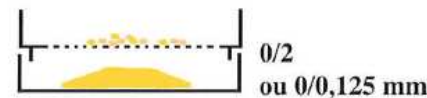
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage

2) Etuvage



3) Criblage de la Fraction 0,125



4) Pesage

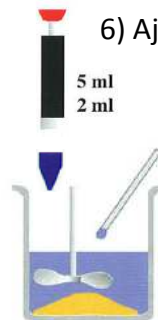


5) Préparation de la Solution



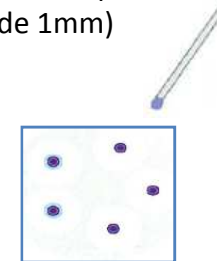
10g de bleu de
méthylène anhydre
/ litre

6) Ajout du BM par goutte à goutte



$$B = \text{nbre goutte} \times 5\text{ml} \times 10\text{g} / 1000\text{ml}$$

7) Vérification par la tache (halo de 1mm)



$$VB = \text{g (bleu)} / \text{kg (0/2 mm)}$$

$$VB_F = \text{g (bleu)} / \text{kg (0/0,125)}$$

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumeux
4 catégories $VB_{F2} (\geq 2)$ $VB_{F2,5}$ VB_{F3}

- Fréquence des essais: 2 par an pour les Granulats pour mélange bitumeux
1 par semaine pour les Granulats de graves

- ! Types d'argile: Argile KAOLINITE = moins gonflante (7% → MB 1,5)
Argile MONTMORIONITE = plus gonflante (0,1% → MB 1,5)

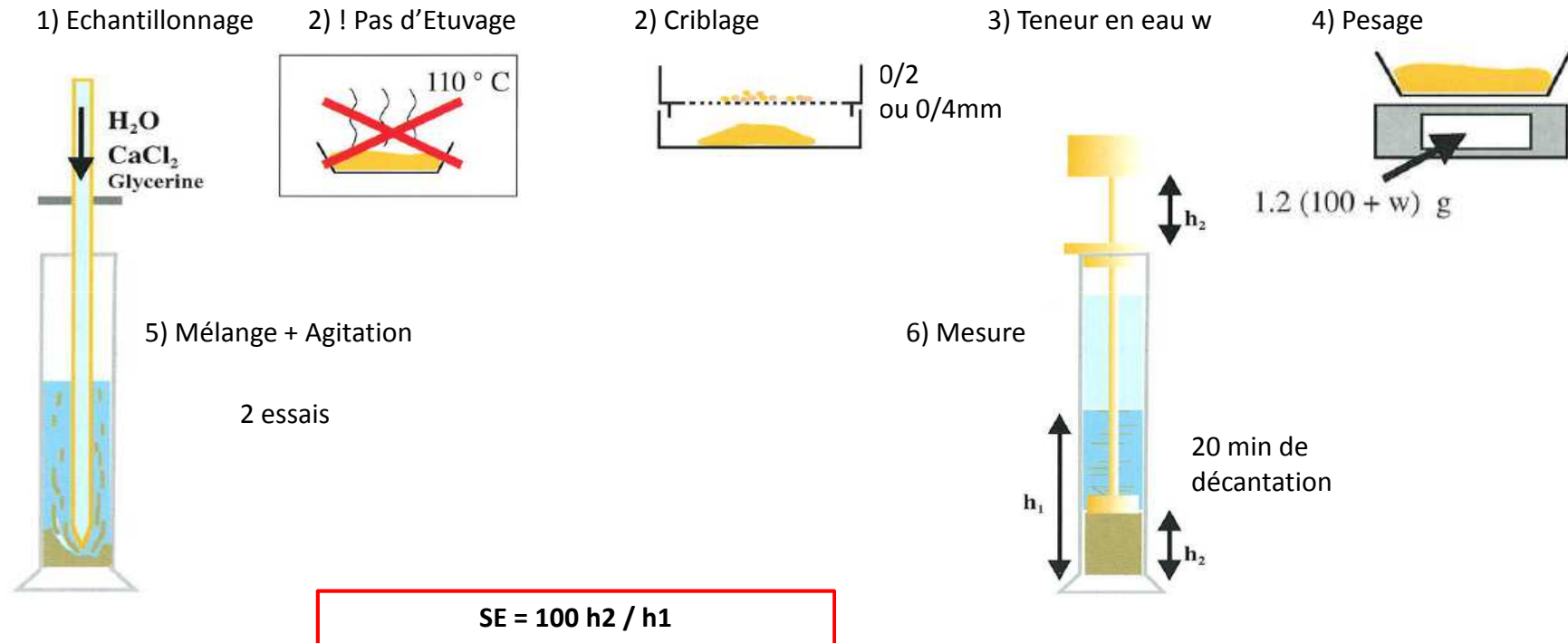


CHAP VII: GRANULATS

Equivalent de Sable

Norme NF EN 933- 8 → Caractérisation de la Propreté

- Principe: Pour la fraction 0/2mm de tous les sables et graves. Après mélange du sable avec dans une solution floculée, on mesure le % de sédiments déposée. Pas de différenciation entre les fines d'argiles et les fines de concassage.
- Méthode d'essai:



- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
4 catégories $SE_{40} (\geq 40)$ SE_{50} SE_{60}

- Fréquence des essais: 2 par an pour les Granulats pour mélange bitumineux et enduits
1 par semaine pour les Granulats de graves traitées et non traitées

CHAP VII: GRANULATS

Coefficient d'Écoulement des Sables

Norme NF EN 933- 6 → Caractérisation de la Forme: faces cassées

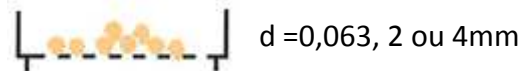
- Principe: Pour les matériaux alluvionnaires, Sable < 4mm. Mesurer le temps (en s) d'écoulement d'un volume donné de matériaux à travers une ouverture donnée. Plus le grain est concassé plus il a d'arrêtes plus le temps d'écoulement est important.

- Méthode d'essai:

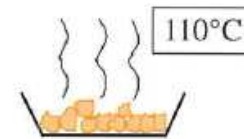
1) Echantillonnage



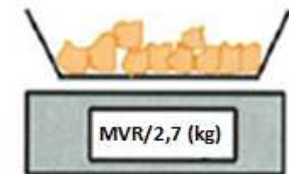
2) Criblage de la Fraction D/d



3) Lavage + Séchage



4) Pesage (+5g)



5) Chronométrage du temps d'écoulement

5 mesures

Ecs = moyenne des 5 mesures en s

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
4 catégories $E_{cs_{38}} (\geq 38s)$ $E_{cs_{35}}$ $E_{cs_{30}}$ $E_{cs_{NR}}$

- Fréquence des essais: 1 par mois sur tous les sables.

CHAP VII: GRANULATS

Coefficient d'Écoulement des Gravillons

Norme NF EN 933- 6 → Caractérisation de la Forme: faces cassées

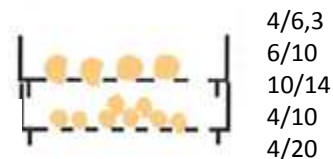
- Principe: Pour les matériaux alluvionnaires, gravillons de 4 à 20 mm. Mesurer le temps (en s) d'écoulement d'un volume donné de matériaux à travers une ouverture donnée. Plus le grain est concassé plus il a d'arrêtes plus le temps d'écoulement est important.

- Méthode d'essai:

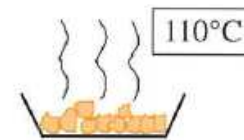
1) Echantillonnage



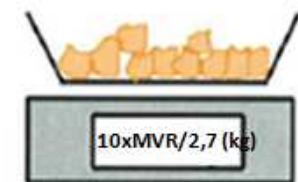
2) Criblage de la Fraction D/d



3) Lavage + Séchage



4) Pesage (+5g)



5) Chronométrage du temps d'écoulement

1 mesure de référence → Er

5 mesures → moyenne Ecm

$$E_{cg} = E_{cm} + (E_r - 100)$$

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
4 catégories $E_{cs_{110}}$ ($\geq 110s$) $E_{cs_{105}}$ $E_{cs_{95}}$ $E_{cs_{85}}$ $E_{cs_{NR}}$

- Fréquence des essais: 1 par mois sur tous les gravillons.

CHAP VII: GRANULATS

Indice de Concassage / Rapport de Concassage

Norme NF EN 933- 5 → Caractérisation de la Forme: faces cassées

- Principe: Pour les matériaux alluvionnaires, gravillons de 4 à 20 mm. Sur 1 Kg de matériaux, trier manuellement les grains et les séparer en 4 catégories: Grains entièrement concassés, grains semis-concassés, grains semi-roulés et grains entièrement roulés.

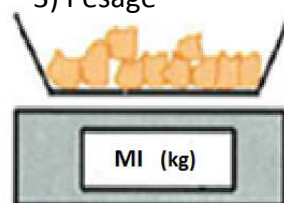
- Méthode d'essai:

1) Echantillonnage 2) Criblage Fraction D/d

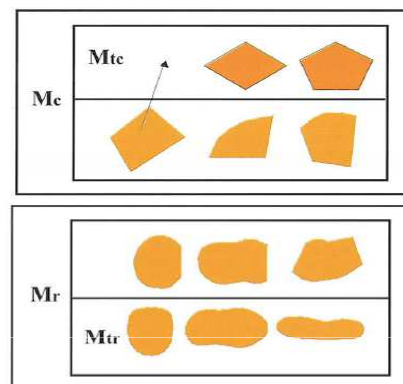


$D \leq 63\text{mm}$
 $d \geq 2\text{mm}$
 $D \geq 2d$

3) Pesage



4) Tri



tc entièrement concassés
 (90% de surface cassée)

c semi-concassés
 (plus 50% de surface cassée)

c semi-roulés
 (moins 50% de surface cassée)

tr entièrement roulés
 (moins 10% de surface cassée)

$$C_c = 100 M_c / M_I \quad C_{tc} = 100 M_{tc} / M_I \quad C_{tr} = 100 M_{tr} / M_I$$

- Spécifications: norme EN

Pourcentage de particules			Catégories des normes granulats	
C_{tc}	C_c	C_{tr}	NF EN 13043 pour mélanges bitumineux	NF EN 13242 pour graves traitées et non traitées
90 à 100	100	0	$C_{100/0}$	-
30 à 100	95 à 100	0 à 1	$C_{95/1}$	-
30 à 100	90 à 100	0 à 1	$C_{90/1}$	-
NR	90 à 100	0 à 3	-	$C_{90/3}$
NR	50 à 100	0 à 10	-	$C_{50/10}$
NR	50 à 100	0 à 30	-	$C_{50/30}$
NR	NR	0 à 50	-	$C_{NR/50}$
NR	NR	0 à 70	-	$C_{NR/70}$
NR	< 50	> 30	$C_{Declared}$	
NR	NR	NR	C_{NR}	

- Fréquence des essais: 1 par mois sur tous les gravillons.

CHAP VII: GRANULATS

Coefficient d'Aplatissement

Norme NF EN 933- 3 → Caractérisation de la Forme

- Principe: Mesurer par criblage sur une grille à fente le pourcentage de granulats plats contenus dans une fraction déterminée. Un PLAT est un grain dont le rapport entre la grande et la plus petite dimension est $> 1,58$.

- Méthode d'essai:

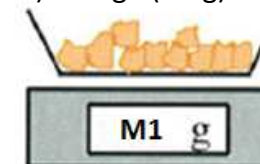
1) Echantillonnage

2) Criblage de la Fraction D/d



$$D = 1,25d$$

3) Pesage (+5g)

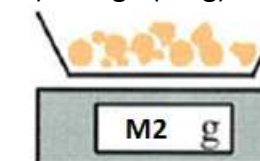


4) Criblage au tamis à fente



$$E = D/2 = d/1,58$$

5) Pesage (+5g)



Classe granulaires d/D (mm)	31,5/40	25/31,5	20/25	16/20	12,5/16	10/12	8/10	6,3/8	5/6,3	4/5
Ecartement E des grilles à fentes (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5

$$A_{\text{France}} = FI_{\text{anglais}} = 100 \times M2 / M1$$

FI = Flakiness Index

- Spécifications: -Norme NF EN 13043 – Granulats pour mélange bitumineux et enduits
8 catégories $FI_{10} (\leq 10)$ FI_{15} FI_{20} FI_{25} FI_{30} FI_{35} FI_{50} FI_{NR}
-Norme NF EN 13242 – Granulats pour graves traitées et non traitées
4 catégories FI_{20} FI_{35} FI_{50} FI_{NR}
- Fréquence des essais: 1 par mois sur tous les gravillons.

CHAP VII: GRANULATS

4) Contrôle d'élaboration:

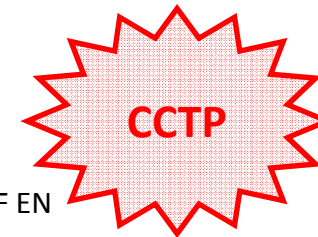
► Marquage CE des Granulats: Norme Européenne

- **OBLIGATOIRE**

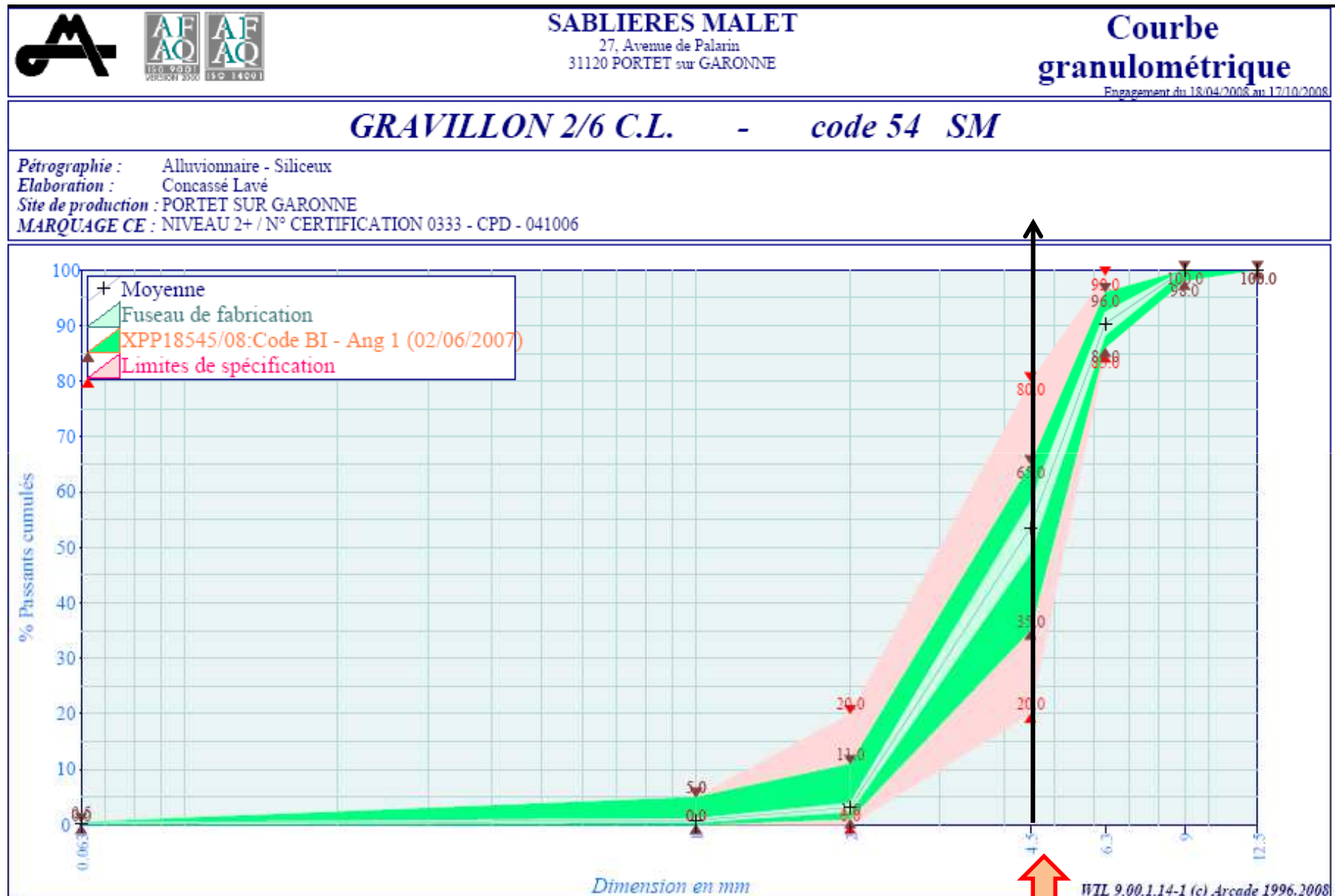
- 7 articles: - **NF EN 13043**: Matériaux pour mélanges bitumineux
 - **NF EN 13242**: Matériaux traités aux liants hydrauliques et matériaux non traités
- DETERMINE LES **BORNES** DES SPECIFICATIONS DES GRANULATS
- DETERMINE LA FREQUENCE DES CONTROLES

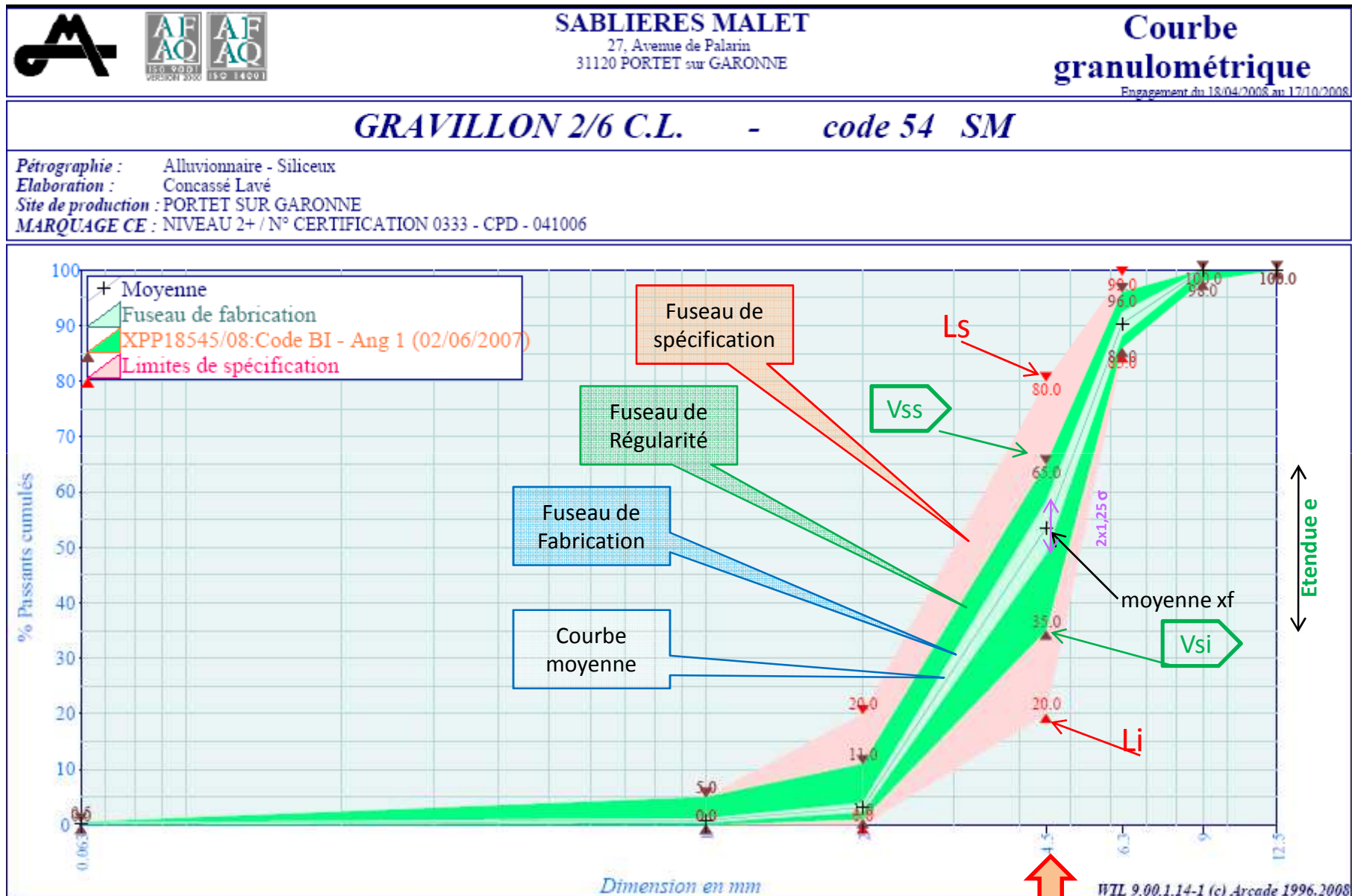
► Norme NF 18 545:

- Norme Française (historique)
- **DEMARCHE VOLONTAIRE** / non Obligatoire
- Reprend les bornes et les fréquences des normes NF EN
- Précise les bornes des normes NF EN
- Approche **STATISTIQUE** : FTP



⇒ Objectif: garantir la **REGULARITE** de la production






SABLIERES MALET

 27, Avenue de Palarin
 31120 PORTET sur GARONNE

Fiche Technique
- OCT 2008 / 01

Engagement du 18/10/2008 au 17/04/2009

Page 1/2

GRAVILLON 2/6 C.L. - code 54 SM

Pétrographie : Alluvionnaire - Siliceux
Elaboration : Concassé Lavé
Site de production : PORTET SUR GARONNE
MARQUAGE CE : NIVEAU 2+ / N° CERTIFICATION 0333 - CPD - 041006

ATTENTION ! Ce document est la propriété du producteur et ne peut être reproduit sans son autorisation.

Partie normative

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

Norme

XP P18-545 Art 8 - EN 13043 - Chaussées: Couches roulement liants hydrocarbonés

Spécification

Code BI - Ang 1

Classe granulaire

2 6.3

Micro Deval

Los Angeles

	0.063	d/2	d	D/1.4	D	1.4D	2D	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
Etendue e			10	30	10								
Incertitude U	0.3	1	5	6	5	1		4	3	4	0.3	3	3
V.S.S.+U	0.8	6	16	71	100	100		24.00	38.0		0.80	23.00	18.00
V.S.S.	0.5	5	11	65	96	100	100	20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
V.S.I.	0.0	0	1	35	86	98	100			50.00			
V.S.I.-U	0.0	0	0	29	81	97				46.00			
LS		5	20	80	99			20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
LI			0	20	85	98	100			50.00			

GRANULO

Aplatissement

Polissage

fines 122

**SABLIÈRES MALET**27, Avenue de Palarin
31120 PORTET sur GARONNE**Fiche Technique****- OCT 2008 / 01**

Engagement du 18/10/2008 au 17/04/2009

Page 1/2

GRAVILLON 2/6 C.L. - code 54 SM

Péetrographie : Alluvionnaire - Siliceux
Elaboration : Concassé Lavé
Site de production : PORTET SUR GARONNE
MARQUAGE CE : NIVEAU 2+ / N° CERTIFICATION 0333 - CPD - 041006

Partie informative
Résultats de production

		du 05/03/08 au 13/10/08											du 05/03/08 au 05/03/08		
	FaitLe	Lieu de prélèvement	0.063	1	2	4.5	6.3	9	12.5	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
GRACCHUS-AR091004	05/03/2008										31.0	54.00		20.00	11.00
LSM-A8101002	01/04/2008	STOCK													
LSM-A8113002	21/04/2008	STOCK	0.1	1	3	54	90	100	100				0.14		
LSM-A8141006	19/05/2008	STOCK	0.1	0	2	48	89	100	100	14.70			0.13		
LSM-A8148012	26/05/2008	STOCK	0.2	1	3	52	92	100	100				0.22		
LSM-A8156011	03/06/2008	STOCK	0.2	1	3	50	90	100	100	13.67			0.15		
LSM-A8163006	10/06/2008	STOCK	0.3	1	3	57	90	100	100				0.30		
LSM-A8170009	18/06/2008	STOCK	0.2	0	2	53	90	100	100				0.16		
LSM-A8177010	24/06/2008	STOCK	0.5	1	3	53	91	100	100				0.46		
LSM-A8184009	01/07/2008	STOCK	0.1	0	3	54	92	100	100	17.90			0.08		
LSM-A8204010	21/07/2008	STOCK	0.3	1	4	60	93	100	100				0.27		
LSM-A8212009	29/07/2008	STOCK	0.3	1	4	55	92	100	100				0.30		
LSM-A8218009	04/08/2008	STOCK	0.3	1	3	55	91	100	100	17.84			0.28		
LSM-A8226009	12/08/2008	STOCK	0.3	1	3	56	90	100	100				0.29		
LSM-A8248010	02/09/2008	STOCK	0.2	1	4	67	90	100	100	15.11			0.16		
LSM-A8252011	08/09/2008	STOCK	0.4	1	3	45	87	100	100				0.42		
LSM-A8260003	15/09/2008	STOCK	0.2	1	4	58	91	100	100				0.23		
LSM-A8276006	30/09/2008	STOCK	0.2	1	3	50	88	100	100				0.23		
LSM-A8289011	13/10/2008	STOCK	0.4	1	4	51	89	100	100	15.65			0.40		
Maximum			0.5	1	4	67	93	100	100	17.90			0.46		
Xf- 1.25xEcart-typ			0.4	1	4	60	92	100	100	17.96			0.38		
Moyenne Xf			0.2	1	3	54	90	100	100	15.81	31.0	54.00	0.25	20.00	11.00

> 15 valeurs

CHAP VII: GRANULATS

FTP



SABLIERES MALET

27, Avenue de Palarin
31120 PORTET sur GARONNE

Fiche Technique
- OCT 2008 / 01

Engagement de val. 10/2008 au 17/04/2009

Page 1/1

GRAVILLON 2/6 C.L.

- code 54 SM

Pétrographie : Alluvionnaire - Siliceux
Elaboration : Concassé Lavé
Site de production : PORTET SUR GARONNE
MARQUAGE CE : NIVEAU 2+ / N° CERTIFICATION 0333 - CPD - 041006

ATTENTION ! Ce document est la propriété du producteur et ne peut être reproduit sans son autorisation.

Partie normative

Norme

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage

Classe granulaire

2	6.3
---	-----

XPP 18-545 Art 8 - EN 13043 - Chaussées: Couches roulement liants hydrocarbonés

Spécification

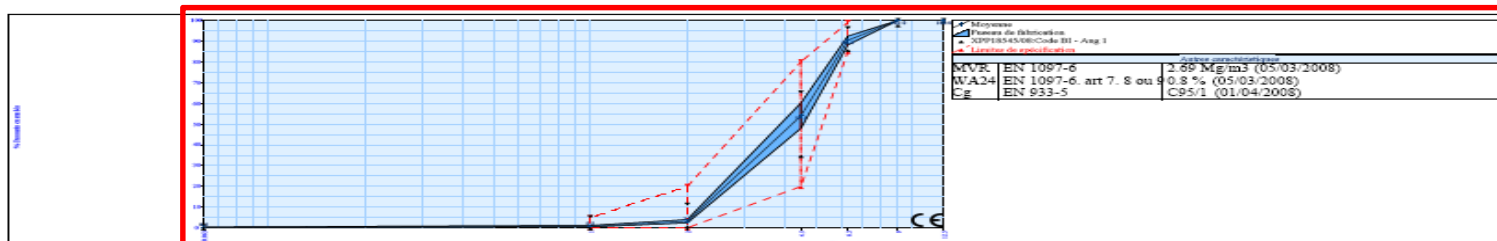
Code BI - Ang 1

	0.063	d/2	d	D/1.4	D	1.4D	2D						
		1	2	4.5	6.3	9	12.5	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
Etendue e			10	30	10								
Incertitude U	0.3	1	5	6	5	1		4	3	4	0.3	3	3
V.S.S.+U	0.8	6	16	71	100	100		24.00	38.0		0.80	23.00	18.00
V.S.S.	0.5	5	11	65	96	100	100	20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
V.S.I.	0.0	0	1	35	86	98	100			50.00			
V.S.I.-U	0.0	0	0	29	81	97				46.00			
LS		5	20	80	99			20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
LI			0	20	85	98	100			50.00			

Partie informative

Résultats de production

	du 05/03/08 au 13/10/08											du 05/03/08 au 05/03/08	
	0.063	1	2	4.5	6.3	9	12.5	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
Maximum	0.5	1	4	67	93	100	100	17.90			0.46		
Xf+1.25xEcart-types	0.4	1	4	60	92	100	100	17.96			0.38		
Moyenne Xf	0.2	1	3	54	90	100	100	15.81	31.0	54.00	0.25	20.00	11.00
Xf-1.25xEcart-types	0.1	0	2	48	88	100	100	13.66			0.11		
Minimum	0.1	0	2	45	87	100	100	13.67			0.08		
Ecart-type	0.11	0.3	0.7	4.9	1.7	0.0	0.0	1.721			0.108		
Nombre de résultats	17	17	17	17	17	17	17	6	1	1	17	1	1
Norme								EN 933-3		EN 1097-8	EN 933-1	EN 1097-2	EN 1097-1



CHAP VII: GRANULATS

5) Classification des granulats:

► Fréquence des essais:

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

NORME	Intitulé de l'essai			BETON (NF EN 12 420) MORTIERS (NF EN 13 139)		MELANGES BITUMINEUX ET ENDUITS (NF EN 13 043)		GRAVES TRAITEES ET NON TRAITEES (NF EN 13 242)		Essai à réaliser sur:
				Essai initial	Fréquence	Essai initial	Fréquence	Essai initial	Fréquence	
NF EN 932-3	Description pétrographique			oui	1 / 3 ans	oui	1 / 5 ans	oui		1 TV ou 1 Brut ou 1 G
NF EN 933-1	Granulométrie			oui	1 / sem	oui	1 / sem	oui	1 / sem	1 par G, S, Gr
	Teneur en fines (0.063mm)									
	Module de finesse									
NF EN 933-3	Coef Aplatissement			oui	1 / mois	oui	1 / mois	oui	1 / mois	1 par G
	Boulette d'argile									
	Impuretés prohibées									
NF EN 933-4	Indice de forme			APD		APD		APD		
NF EN 933-5	% Surfaces cassées			non	-	oui	1 / mois	oui	1 / mois	1 par G
NF EN 933-6	Ecoulement des sables			non	-	oui	1 / mois	non	-	1 par S
NF EN 933-7	Eléments coquilliers ---> Seulement G origine marine			non		non		non		
NF EN 933-8	Evaluation des fines (si f sable ou grave > 3%)	Equivalent de sable SE		SE ou MB	1 / sem SE ou MB	non		SE ou MB	1 / sem SE ou MB	1 par S
NF EN 933-9		Essai au bleu M.	MBf sur passt à 2 mm MBf sur fract° 0/0.125 mm	non	-	oui	2 / an	non	-	1 par S ou Gr
NF EN 1097-1	MDE			oui	1 / 2 ans	oui	1 / an	oui	2 / an	1 G
NF EN 1097-2	LOS			oui	2 / an	oui	1 / an	oui	2 / an	1 G
NF P 18 576	Friabilité									
NF EN 1097-3	MV en vrac			APD		oui	-	non	-	1 par G
NF EN 1097-6	MVR et Ab			Art 8 : Gravillons de 4 à 31.5	oui	1 / an	APD			1 par G
				Art 9 : Sables de 0.063 à 4	oui	1 / an	APD	oui	1 / an	1 par S
				Annexe A : Méthode MVR uniquement	APD	-	oui	1 / 2 ans		1S + 1G
NF EN 1097-6	CPA / PSV			Pour couche de roulement	oui	1 / 2 ans	oui	1 / an	non	1 G
NF EN 1367-1	Résistance gel / dégel			Si Ab > 1%	oui	1 / 2 ans	oui	1 / 2 ans	oui	1 G

CHAP VII: GRANULATS

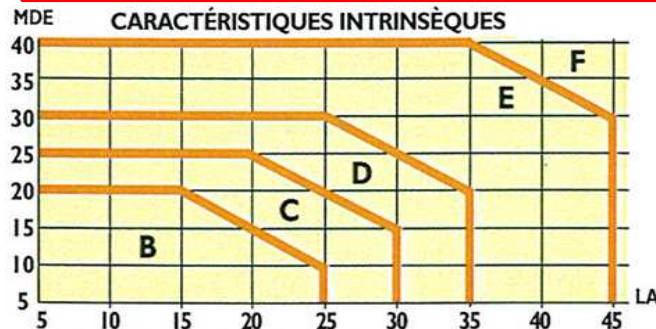
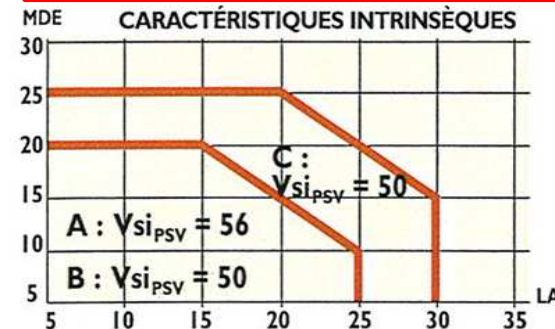
5) Classification des granulats:

► Tarification des essais:

U.P.S. M2 UE1 2011-2012

NORME	Intitulé de l'essai		Tarifs	FREQUENCES	COUPURES CONCERNEES	GRANULATS CONCERNES	TOTAL ANNUEL
NF EN 932-3	Description pétrographique		450,00 €	1 / 3 ANS	1TV ou 1G	4/12R	148,50 €
NF EN 933-1	Prélèvement		10,00 €	1 / SEM	G+S+Gr	0/2R - 0/4R - 4/12R - 12/20R - 20/40R - 0/2F - 4/6CL - 2/6CL - 6/10CL - 10/14CL - 0/20C	5 500,00 €
933-1	Granulométrie		35,00 €	1 / SEM	G+S+Gr	0/2R - 0/4R - 4/12R - 12/20R - 20/40R - 0/2F - 4/6CL - 2/6CL - 6/10CL - 10/14CL - 0/20C	19 250,00 €
	Teneur en fines (0.063mm)		25,00 €	1 / SEM	G+S+Gr	0/2R - 0/4R - 4/12R - 12/20R - 20/40R - 0/2F - 4/6CL - 2/6CL - 6/10CL - 10/14CL - 0/20C	13 750,00 €
	Module de finesse		25,00 €	1 / SEM	S	0/2R - 0/4R	2 500,00 €
933-3	Coef Aplatissement		35,00 €	1 / MOIS	G	4/12R - 12/20R - 2/6CL - 6/10CL - 10/14CL	2 100,00 €
	Boulette d'argile		35,00 €	1 / AN	G pour bétons	4/12R - 12/20R	70,00 €
	Impuretés prohibées		35,00 €	1 / AN	G+S+Gr pour bétons	0/2R - 0/4R - 4/12R - 12/20R - 0/2F - 2/6CL	210,00 €
933-5	% Surfaces cassées		65,00 €	1 / MOIS	G pour chaussées 10/14CL - 6/10CL - 2/6CL - 4/6CL - 2/4CL	2/6CL - 6/10CL - 10/14CL	2 340,00 €
	Ecoulement des gravillons		60,00 €	1 / AN	G pour chaussées 10/14CL - 6/10CL - 2/6CL - 4/6CL - 2/4CL	2/6CL - 6/10CL - 10/14CL	180,00 €
NF EN 933-6	Ecoulement des sables		60,00 €	1 / MOIS	S pour chaussées Gr pour chaussées	0/2F	720,00 €
NF EN 933-7	Eléments coquilliers ----> Seulement G origin		35,00 €	NON		NON	- €
NF EN 933-8	Evaluation des fines (si f sable ou grave > 3%)	Equivalent de sable SE	45,00 €	1 / SEM	S pour bétons	0/2R - 0/4R	4 500,00 €
NF EN 933-9		ou Essai au bleu M.	70,00 €	1 / SEM 0 ou 2/an	S pour Graves Traitées ou NT S pour enrobés	0/2F 0/2F	140,00 €
997-1	MDE		135,00 €	1 / AN 2 / AN	1 G pour enrobés 1 G pour Gr Traitées et NT	6/10CL ou 10/14cl 6/10CL ou 10/14cl	270,00 € 270,00 €
997-2	LOS		135,00 €	1 / AN 2 / AN 2 / AN	1 G pour enrobés 1 G pour Gr Traitées et NT 1 G pour béton	6/10CL ou 10/14cl 6/10CL ou 10/14cl 4/12R ou 12/20R	270,00 € 540,00 € 800,00 €
NF P 18 576	Friabilité		200,00 €	Pas obligatoire	A communiquer si requis	0/2F	200,00 €
NF EN 1097-6	MVR et Ab	Art 8 et Art 9	115,00 €	1 / AN	S + G pour béton	0/2R - 0/4R - 4/12R - 12/20R - 2/6CL	575,00 €
		Annexe A	115,00 €	1 / AN 1 / 2 ANS	S + G pour Gr Traitées et NT 1S + 1G pour enrobés	0/2F - 2/6CL - 6/10CL - 10/14CL	460,00 €
997-8	CPA / PSV ou RPA		700,00 €	1 / AN	1 G pour enrobés	6/10CL	700,00 €
			700,00 €	1 / 2 ANS	1 G pour béton de chaussée		
NF EN 1367-1	Résistance gel / dégel			1 / 2 ANS	G pour béton si Ab > 1%	4/12R - 12/20R si Ab > 1%	- €
NF EN 1744-1	Art 7, 8 ou 9 :Chlorures solubles dans l'eau		115,00 €	1 / 2 ANS	1S ou 1G pour béton - A communiquer si valeur > 0.01%	0/4R (même valeur pour 0/2R)	57,50 €
	Art 11 : Teneur en soufre total		130,00 €	1 / AN	1S + 1G + 1Gr pour bétons	0/4R - 4/12R	260,00 €
	Art 12 : Teneur en sulfates solubles dans l'ac		130,00 €	1 / AN	1S + 1G pour bétons si soufre ≥ 0.08%	0/4R - 4/12R si Soufre > 0.08%	260,00 €
	Art 15 : Détermination des composés orga		65,00 €	1 / AN	S + Gr pour béton	0/4R (même valeur pour 0/2R)	65,00 €
LPC N°37	Teneur en alcalins actifs		200,00 €	1 / AN	S + G + Gr pour bétons	0/4R (valeur 0/4R pour 0/2R) - 4/12R	600,00 €
NF EN 196-21	Art 5 : Détermination de la teneur en carb		130,00 €	1 / 2 ANS	1 S pour béton de chaussée		126 45,00 €
F.T.P.			12,00 €	1 / 6 mois	Tous les granulats	10/14CL - 0/20C	264,00 €

Total ≈ 60 000€

**ARTICLE 7 :
CHAUSSEES
FONDATION, BASE ET LIAISON**

**ARTICLE 8 :
CHAUSSEES
COUCHES DE ROULEMENT**

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

Codes	2D	1,4D	D	D/1,4 ⁽²⁾	D/2 ⁽³⁾	d	d/2	0,063 mm	FI	Codes
	Vsi	Vsi 98	Ls 99	Ls 80	Ls 70	Ls 20 ⁽⁴⁾	Vss 5 ⁽⁵⁾	Vss 0,5	Vss 15 ⁽⁹⁾	I
	100		Li 85 ⁽¹⁾	Li 20	Li 20	e 10		Vss 0,5 ⁽⁶⁾	Vss 20 ⁽⁹⁾	II
III			e 10		e 35		Vss 5	Vss 1 ⁽⁷⁾	Vss 25 ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾	III
IV			Li 80 Ls 99 e 15			Ls 20 e 15		Vss 2 ⁽⁸⁾	Vss 35	
V										

Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée

⁽¹⁾ Li 80 quand $D < 2d$ ou pour GNT ou GTLH
⁽²⁾ Quand $2 \leq D/d < 4$
⁽³⁾ Quand $D/d \geq 4$
⁽⁴⁾ Ls 15 si emploi en formule discontinue
⁽⁵⁾ Vss 2 si emploi en formule discontinue
⁽⁶⁾ Vss 1 si $MB_F \leq 10$
⁽⁷⁾ Vss 2 pour GNT ou GTLH ou pour enrobés et enduits si $MB_F \leq 10$
⁽⁸⁾ Vss 4 si $MB_F \leq 10$
⁽⁹⁾ Vss 35 pour GNT ou GTLH
⁽¹⁰⁾ Vss majorée de 5 points si $D \leq 6,3$ mm

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES ET GRAVES

Codes	2D	1,4D	D	D/2	0,063 mm	Propreté des éléments < 2 mm		Codes
						SE	ou MB	
a						Vsi 60 ⁽¹⁾	Vss 2 ⁽²⁾	a
b	Vsi		Li 85 Ls 99 e 10			Vsi 50 ⁽¹⁾	Vss 2,5	
c	100	Vsi 98	Li 80 Ls 99 e 10	e 20	e 6	Vsi 40 ⁽¹⁾	Vss 3	
d								

Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée

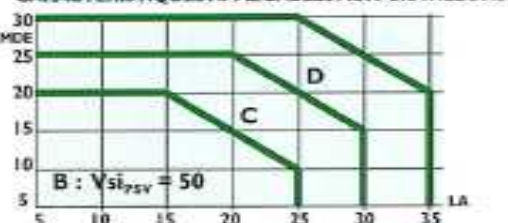
⁽¹⁾ Uniquement pour GNT ou GTLH
⁽²⁾ Implique $MB_F \leq 10$

ANGULARITÉ DES GRAVILLONS ET DES SABLES D'EXTRACTION ALLUVIONNAIRE OU MARINE

Codes	Gravillons					Sable		Codes
	Pourcentage de surfaces cassées (NF EN 933-5)			Essai d'écoulement (NF EN 933-6)				
	% tc	% c	% tr	GNT ou GTLH	pour enrobés	E _{cg} (alternatif ⁽¹⁾)	E _{cs} (sable ⁽²⁾)	
Ang 1	Vsi 30	Vsi 95	Vss 1		C _{95/1}	Vsi 110	Vsi 38 ⁽³⁾	Ang 1
Ang 2	Vsi 30	Vsi 90	Vss 1		C _{90/1}	Vsi 105	Vsi 35	Ang 2
	-	Vsi 90	Vss 3	C _{90/3}				
Ang 3	-	Vsi 50	Vss 10	C _{50/10}	C _{50/10}	Vsi 95	Vsi 30	Ang 3
Ang 4	-	-	Vss 50	C _{NR/50}		Vsi 85	Vsi < 30	Ang 4
⁽¹⁾ Sur la fraction granulaire 4/6,3, 6,3/10, 4/10 ou 10/14 la plus représentée dans le gravillon				⁽²⁾ Sur la fraction 0/2 mm des sables et graves pour enrobés		⁽³⁾ Vsi 35 sous réserve de vérification à l'essai d'ornièrage		

ARTICLE 9 : CHAUSSEES BETONS DE CIMENT

CARACTÉRISTIQUES APPLICABLES AUX GRAVILLONS



Résistance au gel/dégel	$WA_{90} \leq 1$ ou $F \leq 4$ ou $LA \leq 25$
Éléments coquilleux des gravillons moines	Vss 10
Boulettes d'argile : % en masse sèche	Vss 1

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

Si D	2D	1,4D	D	D/1,4	D/2	d	d/2	f	ft	Code
≥ 4			Vss 99		Li 70 Li 25 e 35	Li 15				FTP
$> 11,2$	$\frac{2D}{D/1,4} < 4$	Vss 100	Vss 98		Li 70 Li 25 e 30	e 80	Vss 5	Vss 1,5	Vss 20	
$\leq 11,2$	$\frac{2D}{D/1,4} > 4$				Li 99 Li 80 e 10	Li 20				
$\leq 11,2$	$\frac{2D}{D/1,4} < 4$				Li 70 Li 25 e 35	e 10				

⁽¹⁾ Li 80 Li 99 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 10

⁽²⁾ Li 20 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 30

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES ET GRAVES

Si D	2D	1,4D	D	4	1	0,25	0,063	FM	Propriété ou	Code
≤ 4	Vss 95	Li 99		e 40	e 40	Li 10 e 6			Vss 1	a 10
> 4 et $\leq 6,3$	Vss 100	Li 85	Vss 90	Vss 60	Li 11 e 6				Vss 1,5	

⁽¹⁾ Si le passant à D $\geq 99\%$, la granulométrie type est à déclarer

⁽²⁾ e 50 si D ≤ 2 mm

⁽³⁾ Uniquement pour D = 4 mm

⁽⁴⁾ Le module de finesse ne s'applique pas aux 0,1 mm

AUTRES CARACTÉRISTIQUES DES SABLES, GRAVES ET GRAVILLONS

Caractéristiques	Limites de NF EN 12620 (1)	Granulats moines et moines	Code
Absorption d'eau (NF EN 1097-4 art. 8 ou 9) WA_{90}	Vss 5		
Friabilité des sables (NF EN 1097-4 art. 8 ou 9) WA_{90}	Vss 40		FS
Chlorures solubles dans l'eau (NF EN 1097-4 art. 8 ou 9) WA_{90}	Vss 60		FS
Soufre total	Vss 2	Vss 0,4	SS
Sulfates solubles dans l'acide (si S > 0,08) AS	Vss 1	Vss 0,2	SS
Sulfates solubles dans l'eau des recyclés du bâtiment (XP P 18-581)		Vss 0,2	SS
Teneur en carbonates des sables (NF EN 1097-4 art. 8 ou 9)		à déclarer	
Impuretés prohibées : % en masse sèche	Vss 0,1		
Polymères organiques des sables et graves affectant la prise du ciment	Résultats à déclarer		
Désintégration du silicate bicalcique et du fer	aucune		

CARACTÉRISTIQUES DES FILLERS

2 mm	0,125 mm	0,063 mm	MB	Code
Vss 100	Li 85 e 10	Li 70 e 10	Vss 10	FA

ARTICLE 10 : BETONS HYDRAULIQUES ET MORTIERS

Codes	A	B	C	D
-------	---	---	---	---

CARACTÉRISTIQUES DES GRAVILLONS

Los Angeles	LA	Vss 30	Vss 40	Vss 50
Résistance au gel/dégel ⁽¹⁾	G	$WA_{90} \leq 1$ ou $F \leq 4$ ou $LA \leq 25$		Faible
Éléments coquilleux moines	Cu	Vss 10		déclaré
Boulettes d'argile : % en masse sèche		Vss 1		
a 2D		Vss 100		
a 1,4D		Vss 98		
a D		Li 80 Li 99 e 15		
a d		Li 25 Li 70 e 30		
a d/2		Li 25 Li 70 e 35		
a d/2		Li 20 e 15		
a d/2		Vss 15		
a d/2		Vss 5		
Teneur en fines f		Vss 1,5		
Aplatissement FI		Vss 20	Vss 35	Vss 50

⁽¹⁾ F $\leq 1\%$ peut être remplacé par des règles à forte contrainte flexionnelle

⁽²⁾ Li 80 Li 99 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁾ Li 20 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁾ Li 25 Li 70 e 30 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁾ Li 25 Li 70 e 35 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽²⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽³⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁴⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁵⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁶⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁷⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁸⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽⁹⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹⁰⁹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁰⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹¹⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹²⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹³⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁴⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁵⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁶⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

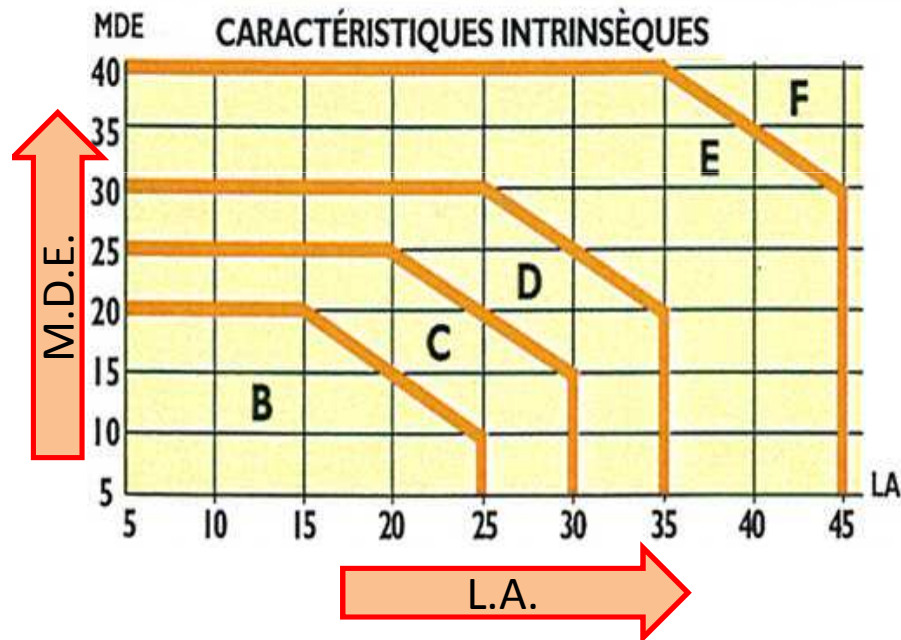
⁽¹¹⁷⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

⁽¹¹⁸⁾ Li 20 e 15 selon 4.3.7 de NF EN 12620 et e 15

→ Caractéristiques Intrinsèques

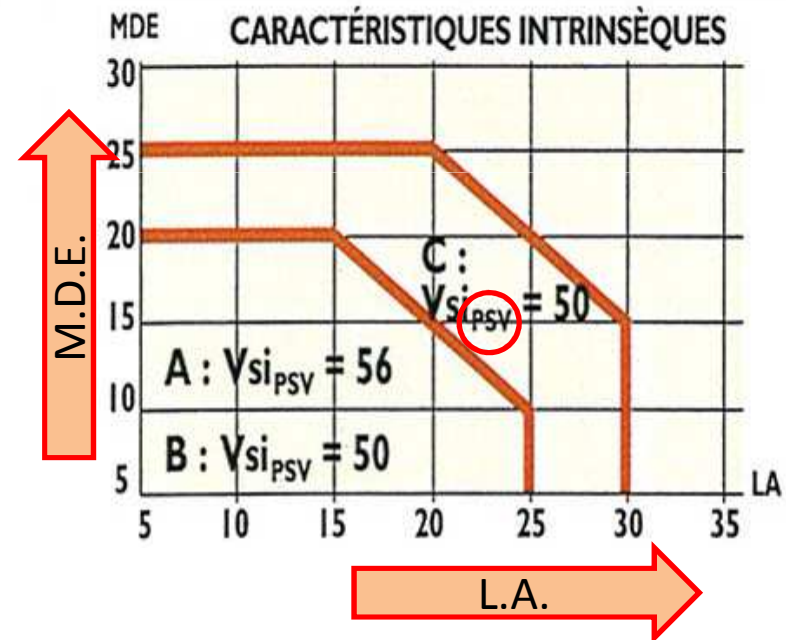


ARTICLE 7 : CHAUSSEES FONDATION, BASE ET LIAISON



⇒ 5 classes= B,C,D,E,F

ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT



⇒ 3 classes= A,B,C

→ Caractéristiques de fabrication des gravillons

Passant
Au tamis
2D
Min=100%

Passant
Au tamis
1,4D
Min = 98%

Passant
Au tamis D
Max = 99%
Étendue = 10%
Min = 85%

Passant
Au tamis d
Max <20%
Étendue = 10%

Passant
Au tamis
0,063mm
0% < <0,5%

Coef
Aplatissement
< 20

**ARTICLE 7 :
CHAUSSEES
FONDATION, BASE ET LIAISON**

**ARTICLE 8 :
CHAUSSEES
COUCHES DE ROULEMENT**

Exemple

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS

Codes	2D	1,4D	D	D/1,4 ⁽²⁾	D/2 ⁽³⁾	d	d/2	0,063 mm	F	Codes
	Vsi 100	Vsi 98	Ls 99 Li 85 ⁽¹⁾ e 10	Ls 80 Li 20 e 30	Ls 70 Li 20 e 35	Ls 20 ⁽⁴⁾ e 10	Vss 5 ⁽⁵⁾	Vss 0,5 Vss 0,5 ⁽⁶⁾	Vss 15 ⁽⁹⁾ Vss 20 ⁽⁹⁾	I II III
III							Vss 5	Vss 1 ⁽⁷⁾	Vss 25 ⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾	
IV			Li 80 Ls 99 e 15			Ls 20 e 15		Vss 2 ⁽⁸⁾	Vss 35	
V										

Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FTP renseignée

⁽¹⁾ Li 80 quand D < 2d ou pour GNT ou GTLH⁽²⁾ Quand $2 \leq D/d < 4$ ⁽³⁾ Quand $D/d \geq 4$ ⁽⁷⁾ Vss 2 pour GNT ou GTLH ou pour enrobés et enduits si $MB_F \leq 10$ ⁽⁸⁾ Vss 4 si $MB_F \leq 10$ ⁽¹⁰⁾ Vss 35 pour GNT ou GTLH⁽⁴⁾ Ls 15 si emploi en formule discontinue⁽⁵⁾ Vss 2 si emploi en formule discontinue⁽⁶⁾ Vss 1 si $MB_F \leq 10$ ⁽⁹⁾ Vss majorée de 5 points si $D \leq 6,3$ mmCOURBE
GRANULOCOEF
APPLATISSEMENT

⇒ 3 classes= III, IV, V

⇒ 3 classes= I,II,III

→ Caractéristiques de fabrication des sables et graves

→ Caractéristiques de fabrication des sables et graves

Passant
Au tamis
2D
Min=100%

Passant
Au tamis
1,4D
Min = 98%

Passant
Au tamis D
Max = 99%
Étendue = 10%
Min = 85%

Passant
Au tamis D/2
Étendue = 20%

Passant
Au tamis 63µm
Étendue = 6%

Equivalent de
Sable >60

Valeur au
Bleu < 2

ARTICLE 7 :
CHAUSSEES
FONDATION, BASE ET LIAISON

ARTICLE 8 :
CHAUSSEES
COUCHES DE ROULEMENT

Exemple

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES ET GRAVES

Codes	2D	1,4D	D			D/2	0,063 mm	Propreté des éléments < 2 mm		Codes
			Li	Ls	e			SE	ou MB	
a			Li 85	Ls 99	e 10			Vsi 60 ⁽¹⁾	Vss 2 ⁽²⁾	a
b	Vsi							Vsi 50 ⁽¹⁾	Vss 2,5	
c	100	Vsi 98	Li 80	Ls 99	e 10	e 20	e 6	Vsi 40 ⁽¹⁾	Vss 3	
d	Autres catégories de la norme NF EN 13242 : FIP renseignée									
⁽¹⁾ Uniquement pour GNT ou GTLH							⁽²⁾ Implique MB _F ≤ 0			

COURBE
GRANULO

EQUIVALENT
DE SABLE

VALEUR AU BLEU

⇒ 4 classes= a,b,c,d

⇒ 1 classe= a

→ Angularités des roulés

ARTICLE 7 : CHAUSSEES FONDATION, BASE ET LIAISON						ARTICLE 8 : CHAUSSEES COUCHES DE ROULEMENT				Exemple
ANGULARITÉ DES GRAVILLONS ET DES SABLES D'EXTRACTION ALLUVIONNAIRE OU MARINE										
Codes	Gravillons					Sable		Codes		
	Pourcentage de surfaces cassées (NF EN 933-5)					Essai d'écoulement (NF EN 933-6)				
	% tc	% c	% tr	GNT ou GTLH	pour enrobés	E _{cc} (alternatif ⁽¹⁾)	E _{cs} (sable ⁽²⁾)			
Ang 1	Vsi 30	Vsi 95	Vss 1		C _{95/1}	Vsi 110	Vsi 38 ⁽³⁾	Ang 1		
Ang 2	Vsi 30	Vsi 90	Vss 1		C _{90/1}	Vsi 105	Vsi 35	Ang 2		
	-	Vsi 90	Vss 3	C _{90/3}						
Ang 3	-	Vsi 50	Vss 10	C _{50/10}	C _{50/10}	Vsi 95	Vsi 30	Ang 3		
Ang 4	-	-	Vss 50	C _{NR/50}		Vsi 85	Vsi < 30	Ang 4		
⁽¹⁾ Sur la fraction granulaire 4/6.3, 6.3/10, 4/10 ou 10/14 la plus représentée dans le gravillon				⁽²⁾ Sur la fraction 0/2 mm des sables et graves pour enrobés			⁽³⁾ Vsi 35 sous réserve de vérification à l'essai d'ornièrage			
% FACES CASSEES						ECOULEMENT DES GRAVILLONS		ECOULEMENT DES SABLES		

⇒ 4 classes= 1,2,3,4

⇒ 4 classes= 1,2,3,4

CHAP VII: GRANULATS

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

► Normes Enrobés:



Annexe B : spécifications minimales des granulats pour enrobés

LA < 25
MDE < 20
PSV > 50

Utilisation	Appellation française	Caractéristiques physiques des gravillons	Caractéristiques de fabrication		Angularité des granulats issus de roche meuble	
			gravillons	sables	gravillons	sables
Couche de roulement	BBTM BBDr BBA forte sollicitation AT AC	LA ₂₀ - MDE ₁₅ ⁽¹⁾ PSV ₅₀ Code B	G _c 85/20 ⁽²⁾ G _{20/15} ou G _{25/15} e ₁₀ à d et D F ₁₂₀ ⁽³⁾ f _{1,5} ⁽³⁾			
	BBSG BBME BBCS BBA BBM	LA ₂₅ - MDE ₂₀ ⁽¹⁾ PSV ₅₀ Code C		G _f 85 ⁽⁷⁾ G ₁₀ 10	C _{95/1} ou E _{CG} 110 Code Ang1	E _{CS} 38 ⁽⁹⁾ Code Ang1
Couche de liaison mince	BBM	LA ₂₅ - MDE ₂₀ ⁽¹⁾ Code C	G _c 85/20 G _{20/15} ou G _{25/15}	MB ₂ ⁽⁸⁾ Code a		
Couche de liaison épaisse et couche de base	BBSG BBME BBCS BBA	LA ₃₀ - MDE ₂₅ ⁽¹⁾ Code D	e ₁₀ à d et D F ₁₂₅ ⁽⁴⁾ f ₁ ⁽⁶⁾			
	EME GB				C _{50/10} ou E _{CG} 95 Code Ang3	E _{CS} 30 Code Ang3
Couche de fondation						

Tamais intermédiaire

85% passant à D
20 % passant à d

(si D/d > 2)
D/2 20% passant
étendue ±15%

85% passant à D

étendue tamis inte
±5%

>95% de concassés
<1% de roulé

Ecoulement > 110s

Ecoulement > 38s

Valeur au
Bleu < 2g/kg

Guide technique

Utilisation des normes enrobés à chaud

Aux tamis d et D
étendue ±5%

⁽¹⁾ Avec application possible, sous réserve de la présence, dans les pièces du marché, d'une clause relative aux caractéristiques LA et MDE.

⁽²⁾ G_c85/15 pour formules discontinues.

⁽³⁾ F₁₂₅ si D ≤ 6,3 mm.

⁽⁴⁾ F₁₃₀ si D ≤ 6,3 mm.

Tableau 20 : spécifications minimales des granulats pour enrobés

CHAP VII: GRANULATS

► Exemple 1 de CCTP:

MARCHES PUBLICS DE TRAVAUX

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
DIRECTION DE LA VOIRIE ET DES INFRASTRUCTURES
Service des Etudes Ouest
1, Boulevard de la Marquette
31090 TOULOUSE Cedex 9**

**RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
DU P.R 25+842 AU P.R 29+830 -SECTIONS 2 & 3
COMMUNES DE FONTENILLES-PUJAUDRAN-LEGUEVIN**

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
Cahier des Clauses Techniques Particulières**

CHAP VII: GRANULATS

► Exemple de CCTP (suite):

4.02.1 Granulats pour assises de chaussées

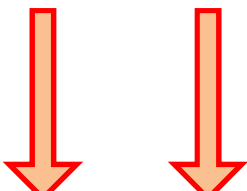
Les dispositions du fascicule 23 du C.C.T.G "fournitures de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées" sont applicables.

Les caractéristiques des granulats sont conformes aux spécifications des normes XP P 18 545 et EN 13 043, selon les prescriptions définies dans le tableau suivant.

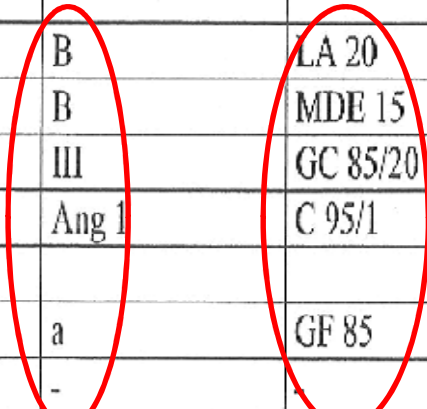
Pour l'application des normes relatives aux constituants des couches de chaussées, il sera tenu compte de la classe de trafic TC5 (T1).

4.02.1.1 Granulats pour enrobés - BBSG+GB.

La norme EN 13 043 est précisée par la norme NF P 18-545.



	GB	GB	BBSG	BBSG
	18545	EN 13043	18545	EN 13043
Gravillons				
LA	C	LA 25	B	LA 20
MDE	C	MDE 20	B	MDE 15
Granularité	III	GC 85/20	III	GC 85/20
Angularité	Ang 1	C 95/1	Ang 1	C 95/1
Sables				
Granulométrie	a	GF 85	a	GF 85
Angularité	Ang 1	Ecs 38	-	-



! C.C.T.P.
>
C.C.T.G.

CHAP VII: GRANULATS

FTP



SABLIERES MALET

27, Avenue de Palarin
31120 PORTET sur GARONNE

Fiche Technique
- OCT 2008 / 01

Engagement de la 1^{re} au 17/04/2009

Page 1/1

GRAVILLON 2/6 C.L. - code 54 SM

Pétrographie : Alluvionnaire - Siliceux
Elaboration : Concassé Lavé
Site de production : PORTET SUR GARONNE
MARQUAGE CE : NIVEAU 2+ / N° CERTIFICATION 0333 - CPD - 041006

ATTENTION ! Ce document est la propriété du producteur et ne peut être reproduit sans son autorisation.

Partie normative

Valeurs spécifiées sur lesquelles le producteur s'engage
Norme

Classe granulaire

2 6.3

XPP 18-545 Art 8 - EN 13043 - Chaussées: Couches roulement liants hydrocarbonés

Spécification

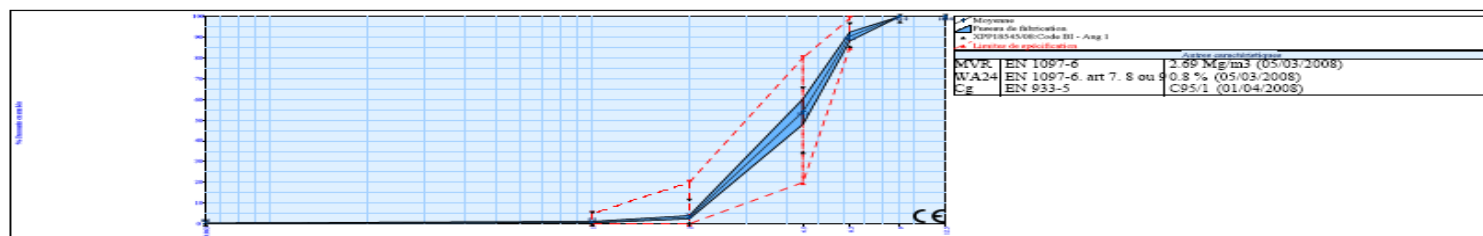
Code BI - Ang 1

	0.063	d/2	d	D/1.4	D	1.4D	2D						
		1	2	4.5	6.3	9	12.5	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
Etendue e			10	30	10								
Incertitude U	0.3	1	5	6	5	1		4	3	4	0.3	3	3
V.S.S.+U	0.8	6	16	71	100	100		24.00	38.0		0.80	23.00	18.00
V.S.S.	0.5	5	11	65	96	100	100	20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
V.S.I.	0.0	0	1	35	86	98	100			50.00			
V.S.I.-U	0.0	0	0	29	81	97				46.00			
LS		5	20	80	99			20.00	35.0		0.50	20.00	15.00
LI			0	20	85	98	100			50.00			

Partie informative

Résultats de production

	du 05/03/08 au 13/10/08											du 05/03/08 au 05/03/08	
	0.063	1	2	4.5	6.3	9	12.5	FI	LA+MDE	PSV	f	LA	MDE
Maximum	0.5	1	4	67	93	100	100	17.90			0.46		
Xf+1.25xEcart-types	0.4	1	4	60	92	100	100	17.96			0.38		
Moyenne Xf	0.2	1	3	54	90	100	100	15.81	31.0	54.00	0.25	20.00	11.00
Xf-1.25xEcart-types	0.1	0	2	48	88	100	100	13.66			0.11		
Minimum	0.1	0	2	45	87	100	100	13.67			0.08		
Ecart-type	0.11	0.3	0.7	4.9	1.7	0.0	0.0	1.721			0.108		
Nombre de résultats	17	17	17	17	17	17	17	6	1	1	17	1	1
Norme								EN 933-3		EN 1097-8	EN 933-1	EN 1097-2	EN 1097-1



CHAP VII: GRANULATS

► Exemple 2 de CCTP:



Direction Opérationnelle de l'Infrastructure Ouest

Pôle Ingénierie

Europarc - 22 avenue Léonard de Vinci

33608 PESSAC CEDEX

Tél. 08 20 20 20 48 / fax 05 57 89 00 02

A64
DRE BIARRITZ
District de St Gaudens

REFECTION DES CHAUSSEES
ENTRE LES PK 199 ET 217

CHAP VII: GRANULATS ► Exemple de CCTP (suite):

ARTICLE 6 SPÉCIFICATION DES CONSTITUANTS6.2 GRANULATS POUR ENROBÉSa) Généralités

L'ensemble des granulats entrant dans la composition des enrobés seront fournis par l'Entrepreneur selon les dispositions de l'article 23 du CCTG. Ils devront répondre aux spécifications précisées dans les articles suivants.

6.2.1 : Caractéristiques normalisées des granulats fournis et à fournir

Les normes de référence sont :

- * NF EN 13-043 Granulats pour mélanges hydrocarbonés et pour enduits superficiels complétée ou modifiée éventuellement comme suit.
- * XP P 18-545 Granulats. Eléments de définition, conformité, codification.

Lors de la préparation des travaux, l'entrepreneur soumettra les matériaux à l'agrément du Maître d'œuvre, en fournissant les fiches techniques produits à jours.

Les fiches techniques produits devront comprendre :

- * une partie engagement du fournisseur, comprenant les valeurs sur lesquelles le fournisseur s'engage,
- * une partie informative comprenant les résultats d'une période de production récente.

Dans son PAQ, l'entrepreneur précisera les dispositions générales nécessaires à l'obtention de la qualité et les modalités de son contrôle intérieur.

6.2.2 : Provenance des granulats

Les granulats devront provenir de carrières dont le système d'attestation de conformité est de niveau 2+. L'entrepreneur fournira la déclaration de conformité CE des carrières proposées. Pour une formule considérée, chaque coupure ne pourra provenir que d'un seul site de production.

6.2.3 : Nature des granulats

Selon le type d'enrobés, la nature des granulats sera la suivante :

- * BBTM 0/10 et 0/14 : roches massives éruptives ou alluvionnaires (RC4), les matériaux calcaires et les matériaux de pétrographie Ophite sont interdits.
- * BBSG 0/14 : roche massives éruptives ou alluvionnaires, les matériaux calcaires et les matériaux de pétrographie Ophite sont interdits.

CHAP VII: GRANULATS ► Exemple de CCTP (suite):

Les caractéristiques des granulats sont les suivantes, conformément aux définitions de la norme NF EN 12620 :

► **BBSG 0/14 :**

85% passant à D
20 % passant à d

	Sable - Graves	Gravillons
Caractéristiques générales	G _F 85 - G _A 85	G _c 85/20
Limites, tolérances au tamis intermédiaire	G _{25/15}	-
Tolérance granularité type	-	G _{Tc} 10
Teneur en fines	f ₁₆ à f ₂₂	f ₂
Qualité des fines	MB _F 10	-
Forme		FI20
Angularité	E _{cs} 38	C95/1
Résistance à la fragmentation°		LA20
Résistance au polissage		PSV52
Résistance à l'usure	FS<45	MDE15

85% passant à D
20 % passant à d

85% passant à D
20 % passant à d

< 1 % de fines

< 25 % de plats

>95% de concassés
<1% de roulé

Ecoulement > 38s

LA < 25
MDE < 20
PSV > 50

Utilisation	Appellation française	Caractéristiques physiques des gravillons	Caractéristiques de fabrication		Angularité des granulats issus de roche meuble	
			gravillons	sables	gravillons	sables
Couche de roulement	BBTM BBDr BBA forte sollicitation AT AC	LA ₂₀ - M _{DE} 15 ⁽¹⁾ PSV ₅₀ Code B	G _c 85/20 ⁽²⁾ G _{20/15} ou G _{25/15} e10 à d et D FI ₂₀ ⁽³⁾ f _{0,5} ⁽⁷⁾		C _{95/1} ou E _{cs} 110 Code Ang1	E _{cs} 38 ⁽⁹⁾ Code Ang1
	BBSG BBME BBCS BBA BBM	LA ₂₅ - M _{DE} 20 ⁽¹⁾ PSV ₅₀ Code C		G _F 85 ⁽⁷⁾		
Couche de liaison mince	BBM	LA ₂₅ - M _{DE} 20 ⁽¹⁾ Code C	G _c 85/20 G _{20/15} ou G _{25/15}	G _{Tc} 10 MB ₂ ⁽⁸⁾ Code a		
Couche de liaison épaisse et couche de base	BBSG BBME BBCS BBA	LA ₃₀ - M _{DE} 25 ⁽¹⁾ Code D	e10 à d et D FI ₂₅ ⁽⁴⁾ f ₁ ⁽¹⁰⁾ Code III		C _{90/10} ou E _{cs} 95 Code Ang3	E _{cs} 30 Code Ang3
Couche de fondation	EME GB					

CHAP VII: GRANULATS ▶ Exemple de CCTP (suite):

En complément aux normes NF EN granulats, il est appliqué les caractéristiques complémentaires suivantes :

- ➡ - de par l'expérience régionale, une compensation maximale de 5 points est autorisée entre le Los Angeles et le Micro Deval Eau.
- ➡ - de façon à obtenir des enrobés de granulométrie constante, des critères complémentaires de régularité granulométrique sont appliqués : l'étendue à d et D en complément à la norme 13-043 sera $\pm 10(+5)$ et D/d toujours < 4 .
- ➡ - si l'Entreprise propose d'utiliser des granulats issus de matériaux meubles, ces derniers devront avoir un rapport de concassage $R_c > 4$ pour les fractions 0/2, 2/6, 6/10 et 10/14 pour les gravillons entrant dans la fabrication des enrobés utilisés en couche de roulement. Dans tous les cas, ils seront soumis à l'approbation du Maître d'œuvre.
- ➡ - pour l'appréciation de la qualité des fines et des graves utilisées dans les mélanges hydrocarbonés, la catégorie MB1 est complétée par la spécification MB2, avec un essai au bleu réalisé sur la fraction 0/2.
- ➡ - Pour les granulats issus de matériaux meubles, ces derniers devront avoir une granulométrie initiale supérieure à 60 mm et être conformes aux spécifications ci-dessus.
- ➡ - En dérogation à l'article 8.3.2 de la norme XP P 18-545, pour l'aplatissement FI, la valeur V_{ss} n'est pas majorée de 5 si $D \leq 6.3\text{mm}$.

Contradiction

! C.C.T.P.

>

C.C.T.G.

CHAP VII: GRANULATS

5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Fonctions principales d'une installation de traitement de granulats:

- Extraire les matériaux du gisement

- ⇒ Extraction
 - Roche Meuble
 - Roche Massive

- Réduire la taille et assurer la forme des granulats

- ⇒ Broyage, concassage

- Trier en fonction d'une granulométrie demandée

- ⇒ Criblage

- Assurer la propreté

- ⇒ Lavage

- Limiter la teneur en eau

- ⇒ Essorage

- ⇒ Cyclonage

- Transporter et mettre en stock

- ⇒ Bandes transporteuses, Dumpeurs, camions

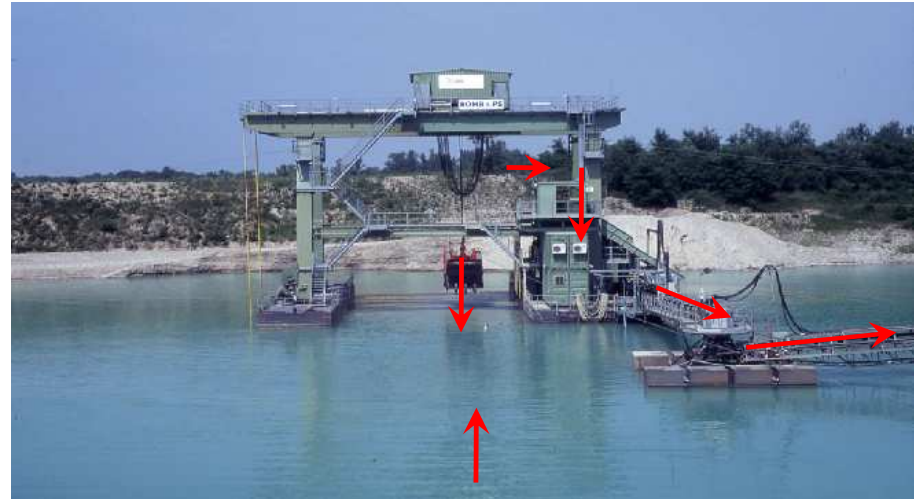
- Charger, peser, transporter

CHAP VII: GRANULATS

5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Extraction: roche meuble, alluvionnaire

⇒ Drague flottante



⇒ Extraction traditionnelle (Pelle)

⇒ Excavateur à godets



⇒ Dragueline



CHAP VII: GRANULATS

5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Extraction: roche massive

⇒ Tir d'explosifs



⇒ Chargement des matériaux



► Broyage:

→ Deux méthodes principales de fragmentation:

- Par Compression: Les matériaux sont pris entre 2 surfaces qui se rapprochent
Vitesse d'application de l'effort = 0,2 m/s à 0,5 m/s

Appareils : concasseurs à mâchoires,
broyeurs giratoires primaires
broyeurs à cône



- Par Percussion:

Les matériaux sont soumis à des chocs engendrés par des pièces tournantes (rotor équipé de percuteurs) et projetés contre des surfaces d'impact, ou pilonnés par des corps broyants (barres ou boulets)

Vitesse d'application de l'effort = 8 m/s à 100 m/s

Appareils : Broyeurs à percussion à axe horizontal,
Broyeurs à percussion à axe vertical,
broyeurs à barres ou à boulets



→ Rapport de Réduction:

Dans une installation classique de concassage:

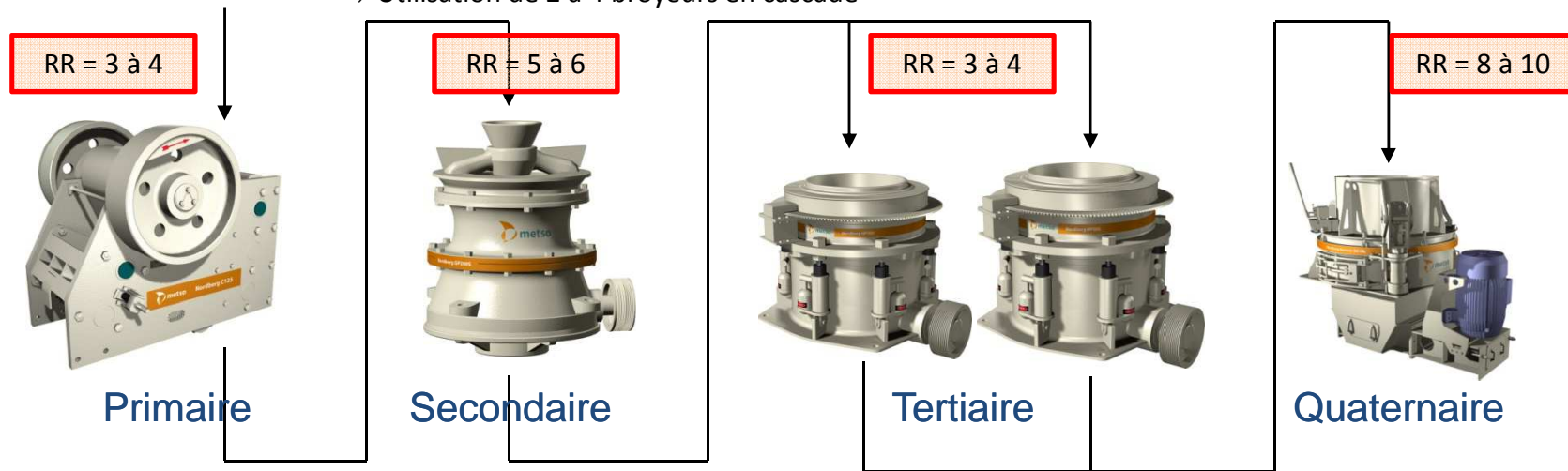
Entée= Blocs de 800 à 1000mm

Sortie= granulats 0/20 mm

Rapport de Réduction de l'installation = 40 à 50

Aucun broyeur n'est mécaniquement capable d'assurer ce Rapport de Réduction avec une bonne Forme!

⇒ Utilisation de 2 à 4 broyeurs en cascade



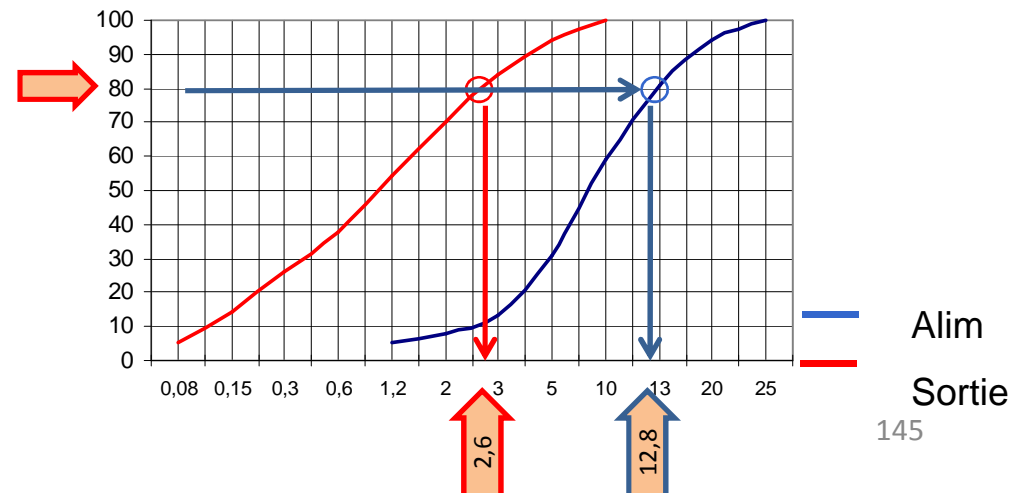
→ Rapport de Réduction d'un broyeur:

Diamètre pour 80% de passant

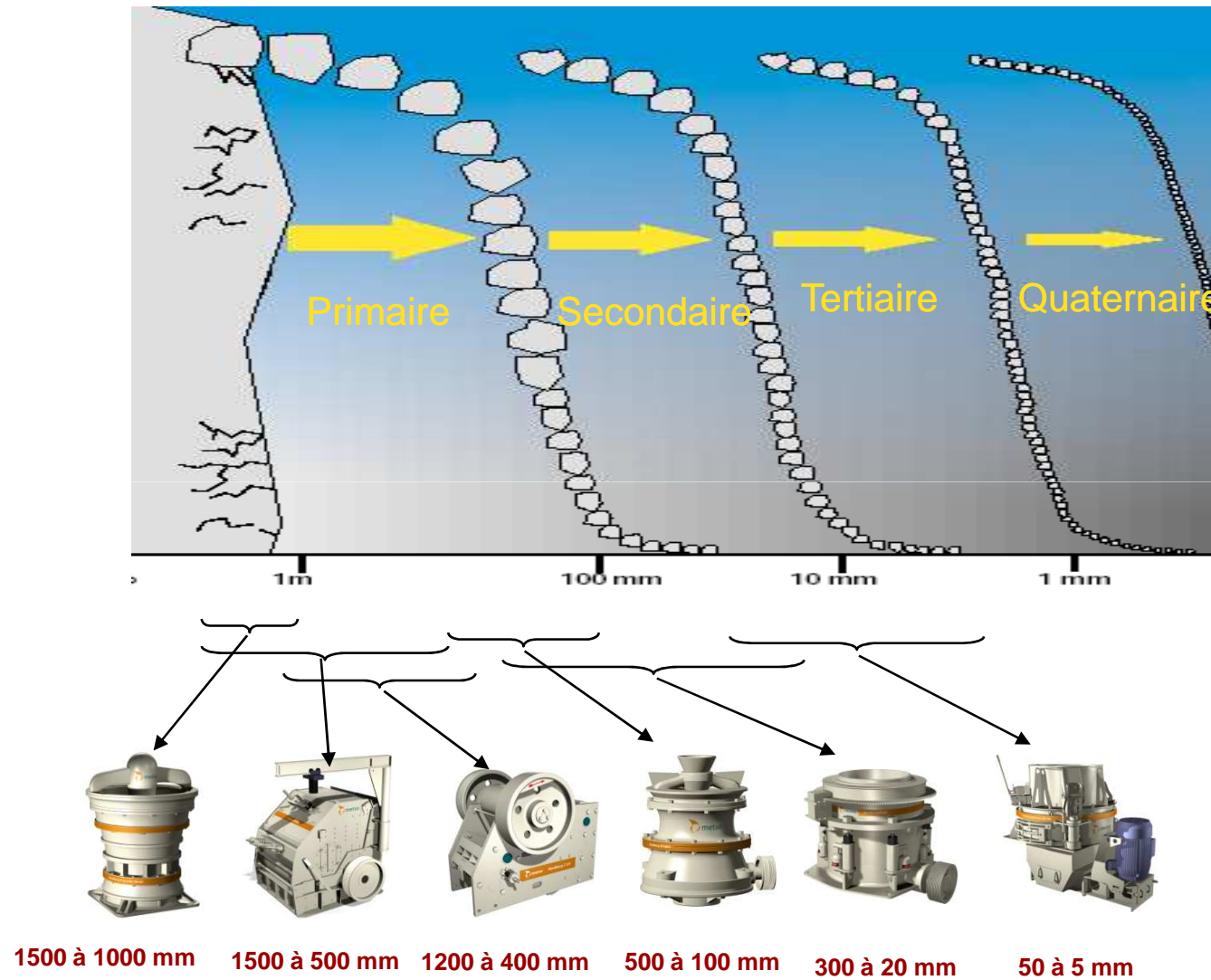
Courbe d'Alimentation

Courbe de sortie

$$RR = 12,8 / 2,6 = 4,9$$



→ Différents stades de fragmentation:



CHAP VII: GRANULATS

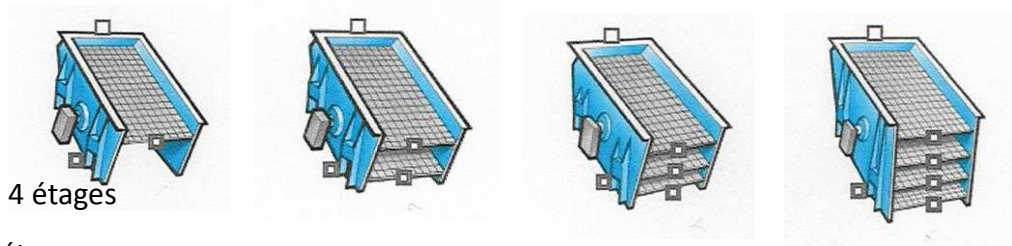
5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Criblage:

⇒ Séparer les granulats en fonction d'une granularité prédéfinie.

→ Paramètres :

- Débit (t/h)
- Nombre d'étages: 1,2,3, ou 4 étages
- Dimension des mailles des étages
- Type des grilles= Grille tendue : métallique
Pavés polyuréthanes
- Surface de criblage(m²)



CHAP VII: GRANULATS

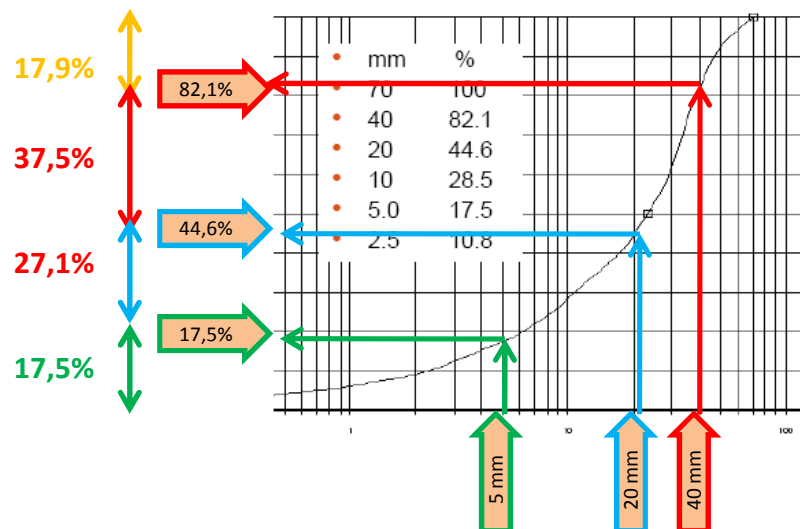
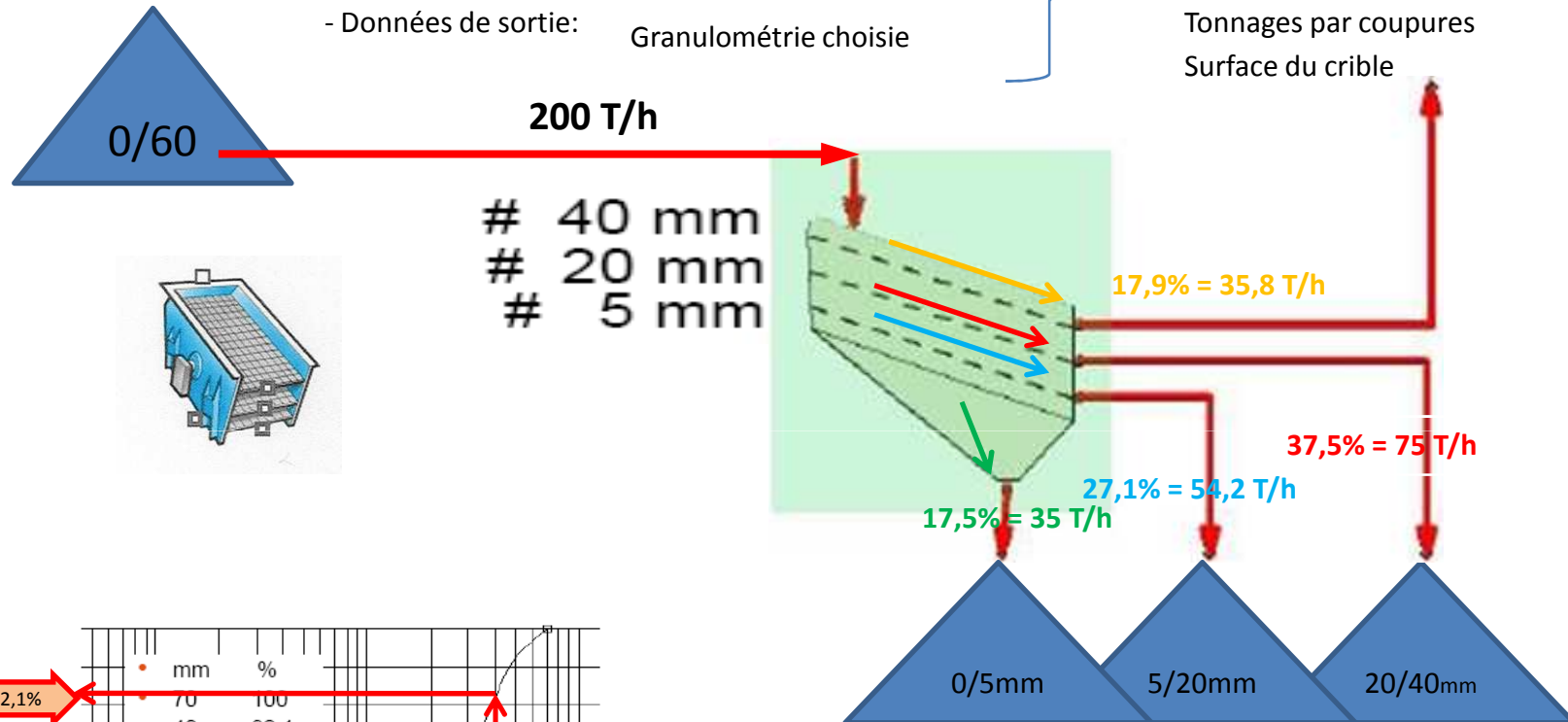
5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Criblage:

→ Exemple de Calcul de crible:

- Données d'entrée: Granulométrie
Tonnage
- Données de sortie: Granulométrie choisie

Nombre d'étages
Dimension des mailles
Tonnages par coupures
Surface du crible



$$S = \frac{Q}{A \times B \times D \times E \times F \times d}$$

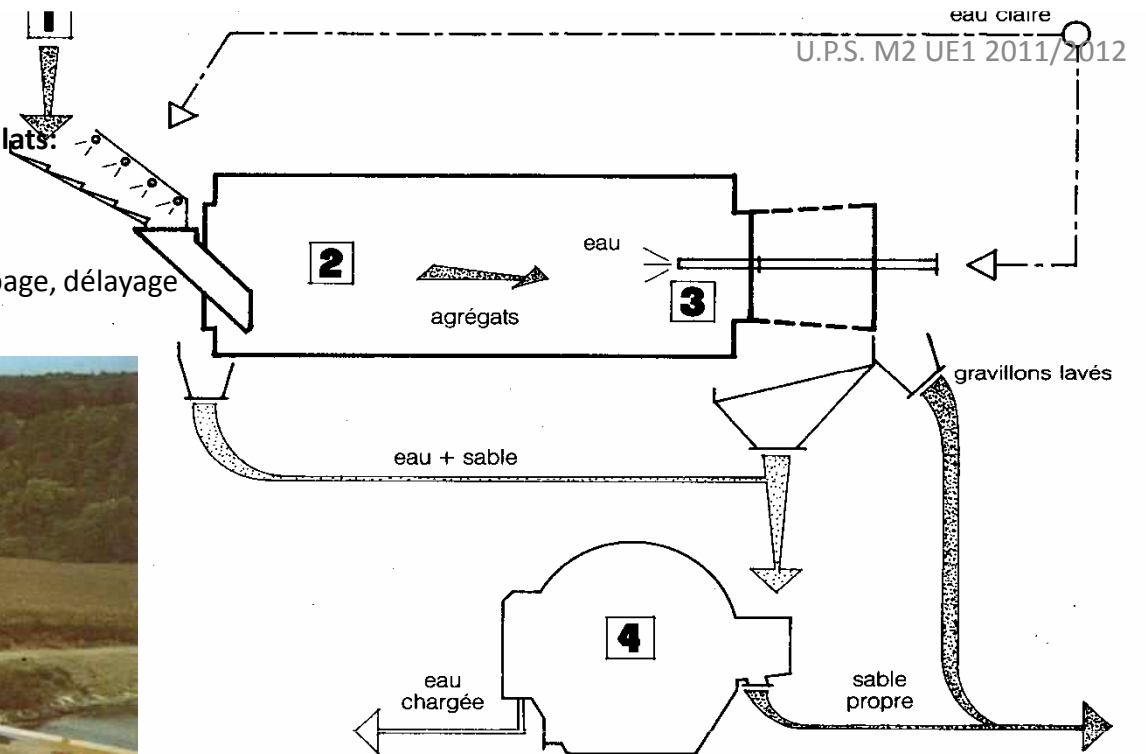
- Q = débit de passants dans l'alimentation (Th)
- A = débit de base (m³/h par m²) avec maille métallique
- B = coefficient de pourcentage de refus
- D = coefficient de % de passants à la demi coupure
- E = coefficient pour criblage sous eau
- F = coefficient d'étage
- d = densité des produits

CHAP VII: GRANULATS

5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Lavage:

→ **Lavage Amont:** débouillage, délayage



→ Criblage sous eau:



CHAP VII: GRANULATS

M2 UE1 2011/2012

5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

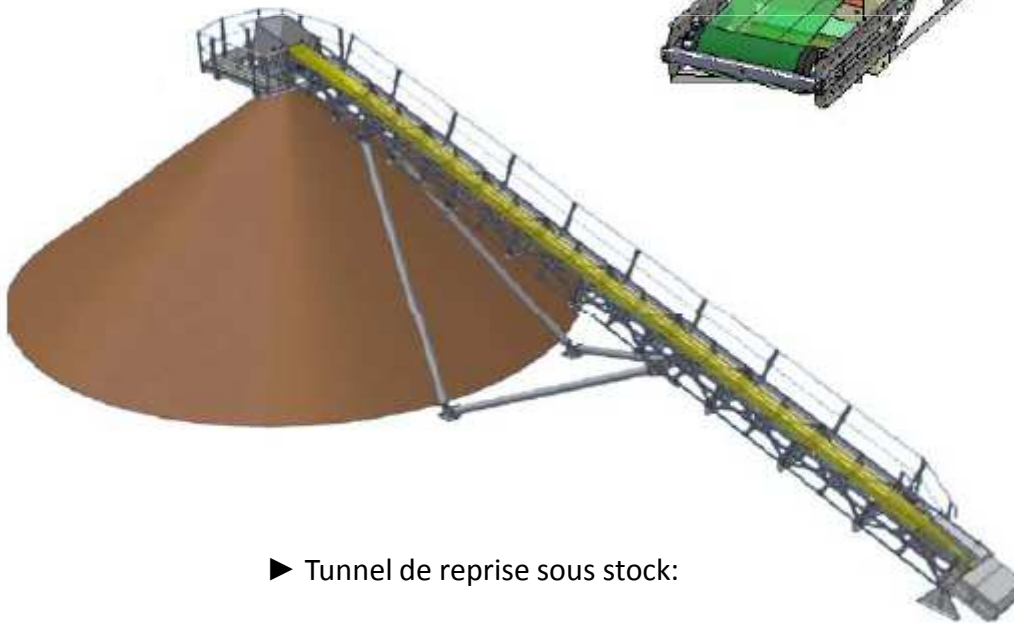
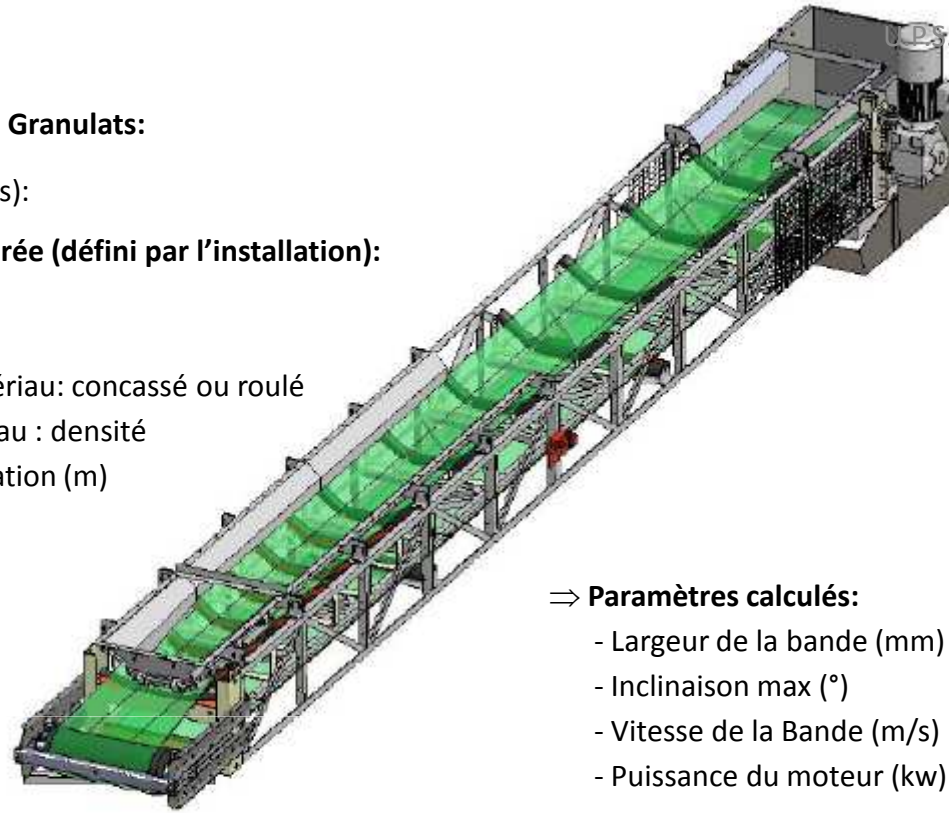
► Bande Transporteuse (tapis):

→ Paramètres d'entrée (défini par l'installation):

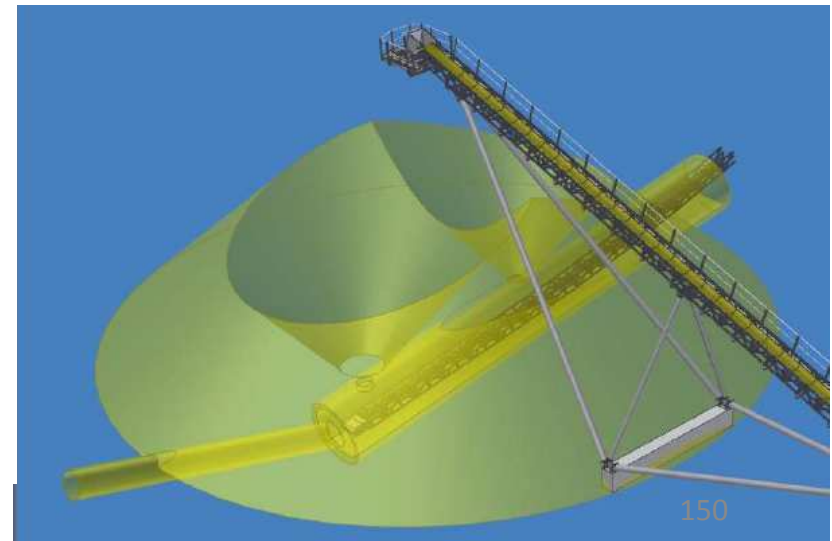
- Débit (t/h)
- Granulo (mm)
- Nature du matériau: concassé ou roulé
- Type du matériau : densité
- Hauteur d'élévation (m)
- Longueur (m)

⇒ Paramètres calculés:

- Largeur de la bande (mm)
- Inclinaison max (°)
- Vitesse de la Bande (m/s)
- Puissance du moteur (kw)

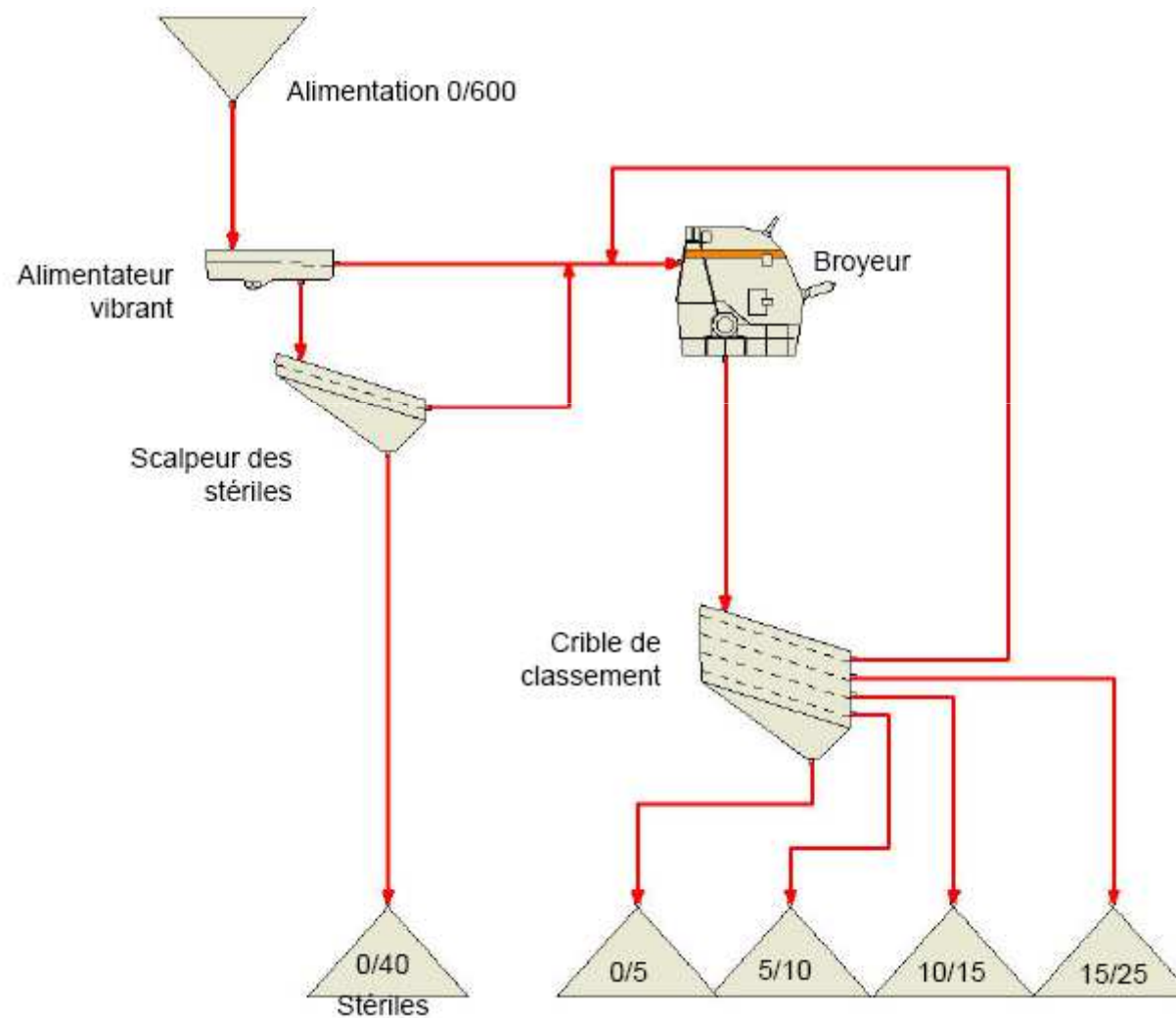


► Tunnel de reprise sous stock:

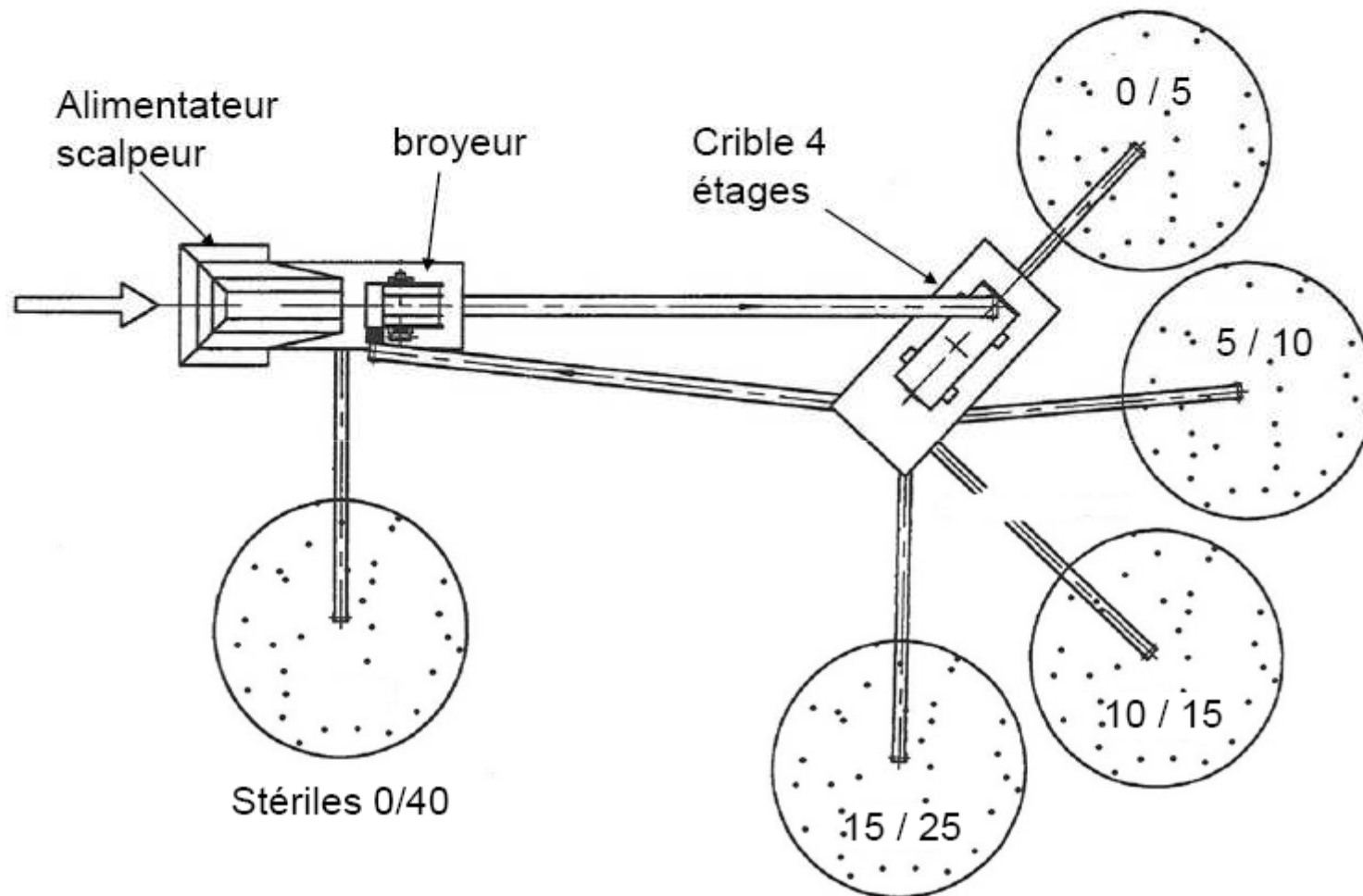


► Exemples d'installation:

- Schéma Simple:

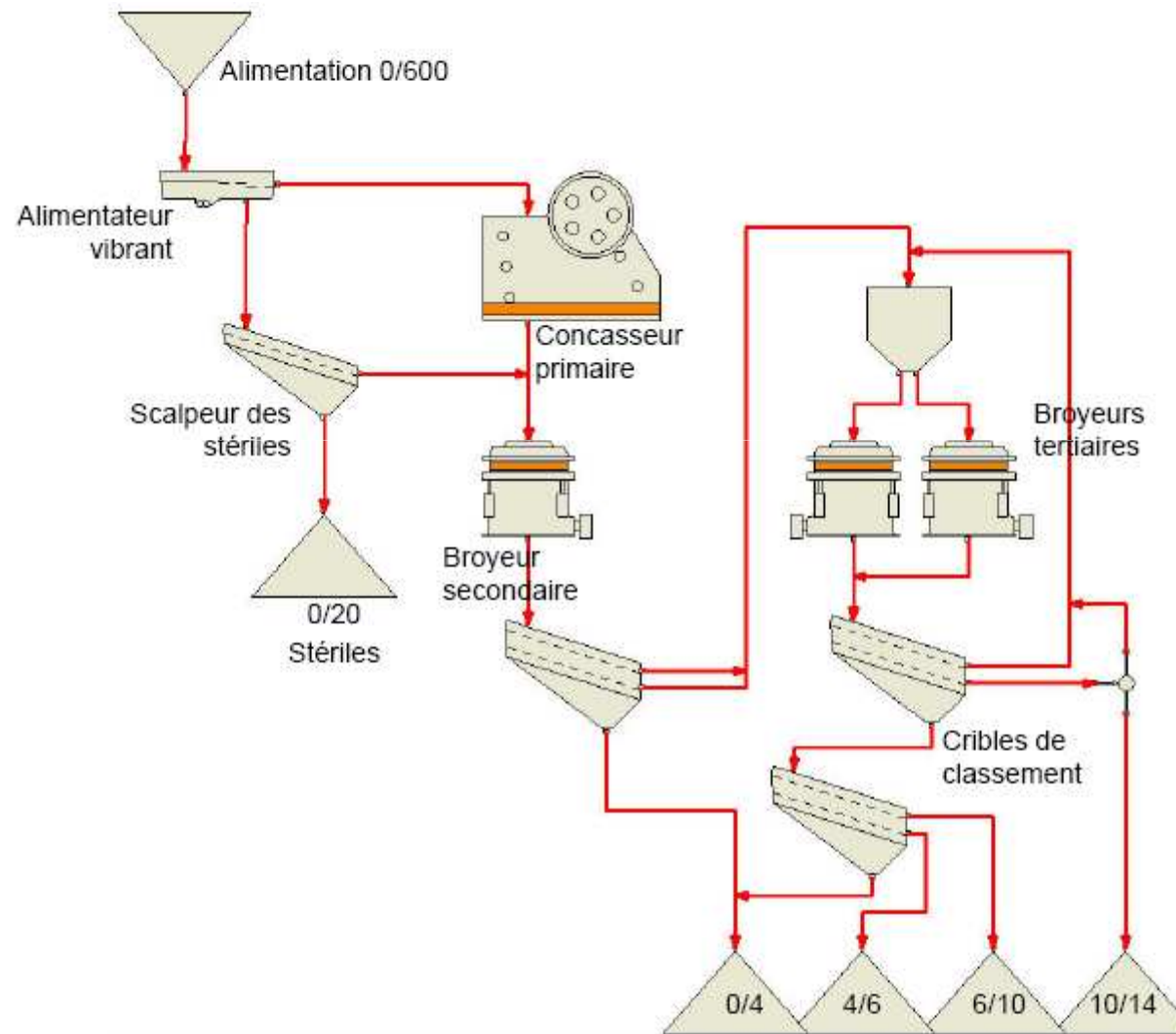


► Exemples d'installation: - Schéma Simple: vue en plan



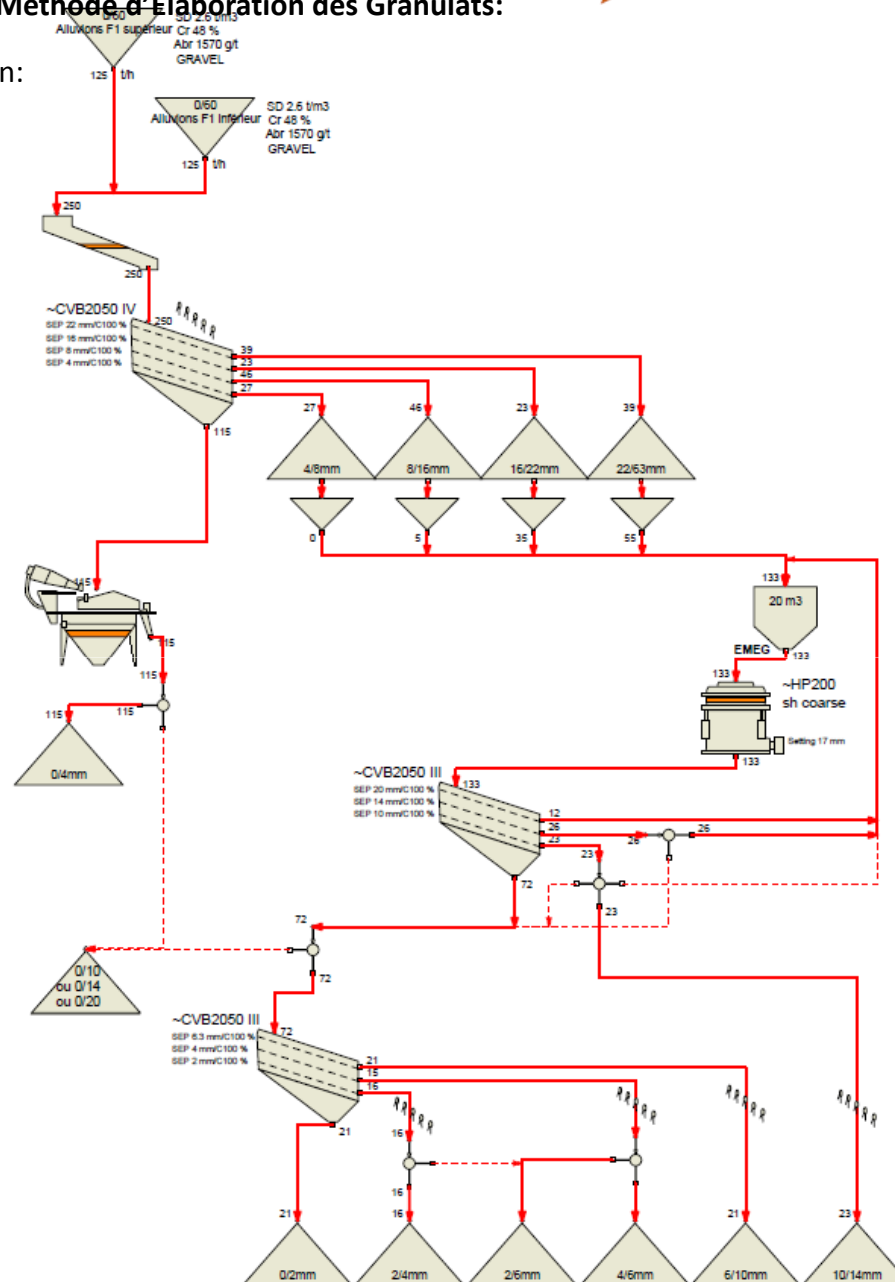
► Exemples d'installation:

- Schéma classique en roche massive:



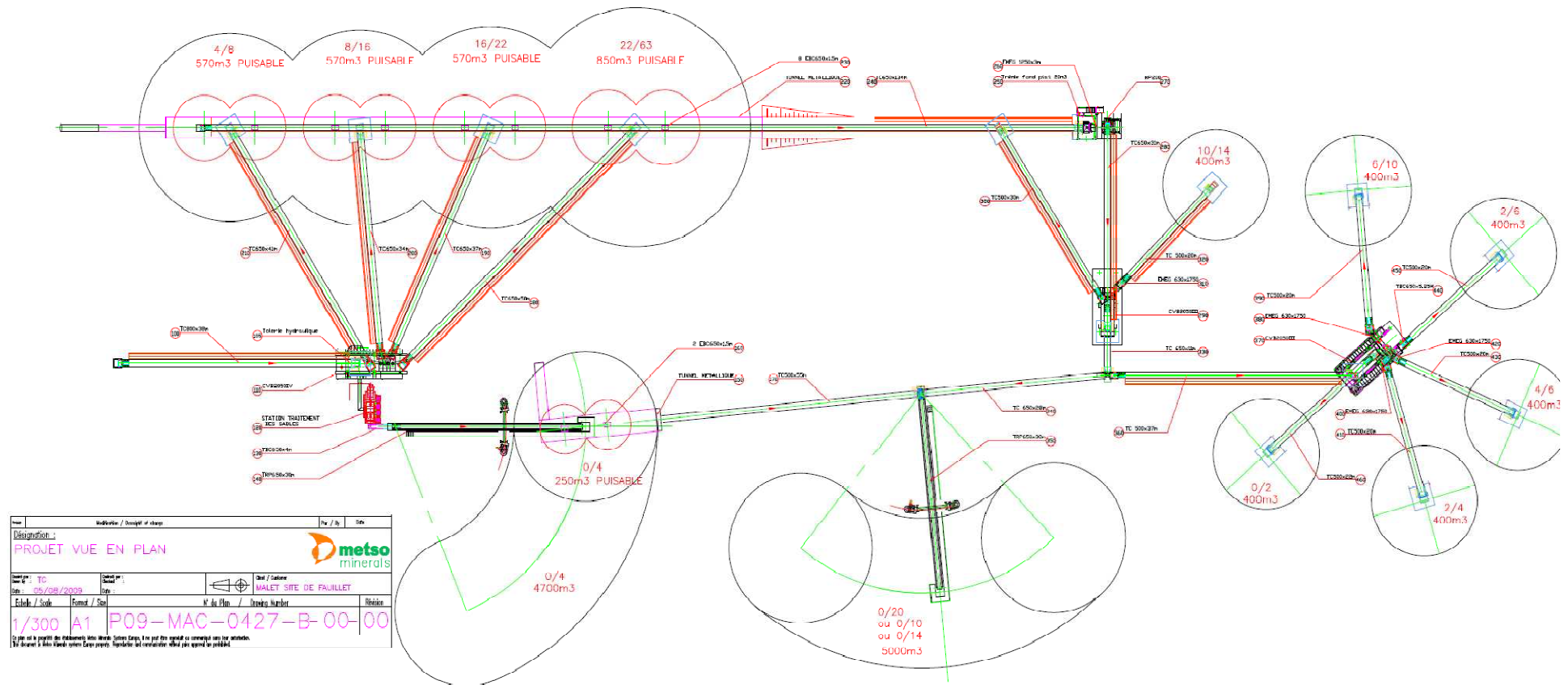
► Exemples d'installation:

- Schéma classique en alluvionnaire:



CHAP VII: GRANULATS 5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

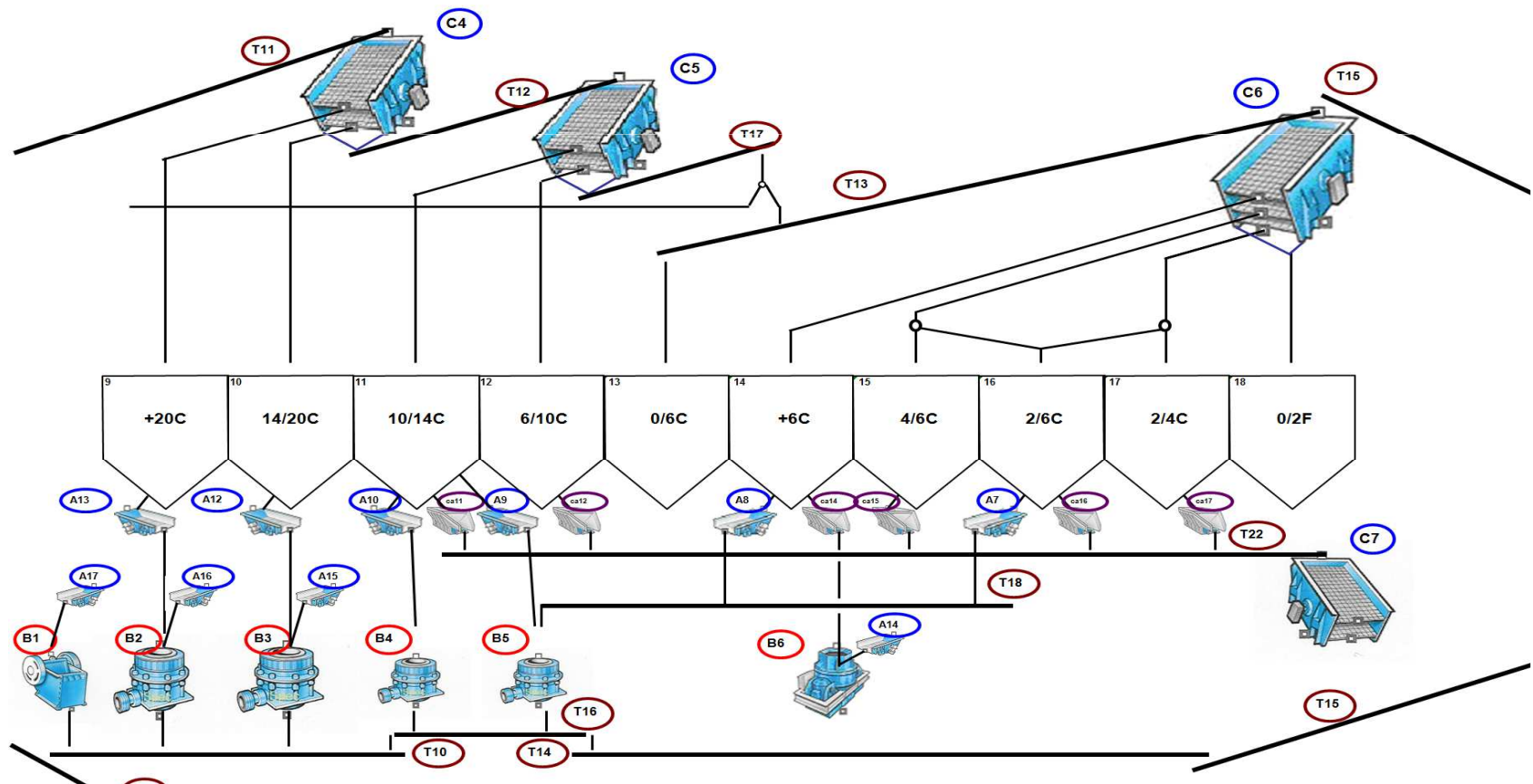
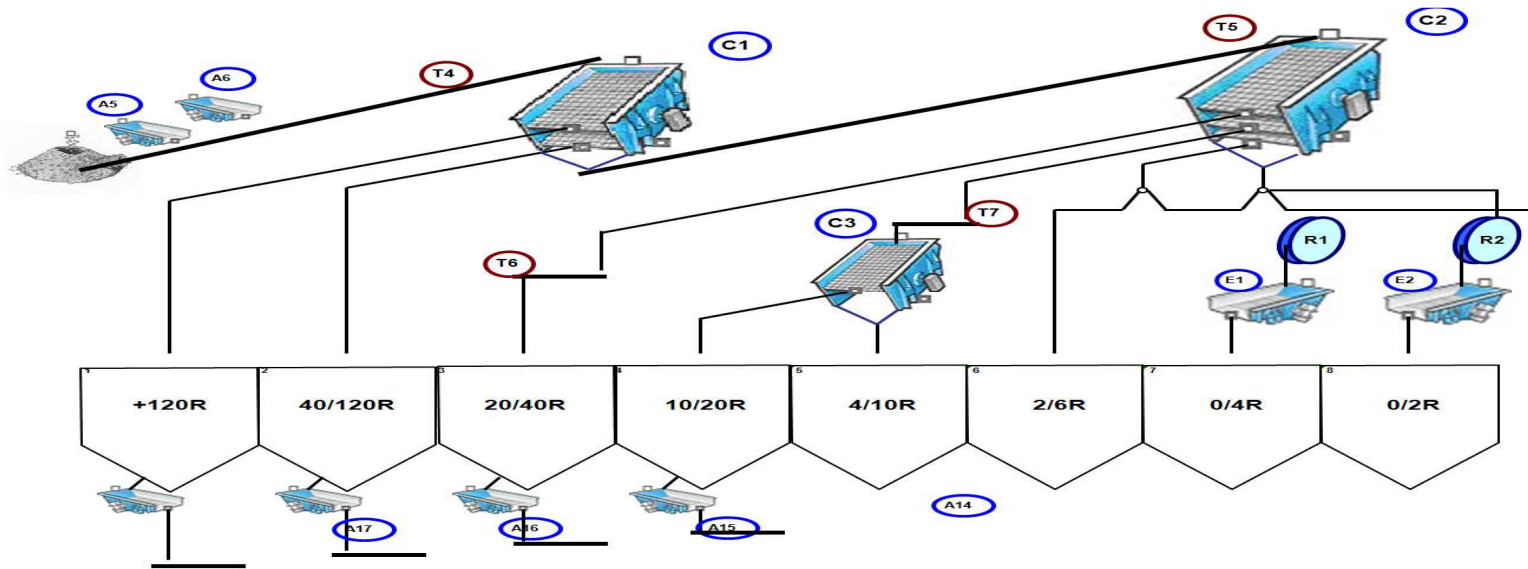
► Exemples d'installation: - Plan classique en alluvionnaire:



CHAP VII: GRANULATS 5) Méthode d'Elaboration des Granulats:

► Exemples d'installation:





CHAP VIII: LES LIANTS

1) Les Liants Hydrocarbonés:

- ▶ 1^{er} liant hydrocarboné : issu de la distillation de la Houille (La Pyrolyse)
 - ⇐ Utilisé pour l'éclairage public puis le gaz domestique

LE GOUDRON (1902 / 1950)

Origine = organisme végétaux → CARBOCHIMIE

- ▶ Aujourd'hui liant hydrocarboné : issu du Raffinage du Pétrole

LE BITUME

Origine = organisme animaux pyrolysés → PETROCHIMIE

a) Historique du Bitume:

- ▶ La connaissance et l'utilisation du bitume remontent à la plus haute antiquité :

Référence dans la Bible: Arche de Noë et Tour de Babel

- ▶ Découvertes archéologiques au Moyen-Orient :
 - 4 à 5 mille ans avant JC
 - Utilisation de l'asphalte naturel = Bitume naturel mélangé à de la matière minérale (filon)
 - Mortier pour la construction de Bâtiments
 - Étanchéité (terrasse, barrages, bateaux...)
 - Artisanat, orfèvrerie, cultes et médecines
- ▶ Aujourd'hui :
 - Provient exclusivement du pétrole brut
 - Utilisation multiple
 - Route
 - Étanchéité (terrasse, barrages, murs...)
 - Hydraulique
 - Consommation annuelle Française = 3 MT (3% du pétrole importé)



Bas relief : La fileuse
Suse 700 ans av JC



Coupe tripode en bitume
Suse 17ème av JC

CHAP VIII: LES LIANTS

b) Les Qualités du Bitume: intéressant la construction routière

- ▶ Possède un grand pouvoir agglomérant :
Adhère à la majorité des matériaux usuels: pierre, béton, bois métal, verre.
- ▶ Excellent comportement mécanique: viscoélastique, déformable, ductile, bonne cohésivité
- ▶ Insoluble dans l'eau à l'état pur (en solution avec des solvants organiques, Emulsion de Bitume).
- ▶ Pratiquement inerte vis-à-vis de la plupart des agents organiques.
- ▶ Auto-réparable: → se régénère et se recolle avec l'augmentation de la T°
- ▶ RECYCLABLE : intégration de fraisats dans les enrobés
- ▶ Se rigidifie par Oxydation au contact des atomes d'oxygène :
 - catalyseur pour la rigidification = U.V.
 - vieillissement aux U.V. (altération de la couche de surface)
- ▶ Sensible aux variations de températures
 - variation du comportement mécanique
 - aux T° extrêmes: cassant à froid et mou à chaud
 - supporte une grande plage de températures
 - ⇐ Températures atteinte par la chaussée:
 - en surface: -20°C / 65°C
 - dans la couche: -10°C / 45°C
- ▶ Problème: le prix du Bitume est lié au prix du Pétrole (500€/T)

CHAP VIII: LES LIANTS

c) Comportement mécanique du Bitume:

► Le bitume est un corps visco-élastique:

→ le bitume subit une déformation sous une contrainte donnée

ELASTICITE

→ cette déformation est proportionnelle au temps d'application de la contrainte

VISCOSITE

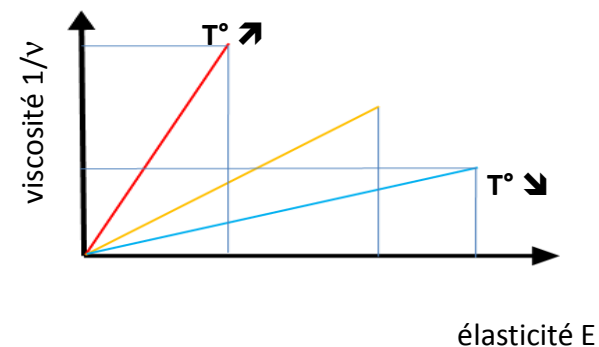
⇐ Pour le comportement de chaussée:

→ parfait pour le trafic

→ mauvais pour le stationnement: orniérage statique (béquillage)

► Le bitume se déforme sous son propre poids

► La visco-élasticité du bitume est fonction de la Température



CHAP VIII: LES LIANTS

d) Structure Physico-Chimique du Bitume: → 1 million de molécules différentes

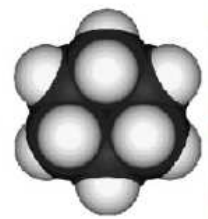
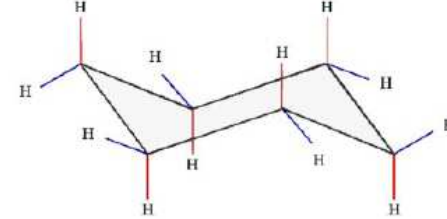
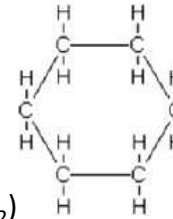
- Mélanges complexes de composés hydrocarbonés de structures chimiques et de masses molaires très diverses
Carbones + Hydrogènes, + atomes d'oxygènes, soufre ou Azotes, + qq métaux

► 3 familles de molécules =

→ Molécule Naphténique=

Hydrocarbures cycliques saturés

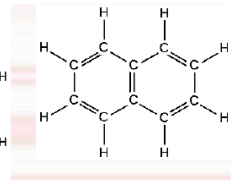
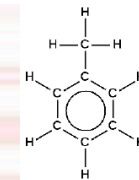
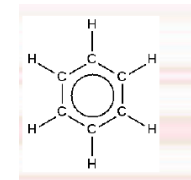
Molécule la plus simple= cyclohexane (C_6H_{12})



→ Molécule Aromatique =

Système cyclique hexagonal + 3 double liaisons alternées

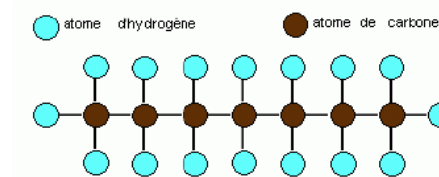
Molécule la plus simple= benzène



→ Molécule Aliphatique =

Chaîne carbonée longue et acyclique

Acides gras, paraffine, éthylène



► Le Bitume est fractionné en deux parties avec ajout d'un hydrocarbure léger (solvant) =

→ Maltènes = Fraction dissoute aiguilles
huile visqueuse de couleur foncée
Propriété visqueuse du Bitume

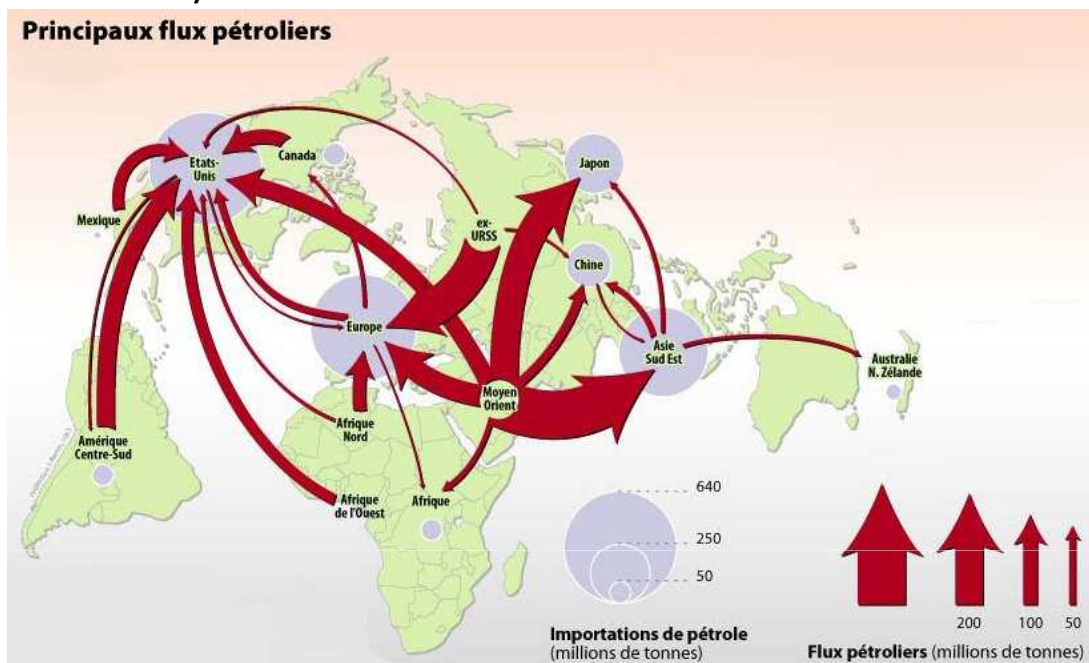
→ Asphaltènes = Fraction précipitée (Fraction lourde) Chaîne moléculaires très longue
Corps de poids moléculaire très élevé, formes d'aiguille
Substance Solide et noirâtre

« Asphaltènes baignent dans les huiles aromatiques Maltènes »

Rq: en vieillissant le bitume s'appauvrit en fractions légères Maltènes et s'enrichit en fraction lourdes Asphaltènes

CHAP VIII: LES LIANTS

e) Les Pétaoles BRUTS:



1300 bruts référencés dans le monde

100 Mt/an de Pétrole Brut importé en France

3,5 Mt/an de Bitume produit en France

10% seulement peuvent fabriquer du Bitume:

Rendement en Bitume suffisant (€)

Conformité des bitumes obtenus

Pétrole du Vénézuéla = le plus dur

⇒ meilleur rendement pour le Bitume

Pétrole d'Algérie et de Mer du Nord = le plus fluide

⇒ pas de Bitume

Origine	Pétrole brut	% bitume dans le brut	
		Au niveau d'un bitume 70/100	Au niveau d'un bitume 160/220
VENEZUELA	BOSCAN	79 %	83 %
	BACHAQUERO	55 %	59 %
	LAGUNILLAS	47 %	51 %
	TIA JUANA	30 %	33 %
MEXIQUE	MAYA	51 %	55 %
MOYEN-ORIENT	ARABE LOURD	35 %	39 %
	KOWEIT	18 %	21 %
	KIRKUK	14 %	16 %
	IRAN LOURD	22 %	25 %
	BASRAH	-	15 %
	IRAN LEGER	-	16 %
ALGERIE	ARZEW	0 %	0 %

CHAP VIII: LES LIANTS

f) Fabrication du Bitume:

► RAFFINAGE =

→ Définition: opération qui consiste à séparer les différents constituants du pétrole brut, du plus léger (gaz) au plus lourd (Bitume).

→ Principe: Distillation qui sépare les différents constituants du pétrole suivant leurs points d'ébullition.

Avant 1975 : simple distillation atmosphérique

Après 1975 : Double distillation atmosphérique puis sous-vide.

Objectif= « cracker » les molécules lourdes pour récupérer plus d'huiles et de gasoil

Conséquence ⇒ baisse des qualités des bitumes= plus fragile

⇒ apparition de la fissuration des couche d'enrobés de surface

→ 2 AVIS OPPOSES: - Bitume= produit très technique

- Bitume= résidu, déchet de la distillation des essences et huiles

Les Pétroliers ont plus besoin d'Huiles et moins de Fioul Lourd ou de Bitume

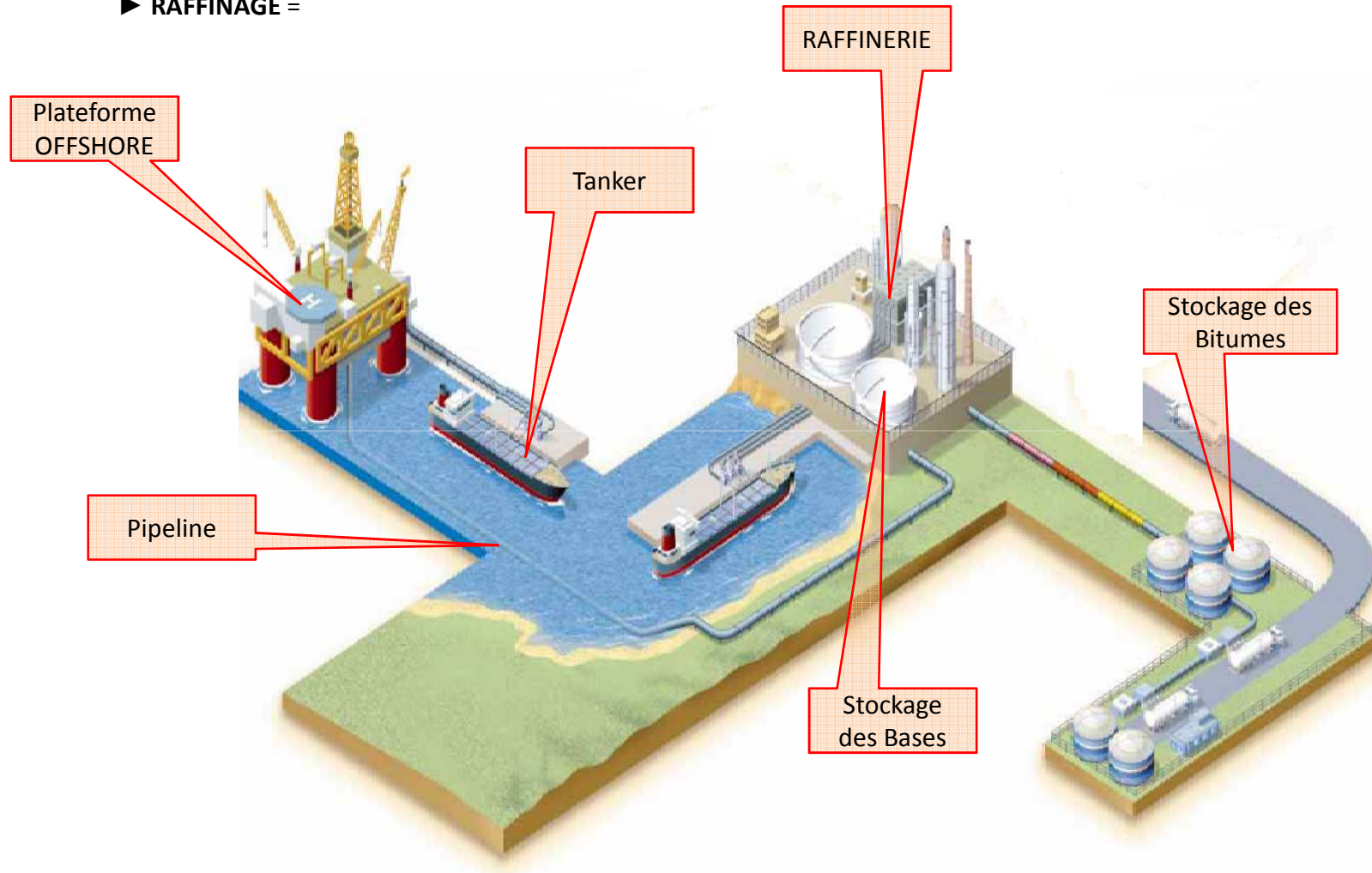
→ Bitume= seul produit du pétrole qui ne brule pas

Chocs pétroliers 73 et 79

CHAP VIII: LES LIANTS

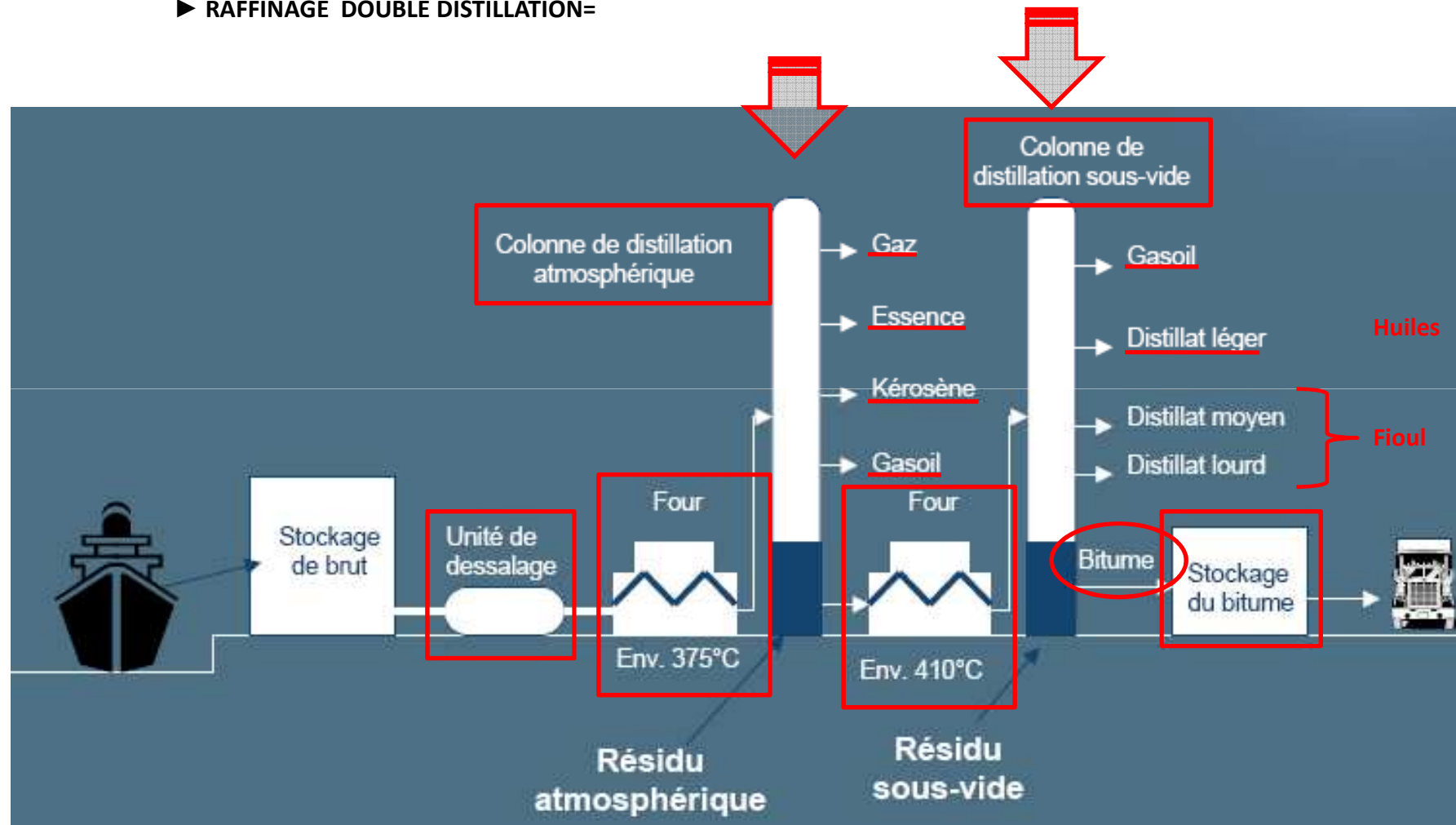
f) Fabrication du Bitume:

► RAFFINAGE =



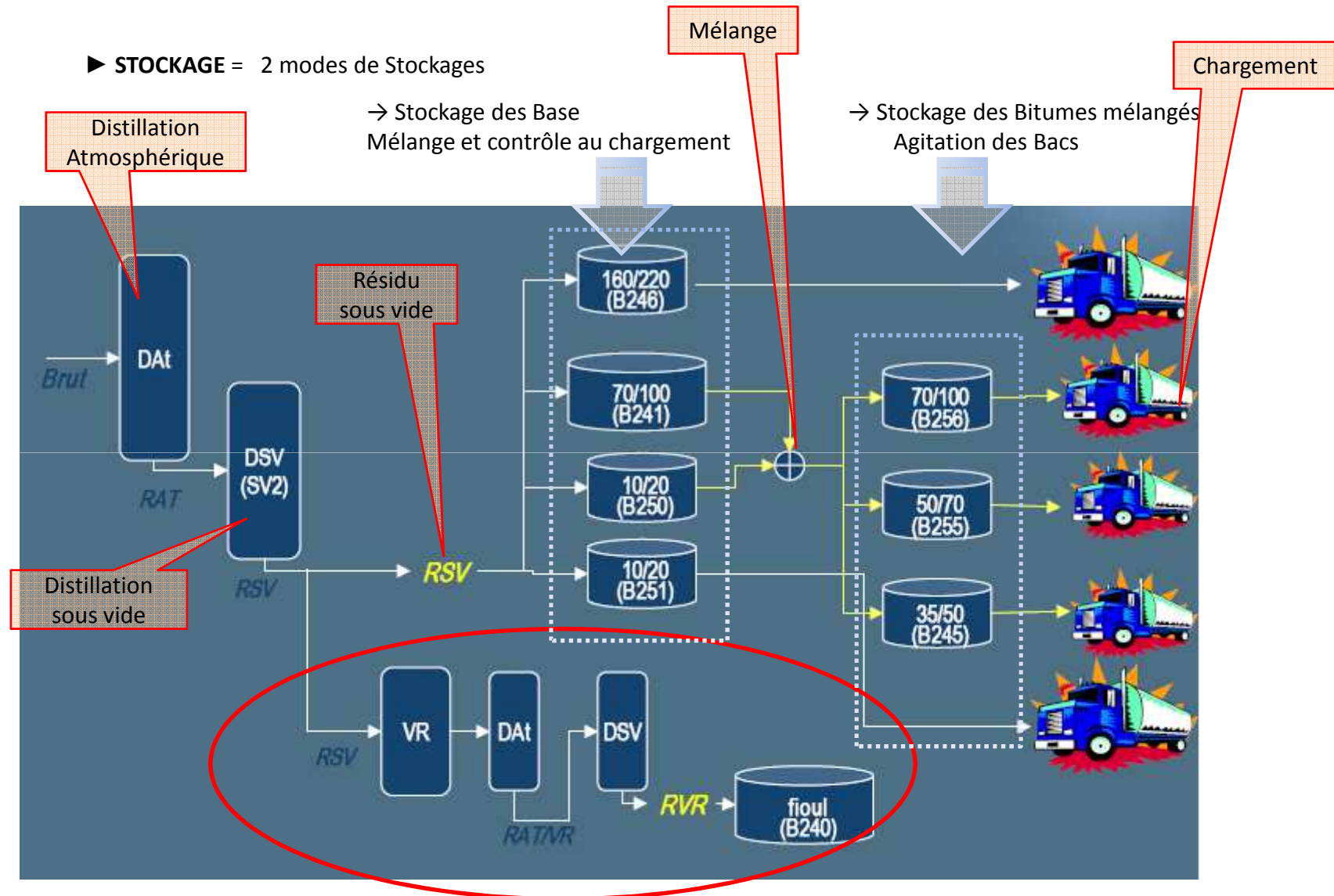
CHAP VIII: LES LIANTS

► RAFFINAGE DOUBLE DISTILLATION=



CHAP VIII: LES LIANTS

f) Fabrication du Bitume:



Prix du Bitume = 500 €/T
 Prix du Fioul = 750 €/T

« les pétroliers craquent les résidus de la distillation sous vide »

CHAP VIII: LES LIANTS

g) Raffineries Françaises: il reste 12 raffineries

Tonnages annuel: 100 millions de Tonnes (733 millions de Barils)



CHAP VIII: LES LIANTS

► PETROLE/BITUME: à l'échelle Mondiale

→ Maîtrise totale des Pétroliers sur la Planète: Négociation directe avec les traideurs sur les bateaux chargés
Aucune Technicité : que du commerce

→ 3 Piliers de l'organisation des Pétroliers:

- Recherche de gisements exploitables

- Commercialisation

- Raffinage:

* Adaptation de la distillation aux cours du marché:

* Stockage préférentiel du Fioul par rapport au Bitume:

Stockage du Bitume à chaud avec brassage= complexe et couteux ⇒ Flux tendu

* Désengagement des Pétroliers en Europe: ⇒ Reste 11 raffineries en France
⇒ 4 d'ici 15 ans

Contraintes Ecologiques

Contraintes Sociales

Marchés Saturés



⇒ Développement dans le tiers-monde

⇒ Transport de produits finis

⇒ Tension des marchés Européens

⇒ Plus près des marchés porteurs en Asie

⇒ Plus près des zones de production

* Qualité des Bruts différents dans le Monde:

Exemple: Brut Américain déficitaire en Fioul ↔ Moyen Orient excédentaire

⇒ Echange et transport de produits finis

→ Particularité du groupe COLAS: Achat d'une Raffinerie en Malaisie

Achat d'un dépôt de Bitume à Bordeaux

Achat d'une petite raffinerie à Dunkerque

⇒ Objectif= peser sur le prix du Bitume

CHAP VIII: LES LIANTS

h) Contrôle du Bitume:

Rappel: But du Marquage CE= permettre la libre circulation Européenne

⇒ Marquage CE des Granulats, Marquage CE pour la Fabrication des Enrobés

► BITUME: PAS DE MARQUAGE CE !

Prévu pour 2010

Discussions Européennes pour uniformiser les normes

Différences entre le Nord et le Sud de l'Europe

Exemple: enrobé mous de Finlande: bitume 80/100

Lobbying des Pétroliers?

► Contrôles Ponctuels:

→ Fournisseur (Pétrolier) : contrôle par BAC ⇒ Fiche Qualité par Porteur

→ Client (Poste d'Enrobé) : 1 prélèvement/300T ⇒ Contrôle à postériori par un labo indépendant
Marquage CE pour la fabrication des Enrobés

TROP TARD?

→ Client : ft(CCTP)

► ESSAIS :

→ Mesure de consistance :

Pénétrabilité à l'aiguille



Essai Bille-Anneau



→ Mesure de la tenue au vieillissement :

Durcissement RTFOT



Durcissement TFOT

→ Mesure du comportement mécanique :

Viscosité Cinématique

Viscosité Dynamique



Point de Fragilité FRAASS



CHAP VIII: LES LIANTS

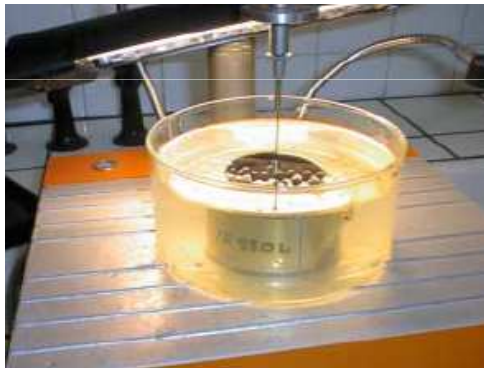
Pénétrabilité à l'aiguille

Norme NF EN 1426 - 1999 → Caractérisation de la Dureté

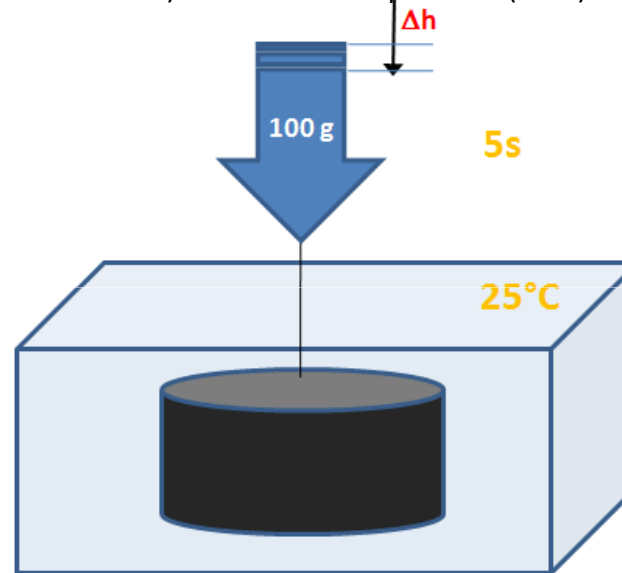
- Principe: Pour tous les Bitumes, mesurer l'enfoncement dans le Bitume chauffé à 25°C (15°C) pendant 5s d'une aiguille sous une masse de 100g.

- Méthode d'essai:

1) Préparation de l'échantillon



2) Montée en Température (25°C)



3) Mesure de l'enfoncement de l'aiguille après 5s



Pen à 25°C = enfoncement en 1/10mm

- Spécifications NF EN 12591: - 5 catégories: 20/30, 35/50, 50/70, 70/100 et 180/220

- Fréquence des essais: Fonction PAQ Raffineur (1 par Bac) ou Poste d'Enrobés (1/300T)
Fonction CCTP (1 par porteur)

Appellation des Bitumes

40 €

171

CHAP VIII: LES LIANTS

Essai Bille-Anneau

Norme NF EN 1427- 2000 → Mesurer la Température de ramollissement

► Principe: Pour tous les Bitumes, mesurer la température à laquelle une bille d'acier de 3,5g traverse un anneau de laiton rempli de Bitume, le tout immergé dans un bain d'eau (si $30^{\circ}\text{C} < \text{TBA} \leq 80^{\circ}\text{C}$), ou de glycérine (si $80^{\circ}\text{C} < \text{TBA} \leq 150^{\circ}\text{C}$) chauffé à la vitesse constante de $+5^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

► Méthode d'essai:

1) Préparation de l'anneau de laiton

2) Montée en Température



3) Mesure de la Température de ramollissement



T.B.A. = température en °C

► Spécifications NF EN 12591: - 5 catégories: 34/43, 42/48, 45/51, 50/56 et 55/63

► Fréquence des essais: Fonction PAQ Raffineur (1 par Bac) ou Poste d'Enrobés (1/300T)
Fonction CCTP (1 par porteur)



CHAP VIII: LES LIANTS

Durcissement RTFOT

Norme NF EN 12607-1: 2000 → Caractériser le vieillissement

RTFOT = Rolling Thin Film Oven Test (Test en étuve d'un Film Mince Tournant)

- Principe: Pour tous les Bitumes, simuler en étuve le durcissement des bitumes routiers lors de l'enrobage avec les granulats et lors de la mise en place d'un enrobé; puis contrôler la Péné, TBA et (viscosité).

- Méthode d'essai:

8 éprouvettes cylindriques
35g de bitume
Sole tournante à 15tr/min
163°C
Film de bitume de 15µm
Jet d'air à chaque rotation 4l/min
1h15min

RTFFOT = Péné à 25°C \ (exprimé en %)
Bille-anneau / (exprimé en °C)
(Viscosité à 60°C /)



- Spécifications norme 12591: Péné : 7 classes >55%, >53%, >50%, >46%, >43%, >37, >35
TBA : 9 classes >57°C, >54°C, >52°C, >49°C, >48°C, >45°C, >41°C, >37°C, >31°C
- Fréquence des essais: Fonction PAQ Raffineur ou Poste d'Enrobés (1/300T)
Fonction CCTP (1 par porteur)

CHAP VIII: LES LIANTS

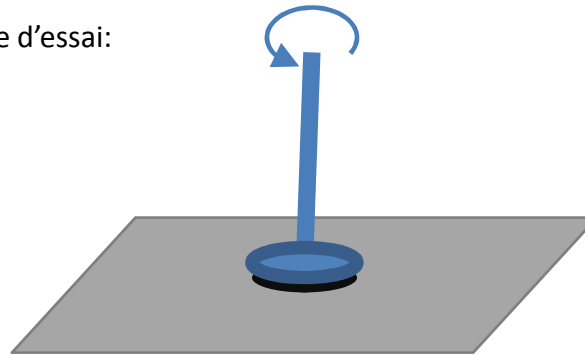
Hydrocarbonés

Viscosité Dynamique

Norme NF EN 12596-: 1999 → Caractériser la viscosité

- Principe: A une température donnée de 125°C, à l'aide d'un viscosimètre coaxial, on mesure un rapport entre un couple (un taux de cisaillement) appliqué à un mobile tournant normalisé.

- Méthode d'essai:



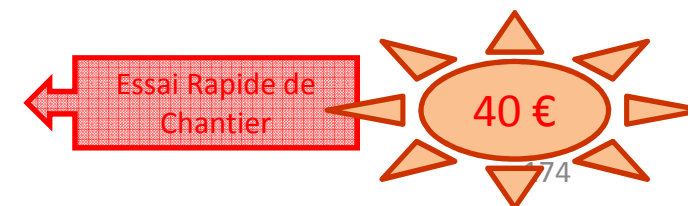
- 1) Echantillonnage= 1ml de bitume
- 2) Chauffage à 125°C
- 3) Lancer le mobile tournant
- 4) Mesurer la résistance

Rq: durée de l'essai = 30s

Visco Ici = (m Pa s)

- Spécifications: Pas de spécification dans la norme 12591

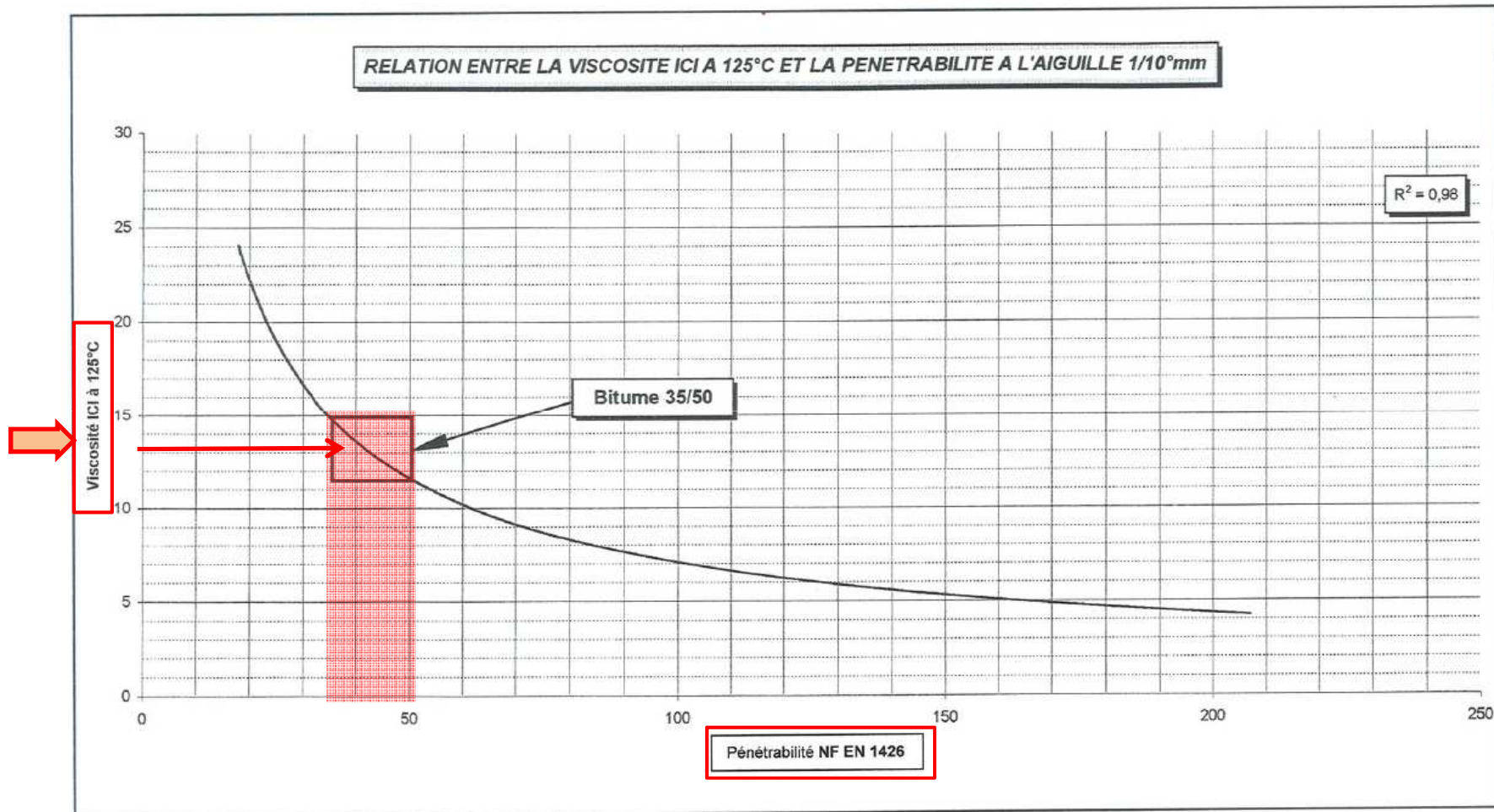
- Fréquence des essais: Poste d'enrobés: 1 à 3 essais par porteur



CHAP VIII: LES LIANTS

Hydrocarbonés

► Corrélation entre Péné et Ici d'un bitume déterminé:



L'essai Ici permet en 30s d'estimer la qualité (Péné) d'un Bitume= essai idéal de contrôle au dépotage

CHAP VIII: LES LIANTS

Point de Fragilité FRAASS

Norme NF EN 12593- 1999 → Mesurer la Température de rupture

► Principe: Pour tous les Bitumes (bitumes modifiés), mesurer la température à laquelle un bitume devient fragile, le point FRAASS est la dernière valeur de la température avant la rupture d'une pellicule de Bitume soumise à la flexion d'une lame d'acier en refroidissement de 1°C/min.

► Méthode d'essai:

1) Préparation de la lame



2) Mise en flexion
Baisse de la Température

3) Mesure de la Température de fissuration

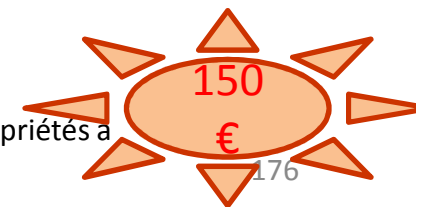


FRAAS = température en °C

► Spécifications: Pas de spécification dans la norme NF EN 12591

► Fréquence des essais: selon P.A.Q. du Raffineur ou CCTP.

► La fiabilité de l'essai est faible, mais c'est le seul disponible en Europe pour mesurer les propriétés à basse température des Bitumes.



CHAP VIII: LES LIANTS

Intervalle de Plasticité

Pas de Norme

→ Caractériser la sensibilité thermique d'un bitume

- ▶ Principe: Effectuer un essai TBA
Effectuer un essai FRAASS
Calculer l'écart de température entre l'indice TBA et l'indice FRAASS.
- ▶ Méthode d'essai:

Intervalle de Plasticité = TBA – FRAASS (°C)

- ▶ Spécifications: Pas de spécification
Souvent préconisé dans les CCTP: >65°C, >75°C
- ▶ Fréquence des essais: Fonction du CCTP

CHAP VIII: LES LIANTS

i) Classification des Bitumes:

- Les Bitumes Purs : norme NF 12591

Majorité (80%) des Bitumes pour ENROBES FRANCAIS

Tableau 1 — Spécifications des bitumes routiers pour les classes de pénétrabilité de 20 × 0,1 mm à 330 × 0,1 mm

	Unité	Méthode d'essai	Classes								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
<u>Pénétrabilité à 25 °C</u>	× 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
<u>Point de ramollissement</u>	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
<u>Résistance au durcissement à 163 °C a)</u>		EN 12607-1									
— variation de masse, maximum, ±	%	ou	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
— <u>pénétrabilité restante, minimum</u>	%	EN 12607-3	55	53	53	50	50	46	43	37	35
— <u>point de ramollissement après durcissement, minimum</u>	°C	EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
Point d'éclair, minimum	°C	EN 22592	240	240	240	230	230	230	230	220	220
Solubilité, minimum	% (m/m)	EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
a) Seul l'essai RTFOT doit être utilisé en cas d'arbitrage.											

PAS DE SPECIFICATION SUR L'ESSAI FRAASS L'ADAPTATION FRANCAISE DE LA NORME NF EN 12591

CHAP VIII: LES LIANTS i) Classification des Bitumes:

- ▶ Les Bitumes Spéciaux : (norme NF 13924)
 - = Bitumes purs non normalisés, nécessité d'une FTP
 - Bitume 10/20 (bitume « DUR »), utilisé pour améliorer le module des enrobés EME
 - ⇒ résoudre les problèmes d'orniérage : chaussée à fort trafic parking
 - En Espagne: bitume 13/22 et 15/25 (bitume « DUR »)
- ▶ Les Bitumes Fluxés= Bitume dont on a réduit la viscosité par transformation rhéologique
 - ⇒ rajout d'une huile de fluxage (10% à 12%) = Huile de Houille
 - Utilisés uniquement à la base pour les enduits superficiels
 - Huile de Houille cancérigène ⇒ Bitumes fluxés interdit en France
- ▶ Les Bitumes Fluidifiés (CUT BACK)= Bitume dont on a réduit la viscosité par transformation rhéologique
 - ⇒ rajout d'un diluant assez Volatil (5%) = pétrole ou kérosène
- ▶ Les Emulsion de Bitume= Mélange de bitume et d'eau en suspension (Enduits)
- ▶ Les Bitumes modifiés= ajout d'agent chimiques (polymères)
 - Bitume Anti-orniérant: fort trafic, giratoire
 - Bitume Anti-kérosène: résistance aux hydrocarbures
 - Enrobés Minces (BBTM 2,5cm)
- ▶ Les Bitumes dopés= additifs pour compenser les problèmes de collage du bitume sur les granulats
- ▶ Les Bitumes Multigrades= bitumes à faible susceptibilité thermique = plus visqueux à haute température
moins cassant à faible température
 - bitumes améliorés par une meilleure distillation
 - nouveau produit commercial des pétroliers
- ▶ Les Bitumes de synthèse= liant clair sans asphaltènes (couleur noire)
- ▶ Les Bitumes à base de résine et de liant végétal

CHAP VIII: LES LIANTS

j) Les Bitumes modifiés: (NF EN 14023)

- Les bitumes modifiés= Bitumes de base + Agent Chimiques
 - Modification de la structure chimique
 - Modification des propriétés Physiques et mécaniques
 - Préparés avant emploi dans une unité spécialisée (mauvaise stockabilité)

★ Constat : les Bitumes sont de moins bonne qualité qu'avant (Pétrolier)

→ Bitumes + durs

Exemple du Bitume classique pour Enrobés: 35/50

	Pénétrabilité	Bille-Anneau	FRAASS
Autrefois	43-44	54°C	-13°C
Aujourd'hui	37-38	51°C	-9°C

→ Bitumes + susceptible à la température : + cassant à froid
+ mou à chaud

⇒ **on doit modifier la rhéologie des bitumes par ajouts d'additifs**

10% des Bitumes Français sont modifiés

Rq: Tous les Bitumes ne sont pas modifiable!

★ Les polymères:

→ Elastomères: S.B.S. STYRENE BUTADIENE STYRENE (5%)

Double action : Semi-greffage du caoutchouc sur le bitume → - fragile à froid (\searrow T° FRAASS)
SBS pompe les huiles → + dur à chaud (\nearrow T° Bille-Anneau)

Exemple du Bitume 50/70 modifié par SBS:

	Pénétrabilité	Bille-Anneau	FRAASS
50/70	50-70	45-51°C	-12°C
50/70 modifié SBS	44-45	63 °C	-15°C

→ Plastomères: E.V.A. (Ethylène Acétate de Vinyle)

→ Latex: S.B.R. Polychloroprène Caoutchouc

CHAP VIII: LES LIANTS

k) Les Additifs:

► Les dopes d'adhésivités:

Améliorer l'affinité chimique réciproque entre les liants et les granulats et en assurer la pérennité

Composés tensioactifs azotés dérivés des acides gras (amines, polyamines...)

Dosage de 0,3 à 0,6% du bitume

► Le Polyéthylène:

Issu du broyage de déchets de câbles, bouteilles de lait et films de polyéthylène

Dosage de 20 à 66% du bitume

Procédé SCREG



► Les colorants:

Pigments minéraux (Thermostabilité, résistance aux intempéries, résistance aux U.V.)

Les plus courants = oxydes métalliques :

Oxydes de fer: couleur rouge, jaune ou grise

Chromate de plomb: couleur jaune clair

Oxyde de chrome: couleur verte

Oxyde de cobalt: couleur bleue

Oxyde titane: couleur blanche

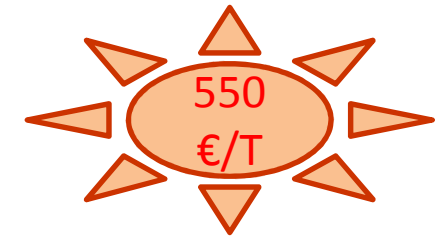
CHAP VIII: LES LIANTS

I) Les Bitumes spéciaux:

- Les bitumes spéciaux: Bitume + résine

Fabriqué directement par les pétroliers = Bitumes multigrades

↘ ORNIERAGE

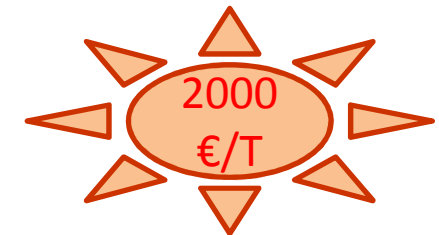


- Les liants végétaux: A la mode Ecolo ↔ CHER

→ Brevet COLAS



Secret INDUSTRIEL



→ Brevet SHELL: Liant FLORAPHALTE



Secret INDUSTRIEL



Polymère

Fabriqué avec des résines de bois et de l'huiles issus de l'agriculture

Caractéristiques comparables à un bitume 70/100

⇒ utilisation pour les faibles trafics

Couleur claire

⇒ utilisation pour les enrobés colorés

CHAP VIII: LES LIANTS

I) Les Bitumes spéciaux:

► Le Futur des Bitumes: ENROBAGE TIEDE

Aujourd'hui chauffage des Bitumes à 170°C: \Rightarrow enlever l'eau des granulats

\Rightarrow Fluidifier le Bitume pour permettre l'enrobage
« mouiller » les granulats

Bruleur des poste d'enrobages: Fioul Lourd ou Gaz naturel

\Rightarrow Cher

\Rightarrow Pas Ecologique: forte émission de gaz à effet de serre

1^{er} objectif à court terme: ENROBES TIEDES

= descendre à 120-130°C en gardant les performances des enrobés chauds

\Rightarrow gain énergétique 20%

\Rightarrow Émissions atmosphériques: -30% de gaz à effet de serre (CO2 équivalent)

\rightarrow Baisse de viscosité du liant:



Ajout de Cire ou de liant de synthèse végétal dans le bitume

Diminue la viscosité du bitume à 100°C

Apporte un effet « plastifiant »

Permet un enrobage à 130°C et un compactage à 80°C



CHAP VIII: LES LIANTS

I) Les Bitumes spéciaux:

→ Utilisation d'un agent de maniabilité: Brevet EUROVIA



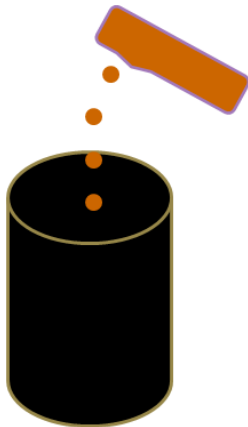
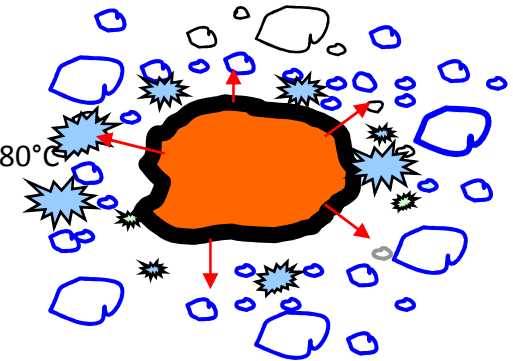
Introduction de Zéolithe (eau cristalline) dans le malaxeur avec les agrégats

Libération progressive d'eau au cours du malaxage à 125°C

Apparition de vapeur d'eau au milieu des molécules de Bitume
⇒ effet moussant

Permet un enrobage à 130°C et un compactage à 80°C

Pb: baisse de rendement de 50% du poste
enrobés non stockable



→ Additivation du Bitume: Brevet CECA

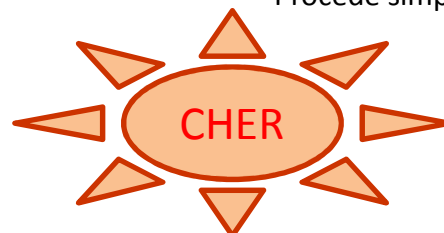
Procédé anhydre

Propriété Tensio-actif

Permet le bon mouillage des granulats à 110-120°C
sans modifier la viscosité du Bitume

Dosage faible: 4Kg/Tonne de Bitume (forme liquide)

Procédé simple: introduction de l'additif au dépotage du porteur
brassage 12h pour homogénéisation
pas de modification du poste d'enrobage



CHAP VIII: LES LIANTS

► Contrôles des livraisons des Bitumes: Fiche Qualité par porteur

COMPAGNIE PETROCHIMIQUE DE BERRE
RAFFINERIE DE BERRE
B.P. 42
13131 BERRE L'ETANG

Fournisseur

N° d'identification
du chargement

* F I C H E d e Q U A L I T E S *

```

+-----+
!      Chargement No : 429060                      Le 13-10-2008 A 11:53      !
+-----+

```

AUTORISATION DE CHARGEMENT No : 02059628AF

Destinat. : ENROBES TOULOUSE

Depot : 31270 VILLENEUVE TOLOSANE

Lieu de : VENTES BITUMES

Livraison

N° du BAC

Classe du BITUME

```

+-----+
!      No de BAC      : 1433                      !
!      Temperature    : 173,0                    !
!      PRODUIT        : 71244 35/50              !
!      Qte Demande    : 26.610 Kg                !
+-----+

```

```

Transporteur      : RC TRANS
Engin/Citerne     : 216BBY31/798AWD31
Chauffeur         : PLAZA - ERIC --> RC
Chargement Precedent : 35.50

```

A N A L Y S E	Methode	Unite tec	Resultat
DENSITE PICNOMETRE A 25 deg C	NFENISO 3838		1.036
PENETRABILITE	NFEN 1426	1/10 mm	40
PT RAMOLLISSEMENT BILLE ANNEAU	NFEN 1427	deg C	51.4

Densité

Péné

T° Bille-anneau

Chef d'Unite

CHAP VIII: LES LIANTS

► Exemple 1 de CCTP:

MARCHES PUBLICS DE TRAVAUX

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
DIRECTION DE LA VOIRIE ET DES INFRASTRUCTURES
Service des Etudes Ouest
1, Boulevard de la Marquette
31090 TOULOUSE Cedex 9**

**RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
DU P.R 25+842 AU P.R 29+830 -SECTIONS 2 & 3
COMMUNES DE FONTENILLES-PUJAUDRAN-LEGUEVIN**

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
Cahier des Clauses Techniques Particulières**

CHAP VIII: LES LIANTS

► Exemple de CCTP (suite):

*RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
du P.R 25+842 au P.R 29+830 -Sections 2 & 3
Communes de Fontenilles-Pujaudran-Leguevin*

4.02.6 Liants hydrocarbonés

4.02.6.1 Liants hydrocarbonés des enrobés

L'approvisionnement simultané par différentes raffineries est interdit : le changement éventuel de raffinerie ou de liant doit correspondre à des phases de chantier nettement séparées et nécessite une information auprès du maître d'œuvre.

4.02.6.1.1 *Nature et caractéristiques*

Les liants hydrocarbonés sont :

- soit des bitumes conformes aux spécifications des normes FD T 65-000 **NF EN 12 591** ou d'autres normes applicables en France en vertu d'accords internationaux,
- soit des émulsions cationiques conformes à la norme NF T 65-011.

4.02.6.1.2 *Conditions de stockage*

Par classe de liant et par centrale, les liants destinés à l'enrobage doivent être stockés dans deux citernes d'une capacité minimum de **40 000 litres chacune**.

L'entrepreneur fournira, à l'appui de son offre, les fiches de caractérisations des liants (décrits ci-dessus) qui serviront de base au contrôle extérieur du maître d'œuvre.

CHAP VII: LES LIANTS

► Exemple 2 de CCTP:



Direction Opérationnelle de l'Infrastructure Ouest

Pôle Ingénierie

Europarc - 22 avenue Léonard de Vinci

33608 PESSAC CEDEX

Tél. 08 20 20 20 48 / fax 05 57 89 00 02

A64
DRE BIARRITZ
District de St Gaudens

REFECTION DES CHAUSSEES
ENTRE LES PK 199 ET 217

CHAP VII: LES LIANTS ► Exemple de CCTP (suite):

ARTICLE 6 SPÉCIFICATION DES CONSTITUANTS

6.5 LIANTS HYDROCARBONÉS

Les bitumes proviendront d'une même raffinerie. La provenance et le type de liants proposés seront soumis à l'agrément du Maître d'œuvre.

Les liants utilisés, à base de bitume pur, sont définis à l'article 2 du fascicule 24 du CCTG. Leurs caractéristiques seront conformes à la norme NF EN 12591.

L'Entrepreneur fournira la fiche technique du liant faisant état des caractéristiques dès la remise des offres.

Pour le BBSG 0/14, les bitumes purs, les bitumes purs avec ajouts (notamment polyéthylène), les bitumes spéciaux, les bitumes multigrades et les bitumes modifiés par ajouts de polymères sont autorisés

Pour les BBTM 0/10 et BBTM 0/14, seul un bitume modifié par ajouts de polymères est utilisé. De plus, l'intervalle de plasticité (TBA - Fraas) sera supérieur ou égal à 65°C. Le liant pour les couches d'accrochage sera une émulsion de bitume modifié.

L'Entrepreneur fournira la fiche technique des liants proposés faisant état des caractéristiques d'usage des propriétés physico-mécaniques et des règles d'utilisation.

Les propriétés physico-mécaniques des liants seront déterminées par les essais suivants :

- * densité,
- * pénétrabilité à 25° C,
- * susceptibilité thermique (IP LCPC),
- * point de ramollissement bille et anneau,
- * point de fragilité FRASS,
- * traction, allongement,
- * vieillissement artificiel après RTFOT OU TFOT évaluant la pénétrabilité, la température bille et anneau et la fragilité FRASS.

CHAP VII: LES LIANTS

► Exemple de CCTP (suite):

L'Entrepreneur assurera le contrôle et la fourniture des liants dans les conditions fixées aux articles du fascicule 24 du CCTG.

Il doit à cet effet :

- demander au fournisseur la communication des résultats de son contrôle interne défini par le fascicule 24 du CCTG,
- effectuer à chaque dépotage 3 prélèvements dans des récipients étanches,
 - * un, destinés au laboratoire de l'entreprise, afin de procéder aux essais suivants (avec les fréquences définies au Fascicule B :
 - pour les bitumes :
 - . essai viscosimètre (à réaliser avant le dépotage avec fourniture des résultats au plus tard une heure après)
 - . température bille et anneau,
 - . pénétrabilité à 25° C,
 - . Fraass,
 - . densité,
 - * deux, destinés au Maître d'Œuvre, afin d'analyse éventuelle.

La fourniture des récipients est à la charge de l'entreprise. Les résultats des essais du fournisseur et du laboratoire de l'entreprise seront adressés systématiquement au Maître d'Œuvre.

L'Entrepreneur aura à sa charge l'approvisionnement des liants sur le chantier au fur et à mesure des besoins.

L'Entrepreneur devra, à chaque arrivée de camion :

- * - vérifier le bon de livraison remis par le transporteur,
- * - effectuer une vérification sur la qualité du liant livré (viscosité),
- * - contrôler la quantité livrée,
- * - effectuer les prélèvements définis ci-dessus.

6.6 DOPES ET ADJUVANTS

Dans le cas d'utilisation de dopes ou d'adjuvants, l'Entrepreneur fournira l'extrait de l'avis technique et/ou une fiche technique de caractérisation et d'utilisation des produits. Le stockage devra être conforme aux modalités décrites sur la fiche précitée.

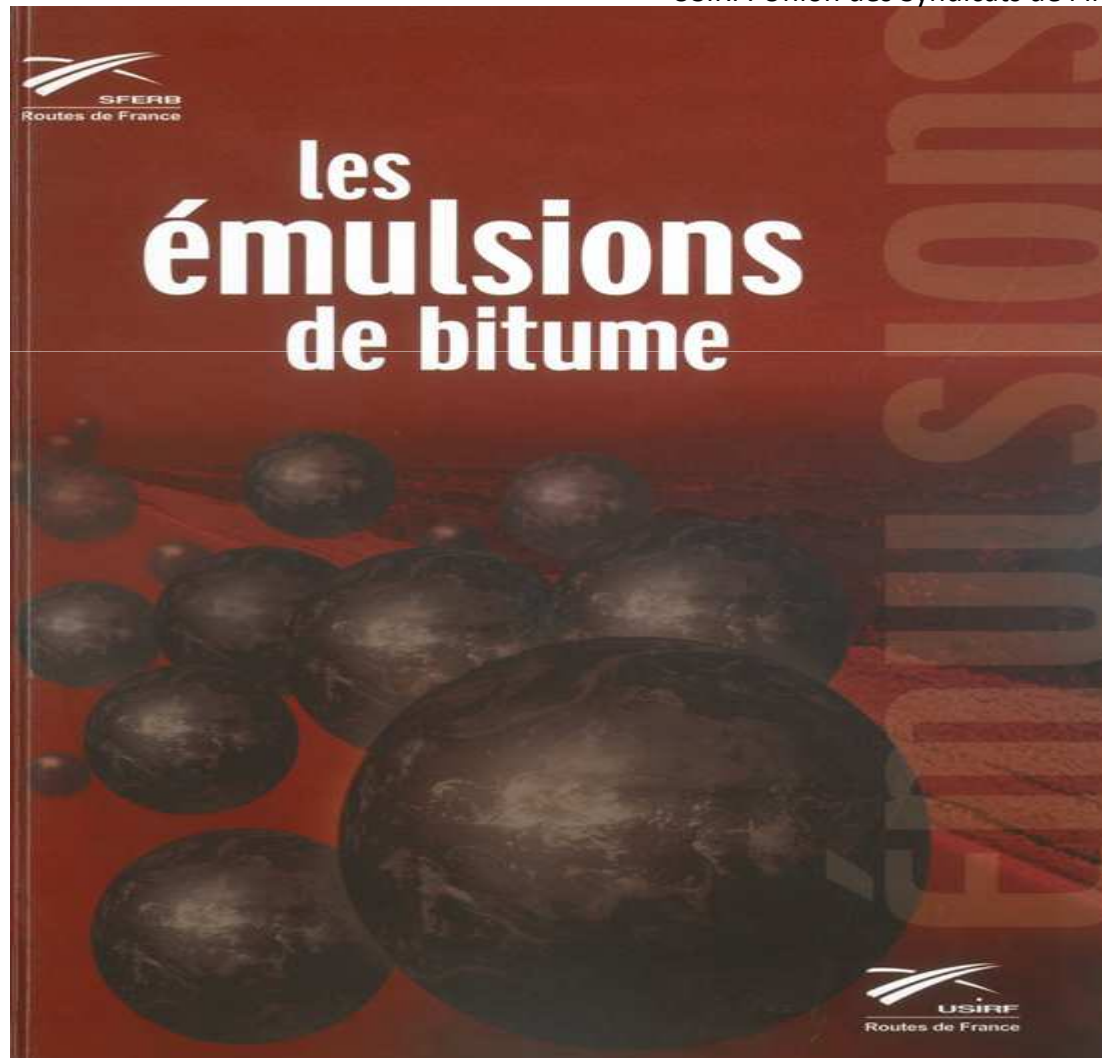
CHAP VIII: LES LIANTS

2) Les Emulsions:

► la bible des enduiteurs : ⇒ « **Les émulsions de Bitume** » livre Bordeaux (4^{ème} génération)

Rédigé par les exploitants= SFERB: Section des fabricants d'émulsion routière de bitume

USIRF: Union des Syndicats de l'industrie routière Française



CHAP VIII: LES LIANTS

- 3 types de dispersions aqueuses:
- Suspension = solide / liquide
 - Mousse = gaz / liquide
 - Emulsion = liquide / liquide

- Emulsion = « dispersion, sous forme de particules très fines (fines gouttelettes), d'un liquide au sein d'un autre liquide dans lequel il n'est pas soluble »
- ≠ d'une solution, mélange de deux liquides miscibles. Ex: Eau + Alcool
- = mélange forcé **thermodynamiquement** instable ou **métastable**

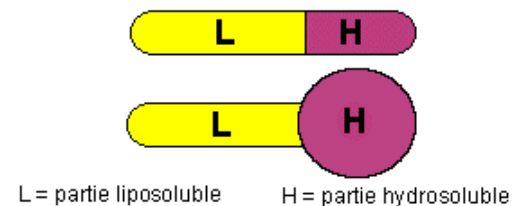
En général, les émulsions sont des dispersions de graisse d'huile dans l'eau= émulsion directe

Exemples: latex = émulsion naturelle de caoutchouc

Exemples: mayonnaise, beurre

- Principe de l'émulsion de Bitume:
- Fragmenter du bitume mécaniquement
 - Disperser en fines gouttelettes dans de l'eau avec une énergie mécanique
 - Stabiliser ces gouttelettes avec un **émulsifiant** = agent tensioactif

Agent tensioactif = composé contenant une partie hydrophile (qui retient l'eau) et une partie lipophile (qui retient les graisses)



CHAP VIII: LES LIANTS

► Type de l'émulsion de Bitume :

→ Classement selon la nature des phases:

- Émulsion directe : L/H = phase continue aqueuse et phase dispersée huileuse (lait, peinture acrylique)
- Émulsion inverse : H/L = phase continue huileuse et phase dispersée aqueuse (beurre, crème de nuit)
- Émulsion multiple : H/L/H = émulsion d'eau dans l'huile, elle-même en émulsion dans l'eau

⇒ émulsion de Bitume

→ Classement selon la taille des globules:

- microémulsion: Particules de 10 à 50nm, émulsion claire et stable (tensioactif)
- nanoémulsion : Particules de 30 à 500nm
- macroémulsion: Particules > 500nm, émulsions grossières

⇒ émulsion de Bitume

→ Classement selon la concentration en phase dispersée:

- Émulsion diluée: < 10% (volumétrique)
- Émulsion semi-diluée: Entre 10 et 70% ⇒ émulsion de Bitume
- Émulsion concentrée (gélifiée): > 70%

→ Classement selon l'émulsifiant:

CHAP VIII: LES LIANTS

→ Classement selon l'émulsifiant:

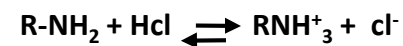
* Emulsions anioniques:

- Tensioactif anionique:
- Disparues en France depuis 1970
- Utilisées aux Etats-Unis et en Espagne

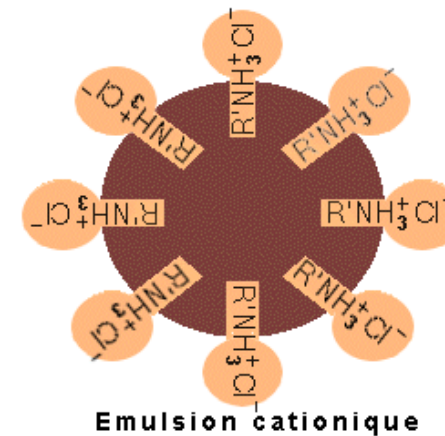
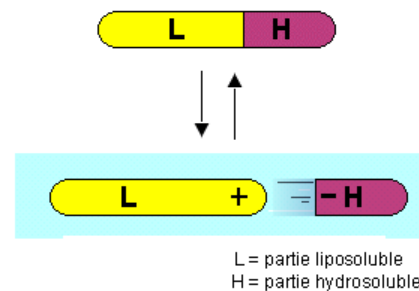
* Emulsions cationiques:

- Tensioactif cationique:

Agent tensioactif le plus utilisé= composés contenant les atomes d'Azote N



surfactifs cationiques



- Norme NF EN 13808: cadre de spécifications pour les émulsions cationiques de bitume

CHAP VIII: LES LIANTS

► Historique :

→ 1^{er} brevet sur l'émulsion de Bitume: 1922, Hugh Alan Mackay (chimiste Anglais)

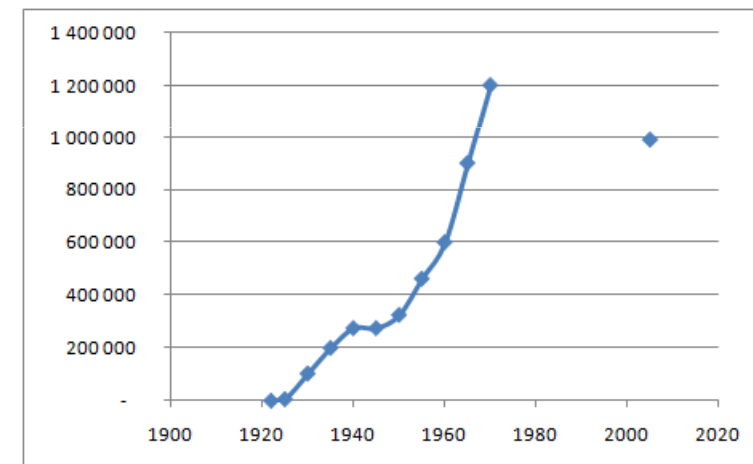
→ Consommation Mondiale (chiffres 2005):
 Bitume= 78MT
 Emulsion= 8MT ⇒ 10%

→ Consommation Française (chiffres 2005):
 Bitume= 3,2MT
 Emulsion= 1MT ⇒ 31% Fort réseau secondaire

La France est le 2^{ème} consommateur d'émulsion dans le monde (12,5% du marché mondial) derrière les E.U(2,6MT)

→ Evolution de la Consommation Française :

Pic dans les années 1970



→ Evolution de la Technique Française :

- 1920 émulsion anioniques
- 1951 émulsion cationiques
- 1951 émulsions 50% cationiques / 50% anioniques
- À partir de 1970 : 100% émulsion cationiques

→ Evolution de la concentration

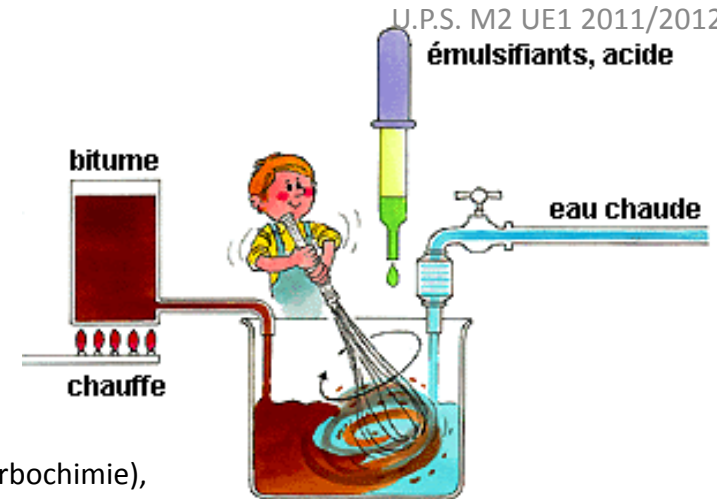
- 1970 apparition de l'émulsion concentrée à 69% qui remplace les émulsions à 65% et 60%

CHAP VIII: LES LIANTS

► Fabrication d'une émulsion :

→ Constituants:

- Bitume : direct des raffineries (souvent additivé)
Bitumes paraffiniques
Bitumes plutôt mous: 70/100, 160/220
- Fluxants : Pétrochimie direct des raffineries (ou Carbochimie),
apparition récente de fluxants d'origine végétale
- Eau : minimum d'impureté organique et minérale,
remplacement des ions calcium et magnésium par des ions sodium apportés,
- Emulsifiants : chimie,
- Acides : pour les émulsions cationiques,
sous forme de sel pour permettre leur dispersion (piscine au sel)

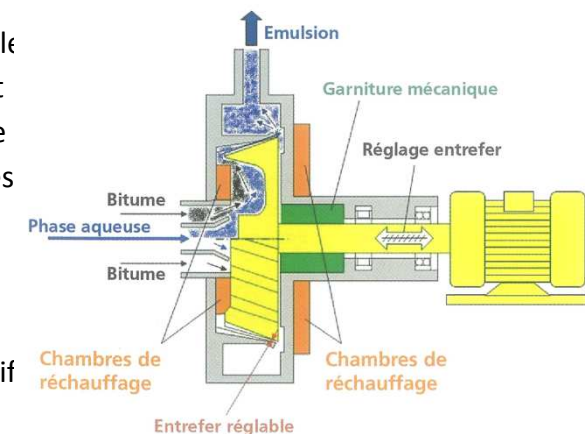


→ Paramètres de fabrication:

- Energie de dispersion:
 - * Energie mécanique: divise le bitume en fines particules
 - * Energie physico-chimique: apportée par l'émulsifiant
Abaisser la tension interfaciale entre la phase
Créer un film protecteur autour des particules
- Viscosité et température des constituants:
 - * Température d'émulsification = f(péné du Bitume)
 - * Règle empirique: $(T^\circ \text{ eau} + T^\circ \text{ bitume}) < 200^\circ \text{C}$

Péné du Bitume	T°C d'émulsification
160/220	140 °C
70/100	150 °C
50/70	160 °C

- Dosage des constituants: ! Grande précision pour les émulsifs
- Fabrication en continue avec un moulin colloïdal



CHAP VIII: LES LIANTS

► Propriétés d'usage d'une émulsion de Bitume :

→ **Viscosité**: L'émulsion doit être fluide pour pouvoir être pompée et manipulée

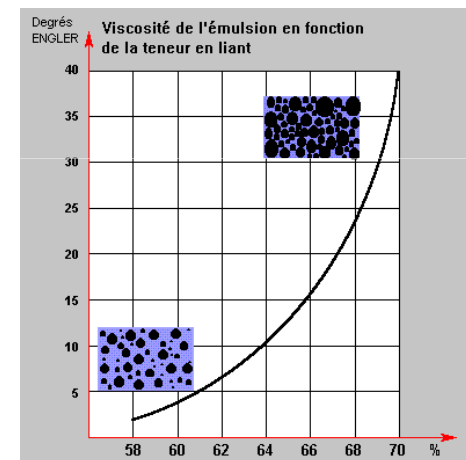
Pour les enduits: bon répandage au sol des jets des rampes

Pour les enrobés: bon malaxage en centrale, bon mouillage

L'émulsion doit être visqueuse pour ne pas couler sur les bas-côtés ou dans les pentes en long

⇒ paramètres influent sur la viscosité d'une émulsion de Bitume:

- La nature de l'émulsifiant
- La viscosité de la phase aqueuse
- La teneur en liant:

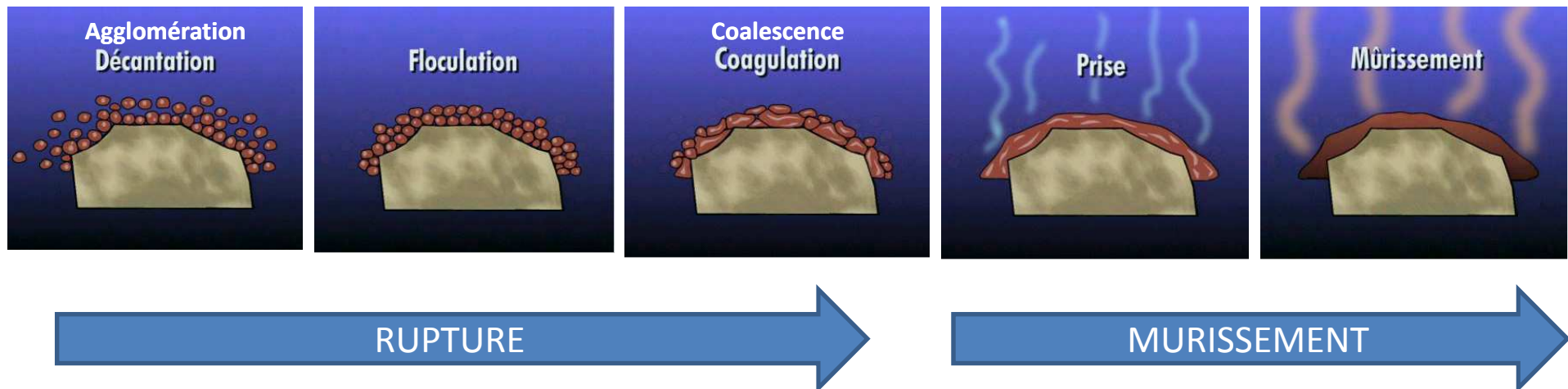


- La granularité: plus l'émulsion est fine et monodisperse ⇒ plus l'émulsion est visqueuse

CHAP VIII: LES LIANTS

► Propriétés d'usage d'une émulsion de bitume:

→ **Vitesse de rupture**: Mise au contact avec les granulats, l'émulsion doit rompre afin que le bitume qu'elle contient retrouve ses propriétés macroscopiques et serve de liant (enduit ou enrobage)



- La rupture**= * phénomène irréversible
 * rupture de l'équilibre de répulsion des tensio-actifs
 * 3 étapes:
- Décantation: Rapprochement réversible des particules de Bitume,
 - Flocculation: Rapprochement réversible des particules de Bitume,
 - Coalescence: Séparation de la phase aqueuse et de la phase hydrocarbonnée
 Fusion irréversible des particules de Bitume
 ⇒ disparition de l'émulsion

► Propriétés d'usage d'une émulsion de Bitume:

* fonction de la nature du granulat

Matériau électro-positif
(calcaire, basalte)



⇐ Attraction et absorption des
tensio-actif (charge -)

Matériau électro-négatif
(silex, quartzite, granit)



⇐ Attraction et absorption des
émulsifiants (charge +)

La vitesse d'application doit être adaptée au type d'application visée:

- Émulsion de ré pandage: vitesse rapide
- Émulsion de d'enrobage: vitesse plus ou moins lente

- Le mûrissement= évacuation de l'eau après rupture de l'émulsion



MURISSEMENT

! Temps long et variable

⇐ Fonction de la météo d'après chantier

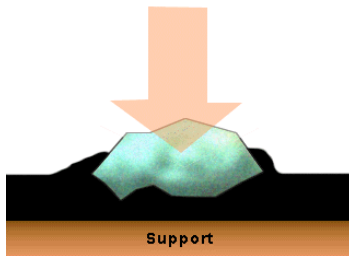
► Propriétés d'usage d'une émulsion de Bitume:

→ **Adhésivité du bitume résiduel:** Assurer au final l'adhésivité (« collage ») bitume/granulat.

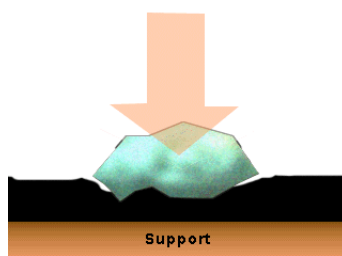
⇒ fonction uniquement de la qualité du bitume résiduel

Adhésivité active (« mouiller le granulat »)

Bonne



Mauvaise

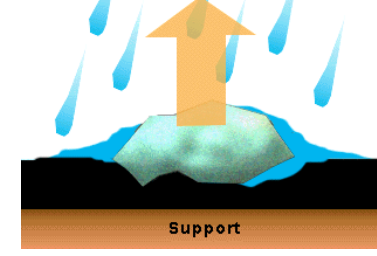


Adhésivité passive (aux agents extérieurs: eau, filler)

Bonne



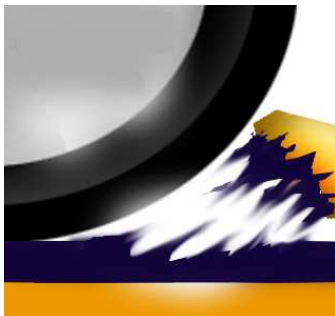
Mauvaise



Mauvaise adhésivité
Gravillon/liant



Mauvaise adhésivité
Liant/support



→ **Cohésivité du bitume résiduel:** Assurer au final la résistance du liant au déchirement sous l'action mécanique extérieure

⇒ fonction uniquement de la qualité du bitume résiduel

► Propriétés d'usage d'une émulsion de Bitume:

→ **Stabilité au stockage:** Fabriquée et stockée dans les usines de fabrication

! au Brassage

Stockée dans des citernes: fixes, dépôt des entreprises de TP
mobiles sur chantier.

Stockée dans les répandeuses de chantier (« Bouille ») ← ! aléas du chantier (météo)

⇒ 3 étapes d'une séparation au stockage: similaire à la rupture

- Sédimentation: Les gouttelettes de Bitume tombent au fond de la cuve sous l'action de l'apesanteur

← Risque d'écart de dosage de bitume résiduel, BRASSAGE

- Floculation: Rapprochement réversible des particules de Bitume, Ségrégation

← Risque d'écart de dosage de bitume résiduel, BRASSAGE

- Coalescence: Séparation de la phase aqueuse et de la phase hydrocarbonée
Fusion irréversible des particules de Bitume

⇒ disparition de l'émulsion ⇒ Catastrophique

⇒ 2 conditions pour créer une émulsion stockable:

- PH faible: compris entre 3 et 5

- Forte concentration en émulsifiant Ex: ECF: teneur en émulsifiant > 6Kg/T

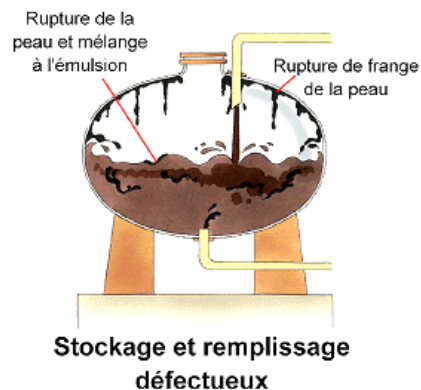
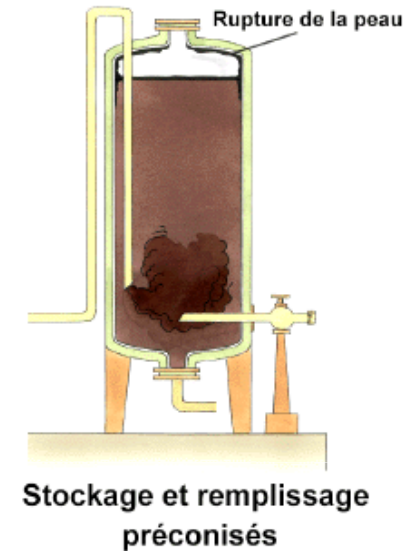
→ **Stabilité pendant le transport:** Transportée des usines de fabrication au dépôt par camion citerne spécialisé

CHAP VIII: LES LIANTS

► Stockage d'une émulsion :

→ Stockage: émulsion = très sensible à la qualité du stockage

- température de stockage entre 20 et 70°C
- durée de stockage: variable (qq semaines maxi)



- incidents de stockage:

- * Formation de peau: formation dans la cuve d'une peau de bitume en surface au contact de l'air
⇒ cuve verticale avec remplissage par le bas
- * Décantation ou Crémage: modification de la teneur en bitume en surface
- * Gel: rupture irréversible, température mini = 3°C
- * Epaissement: ↗ de la viscosité et épaissement progressif avec un stockage prolongé
⇒ Réchauffer au moment de l'utilisation
- * Mélange d'émulsions différentes:

⇒ NETTOYAGE IMPERATIF

! aux apprentis sorciers.

CHAP VIII: LES LIANTS

PROPRIETES CONTRADICTOIRES \Rightarrow adaptation permanente des formulations et des dosages► Nomenclature des émulsion de bitume : **C xx yyy z****C** = émulsion cationique de Bitume**xx** = teneur en liant (%)**yyy** = B pour un liant bitumineux, P pour un liant avec Polymère, F pour une émulsion avec + de 2% de Fluxant**z** = un chiffre entier entre 0 et 7 représente la classe de comportement à la rupture (ex: 7 = émulsion très stable)

► Applications pour les émulsions « classiques »:

→ Enduits superficiels: couche de roulement pour les chaussées à faible trafic

+ **C65 B3**: émulsion cationique à rupture rapide à 65% de Bitume → enduit superficiel bicouche

(pour 1 t d'émulsion)

Bitume 160/220 (98,5%)	640 Kg
Fluxant (1,5%)	10 Kg
Emulsifiant cationique (propylène-diamine de suif)	1,5 à 2,2 Kg
Acide chlorhydrique à 32%	1,3 à 2,0 Kg

+ **C69 B2**: émulsion cationique à rupture rapide à 69% de Bitume → enduit superficiel monocouche

Bitume 70/100 (98%)	676 Kg
Fluxant (2%)	14 Kg
Emulsifiant cationique (amido-amine de suif)	1,4 à 2,5 Kg
Acide chlorhydrique à 32%	1,3 à 2,0 Kg
Chlorure de calcium (CaCl ₂ , 2H ₂ O)	1 Kg

→ Graves émulsions: couche d'assise pour les chaussées à trafic faible et moyen

+ **C60 B 5**: émulsion cationique à rupture lente à 60% de Bitume → grave-émulsion

Bitume 160/120 (100%)	600 Kg
Emulsifiant cationique (polypropylène-polyamine)	5 à 10 Kg
Acide chlorhydrique à 32%	5 à 10 Kg

CHAP VIII: LES LIANTS

→ Enrobés coulés à froid (ECF): couche de surface

+ **C60 BP 6**: émulsion cationique à rupture lente à 60% de Bitume modifié → enrobé coulé à froid

Bitume 70/100 (98%)	588 Kg
Polymère (2%)	12 Kg
Emulsifiant cationique (dipropylène-triamine)	6 à 15 Kg
Acide chlorhydrique à 75%	6 à 15Kg

→ Enrobés stockable: réparation de chaussée (« nids de poule »)

+ **C65 BF4**: émulsion cationique à rupture moyenne à 65% de Bitume → enrobé stockable 2/6

Bitume 160/120 (88%)	570 Kg
Fluxant (12%)	80 Kg
Emulsifiant cationique (propylène-diamine oxyakylée)	3 Kg
Acide chlorhydrique à 32%	2,5 Kg

CHAP VIII: LES LIANTS

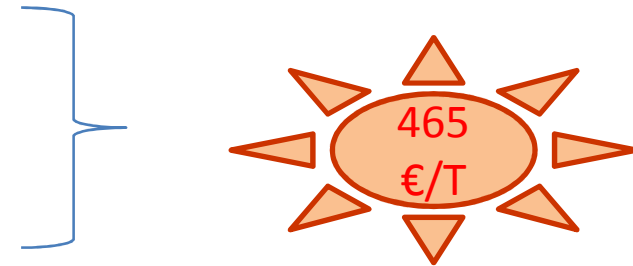
► Producteurs d'émulsion de Bitume en France:

→ Entreprises Routières (grosses): à 99%

- Regroupées en G.I.E.
- 110 usines en France
- Réseau Terminé
- Catalogue de formules par usine: Emulsions d'enduits 65% et 69%
Emulsions d'enrobage= spécifique par Granulats locaux
ECF= produit spécifique demandant une étude de formulation

→ Prix de l'émulsion:

- Bitume: $500\text{€}/\text{T} \times 69\% = 345\text{ €}/\text{T}$
- Façonnage: $50\text{€}/\text{T}$
- Produits: $50\text{€}/\text{T}$
- Transport: $20\text{€}/\text{T}$



Rq: Transport= 4% du prix
 $20\text{€}/\text{T} \rightarrow 500\text{€}/\text{porteur} \rightarrow 500\text{ Km de rayon}$

→ Consommation d'émulsion en France:

- 1 000 000 Tonnes
- Marché Stable \Leftarrow Marchés d'entretien (départementaux) \neq Marchés d'investissement

CHAP VIII: LES LIANTS

► Contrôles des émulsions :

NORME EUROPEENNE EN 13808 \Rightarrow prévision du MARQUAGE CE (niveau 2+ avec système d'attestation de conformité)

PAS DE MARQUAGE CE = prévu pour 2010 (attente du marquage CE des Bitumes)

NORME FRANCAISE XP T65-011

→ Contrôle de l'émulsion:

- Contrôle de la teneur en eau et en liant
- Contrôle du PH
- Contrôle de la Granulo
- Temps d'écoulement ou viscosité dynamique
- Essai d'Adhésivité
- Essai de Rupture avec fines ou ciment
- Présence de substances dangereuses: amiante, formaldéhyde, acide cyanhydrique, acide chlorhydrique

Viscosité Dynamique

**Adhésivité
Par essai d'immersion dans l'eau**

Indice de Rupture des Emulsions Cationiques IREC

→ Contrôle du liant résiduel d'émulsion: après évaporation= liant d'origine

- Pénétrabilité à 25°C ou temps d'écoulement à 25 ou 40°C (en fonction de la consistance du liant)
- Essai Bille-anneau ou viscosité dynamique 60°C (en fonction de la consistance du liant)
- Essai de cohésion pour les émulsions bitumineuse modifiées

→ Contrôle du liant stabilisé: après évaporation et stabilisation= simule le liant après 1 an vieilli: après évaporation, stabilisation et vieillissement = simule le liant après 5 à 10 an

- Pénétrabilité à 25°C
- Essai Bille-anneau ou viscosité dynamique 60°C (en fonction de la consistance du liant)
- Essai de cohésion pour les émulsions bitumineuse modifiées

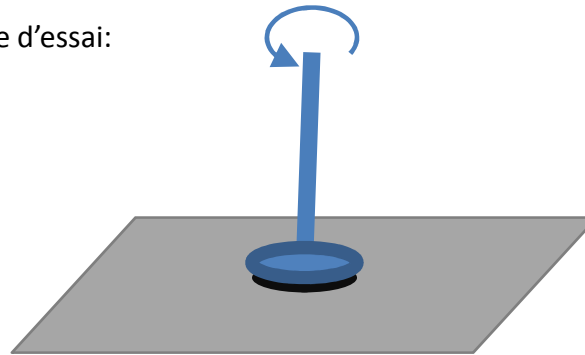
CHAP VIII: LES LIANTS

Viscosité Dynamique

Norme NF EN 14896 → Mesurer la viscosité des émulsions

- Principe: A une température donnée de 40°C, à l'aide d'un viscosimètre coaxial, on mesure un rapport entre un couple (un taux de cisaillement) appliqué à un mobile tournant normalisé.

- Méthode d'essai:

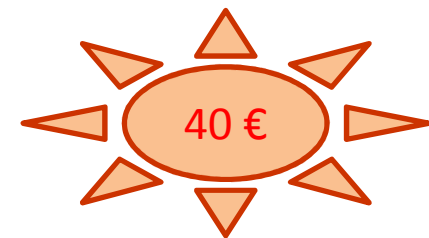


- 1) Echantillonnage= 1ml de d'émulsion
- 2) Chauffage à 40°C
- 3) Lancer le mobile tournant
- 4) Mesurer la résistance

Rq: durée de l'essai = 30s

Visco D = (Mpa .s)

- Spécifications: Pas de spécification
- Fréquence des essais: Fonction PAQ de l'usine
Fonction CCTP (1 par porteur)



CHAP VIII: LES LIANTS

Viscosimètre à Ecoulement

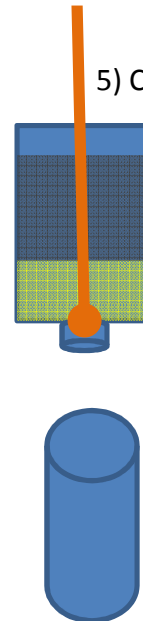
Norme NF EN 12846 → Mesurer la viscosité des émulsions

- Principe: Mesurer le temps (en secondes) requis par un volume (50ml) prescrit d'émulsion, pour s'écouler hors du récipient par un orifice déterminé (2 ou 4 ou 10 mm) avec une température déterminée (25°C, 40°C ou 50°C).

► Méthode d'essai:

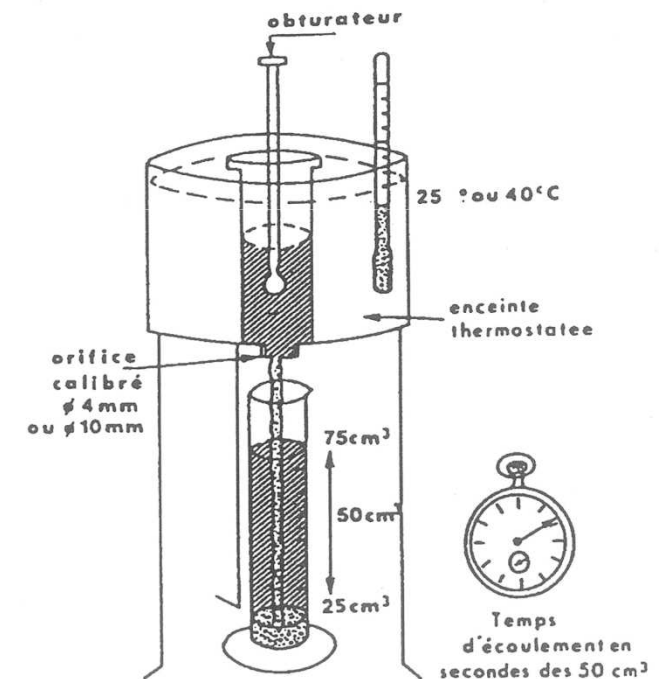
- 1) Préparation de 20ml d'huile minérale
- 2) Préparation de 75 ml d'émulsion
- 3) Chauffage à 40°C
- 4) Enlever le Bouchon

5) Chronométrer le temps d'écoulement de 50 ml d'émulsion

**Viscosité Engler = (s)**

- Spécifications: 4 classes à 2mm et 40 °C = >20, 15/45, 35/80, 70/130
 3 classes à 4mm et 40°C = 10/45, 30/70, 50/100
 1 classe à 4mm et 50°C = 25/50

- Fréquence des essais: Fonction PAQ de l'usine
 Fonction CCTP (1 par porteur)



CHAP VIII: LES LIANTS

Adhésivité Par essai d'immersion dans l'eau

Norme NF EN 13614 → Apprécier les propriétés d'adhésion des émulsions cationiques vis-à-vis de granulats de référence

- ▶ Principe: En France: 4 compositions minéralogiques de références: quartzite, diorite, calcaire et silex. Après mise en contact de l'émulsion et du granulat selon deux procédures spécifiques pour les émulsions stockables ou à stockage limité, on immerge les granulats dans l'eau et l'on évalue la résistance du liant au déplacement par l'eau.
Pour les émulsions stockables: adhésivité passive
Pour les émulsions à stockage limité: adhésivité active
- ▶ Méthode d'essai:

ADHESIVITE =(%) pourcentage de surface de granulat recouverte d'un film de bitume
(si le granulat est entièrement recouvert l'adhésivité =100
Si le bitume est séparé du granulat, l'adhésivité =0)



- ▶ Spécifications: 4 classes

Classes	0	1	2	3
Adhésivité (EN 13614)	NPD	TBR	≥ 75	≥ 90

NPD: No Performance Determined
TBR: To Be Reported= valeur à préciser non obligatoire

- ▶ Fréquence des essais: Fonction PAQ de l'usine
Fonction CCTP (1 par porteur)



CHAP VIII: LES LIANTS

Indice de Rupture des Emulsions Cationiques IREC Méthode des fines minérales

Norme NF EN 13075-1 → Apprécier la stabilité d'une émulsion en présence de fines siliceuses de références.

► Principe: Ajouter à rythme constant à 100g d'émulsion des fines siliceuses de référence jusqu'à rupture totale de l'émulsion.

► Méthode d'essai:

1) Préparation de 100g d'émulsion

2) Chauffage à 40°C

3) Brassage

4) Ajout à rythme constant de fines siliceuses



5) Peser la fine siliceuse

IREC = (g)

► Spécifications: 8 classes

Classes	0	1	2	3	4	5	6	7
IREC (EN 13075-1)	NPD	TBR	≤ 80	50-100	70-130	120-180	170-230	≥ 220

NPD: No Performance Determined
TBR: To Be Reported= valeur à préciser non obligatoire

Plus la quantité de fines ajoutée est forte = plus l'émulsion est considérée stable.

► Fréquence des essais: Fonction PAQ de l'usine
Fonction CCTP (1 par porteur)



CHAP VIII: LES LIANTS

► Classes des émulsions cationiques:

SPECIFICATIONS DE LA NORME EUROPEENNE EN 13808

Caractéristiques techniques	Norme	Unité	Classe 0	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6	Classe 7	Classe 8	Classe 9
Propriétés sensorielles	EN 1425	-	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	-
Polarité	EN 1430	% (m/m)	-	à reporter	positif	-	-	-	-	-	-	-
Indice de rupture	EN 13075-1	-	Pas de spécification	à reporter	≤80	50-100	70-130	120-180	170-230	≥220	-	-
Stabilité au ciment	EN 12848	g	Pas de spécification	à reporter	≤2	>2	-	-	-	-	-	-
Temps de mélange avec fines	EN 13075-2	s	Pas de spécification	à reporter	≥180	≥300	-	-	-	-	-	-
Teneur en liant (par teneur en eau)	EN 1428	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	38-42	48-52	53-57	58-62	63-67	65-69	67-71	≥70
Teneur en liant (par distillation)	EN 1431	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≥38	≥48	≥53	≥58	≥63	≥65	≥67	≥70
Pouvoir de pénétration	EN 12849	min	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	-
Viscosité par écoulement 2 mm à 40 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	≤20	15-45	35-80	70-130	-	-	-	-
Viscosité par écoulement 4 mm à 40 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	10-45	30-70	50-100	-
Viscosité par écoulement 4 mm à 50 °C	EN 12846	s	Pas de spécification	à reporter	-	-	-	-	-	-	-	25-50
Viscosité dynamique	prEN 14896	m Pa.s	Pas de spécification	à reporter	DV	-	-	-	-	-	-	-
Résidu sur tamis	EN 1429	0,5 mm	Pas de spécification	à reporter	≤0,1	≤0,2	≤0,5	-	-	-	-	-
		0,16 mm	Pas de spécification	à reporter	≤0,25	≤0,5	-	-	-	-	-	-
Résidu sur tamis après 7 jours de stockage à 0.5 mm	EN 1429	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤0,1	≤0,2	≤0,5	-	-	-	-	-
Tendance à la sédimentation après 7 jours de stockage	EN 12847	% (m/m)	Pas de spécification	à reporter	≤5	≤10	-	-	-	-	-	-
Adhésivité (par immersion dans l'eau)	EN 13614	%	Pas de spécification	à reporter	≥75	≥90	-	-	-	-	-	-

CHAP VIII: LES LIANTS

► Recommandations Françaises:

Chaque pays Européen édit un document national d'application pour chaque emploi, précisant les exigences des spécifications définies à partir des tableaux de la norme EN

13808

		C60B2 ou C60B3 ou C60B4	C65B2 ou C65B3 ou C65B4	C69B2 ou C69B3 ou C69B4	C60B5	C65B5	C69B5	C55B6	C60B6	C65B6	C55B7	C60B7
<u>Teneur en liant (%)</u>		58-62 Classe 5	63-67 Classe 6	67-71 Classe 8	58-62 Classe 5	63-67 Classe 6	67-71 Classe 8	53-57 Classe 4	58-62 Classe 5	63-67 Classe 6	53-57 Classe 4	58-62 Classe 5
Viscosité	STV 40 °C 2 mm (s)	15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4	35-80 Classe 4	70-130 Classe 5 ou NPD Classe 0	15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4 ou 70-130 Classe 5	35-80 Classe 4	70-130 Classe 5 ou NPD classe 0	≤ 20 Classe 2 ou 15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4	15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4	35-80 Classe 4	≤ 20 Classe 2 ou 15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4	15-45 Classe 3 ou 35-80 Classe 4 ou 70-130 Classe 5
	STV 40 °C 4 mm (s)			10-45 Classe 6 ou 30-70 Classe 7 ou 50/100 Classe 8			10-45 Classe 6 ou 30-70 Classe 7 ou 50/100 Classe 8					
Granulo	Résidu à 0,5mm (%)	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2	≤ 0,1 Classe 2
	Particules entre 0,5 et 0,16 mm (%)	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2	≤ 0,25 Classe 2
	Stockabilité (7j) résidu tamis 0,5 mm (%)	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3	≤ 0,2 Classe 3
Adhésivité	Adhésivité émulsion stockage limité 1 ^{re} partie	≥ 90 Classe3	≥ 90 Classe3	≥ 90 Classe3	≥ 90 Classe3	≥ 90 Classe3	≥ 90 Classe3	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0
	Adhésivité émulsion stockage limité 2 ^e partie	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0
	Adhésivité émulsion stockable	NPD Classe 0	NPD Classe 0	NPD Classe 0	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	≥ 75 Classe2	NPD Classe 0	NPD Classe 0
Rupture	<u>UREC</u>	≤ 80 Classe 2 ou 50-100 Classe 3 ou 70-130 Classe 4	≤ 80 Classe 2 ou 50-100 Classe 3 ou 70-130 Classe 4	≤ 80 Classe 2 ou 50-100 Classe 3 ou 70-130 Classe 4	120-180 Classe 5	120-180 Classe 5	120-180 Classe 5	170-230 Classe 6	170-230 Classe 6	170-230 Classe 6	≥ 220 Classe 7	≥ 220 Classe 7

LIANTS DE GASCogne	PLAN D'ASSURANCE QUALITE TYPE C	Version : 2.1 Date de mise à jour : 10/01/08
--------------------	------------------------------------	---

U.P.S. M2 UE1 2011/2012

CHAP VIII: LES LIANTS

USINE DE LIANTS

► Exemple de P.A.Q. de Fournisseur



PLAN D'ASSURANCE QUALITE

LIANTS DE GASCogne	PLAN D'ASSURANCE QUALITE TYPE C	Version : 2.1 Date de mise à jour : 10/01/08
--------------------	------------------------------------	---

XI - PLAN DE CONTROLE DES PRODUITS FINIS.

PRODUITS	CONTROLE INTERNE				CONTROLE EXTERNE	
	Prélèvement conservatoire	durée	Essai	Fréquence	Essai	Fréquence
<u>EMULSIONS</u>	-	-	Température Indicateurs Teneur en eau Viscosité Refus à 630 µ Bilan des consommations	En continu 1/200 t 1/200 t 1/200 t Journalière	Teneur en eau Viscosité <u>Homogénéité</u> pH IREC SMS 210 Granulométrie	1/800 t 1/800 t 1/800 t 1/800 t 1/800 t 1/800 t 1/1600 t
SAVONS			Température pH	Par bac 1/semaine	pH Titrimétrie	1/1000 t 1/1000 t
LIANTS ANHYDRES	1/100 t.	6 mois	Température Viscosité Bilan des consommations	En continu 1/100 t Journalière	Viscosité Densité Distillation	1/500 t 1/500 t 1/2000 t

CHAP VIII: LES LIANTS

► Contrôles des livraisons d'émulsion : Bon de Livraison

8771711

LES LIANTS DE GASCOGNE
GIE au capital de 15.000,00 EUR
R.C..... : AUCH
No SIRET : 384682092 00018
A.P.E.... : 2416
ZONE INDUSTRIELLE D'ENGACHIES

Fournisseur

LES LIANTS DE GASCOGNE
ZONE INDUSTRIELLE D'ENGACHIES
5 RUE PAUL LANGEVIN
32000 AUCH
TEL : 05.62.63.25.19
TVA IC.. : TVA CEE : FR 40 384 682 092

32000 AUCH
TEL..... : 05.62.63.12.04

B O N D E L I V R A I S O N B.L N° LLGE00011005

DATE	HEURE	VÉHICULE	BRUT	TARE	NET
14/11/2008	09:54:33	3376MA32			
14/11/2008	11:30:41	3376MA32	40,640	15,440	25,200 TC
TRANS. : LIBARD / ETS LIBARDS CLIENT : ENTREPRISE MALET CHANT. : SAP/SABLIERE PRADIE			DESTI. : SAP		
PRODUIT : EAE65 EMULSION ACIDE ENROBAGE 65%			PROVENANCE: FABRICATION EN DIRECT		
Prestation Libellé TPSAP TRANSPORT SABLIERES			Uni TO	Quantité 25,200	
CLIENT : DMALSU / ENTREPRISE MALET / TOULOUSE SUD 30, AVENUE DE LARRIEU 31081 TOULOUSE					
SIGNATURES			214.		
Chauffeur			Client		

L'Acheteur a pris connaissance des conditions générales de vente figurant au verso du présent document et déclare les avoir acceptées.

CHAP VIII: LES LIANTS

► F.T.P.: P.A.Q. du Fournisseur

Fournisseur

	PLAN D'ASSURANCE QUALITE TYPE C	Version : 2.1 Date de mise à jour : 10/01/08
---	------------------------------------	---

Classe	ECM
Nom du produit	EAE 65

Produit

Type de produit	Emulsion d'enrobage
-----------------	---------------------

Caractéristiques	Methodes	Valeurs
Teneur en eau	NF EN 1428	34 - 36
Particules > 0,500 mm	NF EN 1429	< 0,1
0,16 < Particules < 0,500 mm	NF EN 1429	< 0,25
pH		1 à 5
IREC	NF T 66 017	80 à 140
Pseudo-visco STV 4mm 25°C	NF T 66 020	-
Pseudo-viscosité Engler		> 6
Adhésivité d'orite partie 1	NF T 66 018	≥ 90
Adhésivité d'orite partie 2	NF T 66 018	≥ 75
Charge des particules	NF T 66 021	positive
Stabilité au stockage	NF T 66 022	< 5

CHAP VIII: LES LIANTS

► Exemple 1 de CCTP:

MARCHES PUBLICS DE TRAVAUX

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
DIRECTION DE LA VOIRIE ET DES INFRASTRUCTURES
Service des Etudes Ouest
1, Boulevard de la Marquette
31090 TOULOUSE Cedex 9**

**RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
DU P.R 25+842 AU P.R 29+830 -SECTIONS 2 & 3
COMMUNES DE FONTENILLES-PUJAUDRAN-LEGUEVIN**

**CONSEIL GENERAL DE LA HAUTE-GARONNE
Cahier des Clauses Techniques Particulières**

CHAP VIII: LES LIANTS

*RD37- DEVIATION DE FONTENILLES
du P.R 25+842 au P.R 29+830 -Sections 2 & 3
Communes de Fontenilles-Pujaudran-Leguevin*

► Exemple de CCTP (suite):

4.02.6 Liants hydrocarbonés

4.02.6.2 Emulsion (cas des graves émulsion)

L'émulsion est fournie par l'entrepreneur.

4.02.6.2.1 *Nature et caractéristiques*

L'entrepreneur doit fournir la fiche technique de caractérisation et d'utilisation, lorsqu'elle existe, de l'émulsion qu'il propose d'utiliser ; lorsque la fiche technique n'existe pas, l'entrepreneur doit fournir :

- ➡ • la nature de l'émulsion (cationique, anionique, non ionique,...),
- ➡ • la classe du bitume de base,
- ➡ • la teneur en eau,
- ➡ • la pseudo-viscosité de l'émulsion à 25°C,
- ➡ • l'indice de rupture de l'émulsion,
- ➡ • l'adhésivité de l'émulsion,
- ➡ • le potentiel hydrogène (PH).

4.02.6.2.2 *Mode de stockage de l'émulsion*

L'émulsion est livrée en vrac sur le lieu de fabrication et stockée dans une ou plusieurs citernes de capacité totale au moins égale ou supérieure à 20 000 litres.

CHAP VIII: LES LIANTS

► Exemple de CCTP:



Direction Opérationnelle de l'Infrastructure Ouest

Pôle Ingénierie

Europarc - 22 avenue Léonard de Vinci

33608 PESSAC CEDEX

Tél. 08 20 20 20 48 / fax 05 57 89 00 02

A64
DRE BIARRITZ
District de St Gaudens

REFECTION DES CHAUSSEES
ENTRE LES PK 199 ET 217

CHAP VIII: LES LIANTS ► Exemple de CCTP (suite):

ARTICLE 6 SPÉCIFICATION DES CONSTITUANTS6.5 LIANTS HYDROCARBONÉS

Pour les BBTM 0/10 et BBTM 0/14, seul un bitume modifié par ajouts de polymères est utilisé. De plus, l'intervalle de plasticité (TBA – Fraas) sera supérieur ou égal à 65°C. Le liant pour les couches d'accrochage sera une émulsion de bitume modifié.

L'Entrepreneur fournira la fiche technique des liants proposés faisant état des caractéristiques d'usage des propriétés physico-mécaniques et des règles d'utilisation.

Il doit à cet effet :

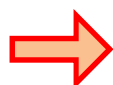
- demander au fournisseur la communication des résultats de son contrôle interne défini par le fascicule 24 du CCTG,
- effectuer à chaque dépotage 3 prélèvements dans des récipients étanches,
 - * un, destinés au laboratoire de l'entreprise, afin de procéder aux essais suivants (avec les fréquences définies au Fascicule B :
 - pour les bitumes :
 - . essai viscosimètre (à réaliser avant le dépotage avec fourniture des résultats au plus tard une heure après)
 - . température bille et anneau,
 - . Fraass,
 - . densité,
 - pour les émulsions de bitume :
 - . identification,
 - . teneur en eau,
 - . PH,
 - . vitesse de rupture

CHAP VIII: LES LIANTS

► Exemple 3 de CCTP:

MARCHE PUBLIC DE FOURNITURES COURANTES
CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES COMMUN A TOUS LES LOTS (CCTP)
<i>Pouvoir adjudicateur</i> MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE, DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE
<i>Représentant du Pouvoir Adjudicateur</i> Monsieur le directeur départemental de l'Équipement
<i>Objet du marché</i> FOURNITURE DE MATÉRIAUX BITUMINEUX A FROID DESTINÉS AUX CHANTIERS DE MISE EN ŒUVRE DU PARC ROUTIER DE LA DDE 31
<i>Remise des offres</i> Date limite de réception : _____

CHAP VIII: LES LIANTS ► Exemple de CCTP (suite):

**CHAPITRE 2 – GRAVE EMULSION DE REPROFILAGE ET DE RECHARGEMENT****ARTICLE 1 – LIANTS POUR GRAVE EMULSION**

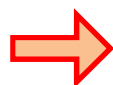
Le liant utilisé sera une émulsion cationique lente du type ECL 65% ou ECL 60% conforme à la norme NFT 65011 à base de bitume 70/100 ou 160/220 légèrement fluxé dans le cas de l'utilisation en grave-émulsion de reprofilage.

Le PH sera supérieur ou égal à 2,5.

Le fluxage maximum de bitume de base sera inférieur à 3% d'huile de pétrole ou de fluxant issu des bio-ressources.

ARTICLE 2 - CONTROLES

Le contrôle de fourniture du liant conformément aux stipulations de l'article 3 du Chapitre 1 de la deuxième partie du fascicule 24 du C.C.T.G. sera assuré par les soins de l'Entrepreneur au travers du P.A.Q.

**CHAPITRE 4 – BETON BITUMINEUX A FROID 0/10****ARTICLE 1 – LIANTS POUR BETON BITUMINEUX**

Le liant utilisé sera une émulsion cationique lente du type ECL 65% ou ECL 60% conforme à la norme NFT 65011 à base de bitume 70/100 ou 160/220.

Le PH sera supérieur ou égal à 2,5.

ARTICLE 2 - CONTROLES

Le contrôle de fourniture du liant conformément aux stipulations de l'article 3 du Chapitre 1 de la deuxième partie du fascicule 24 du C.C.T.G. sera assuré par les soins de l'Entrepreneur au travers du P.A.Q..

CHAP VIII: LES LIANTS

Hydrocarbonés
Hydrauliques:

3) Les Liants Hydrauliques:

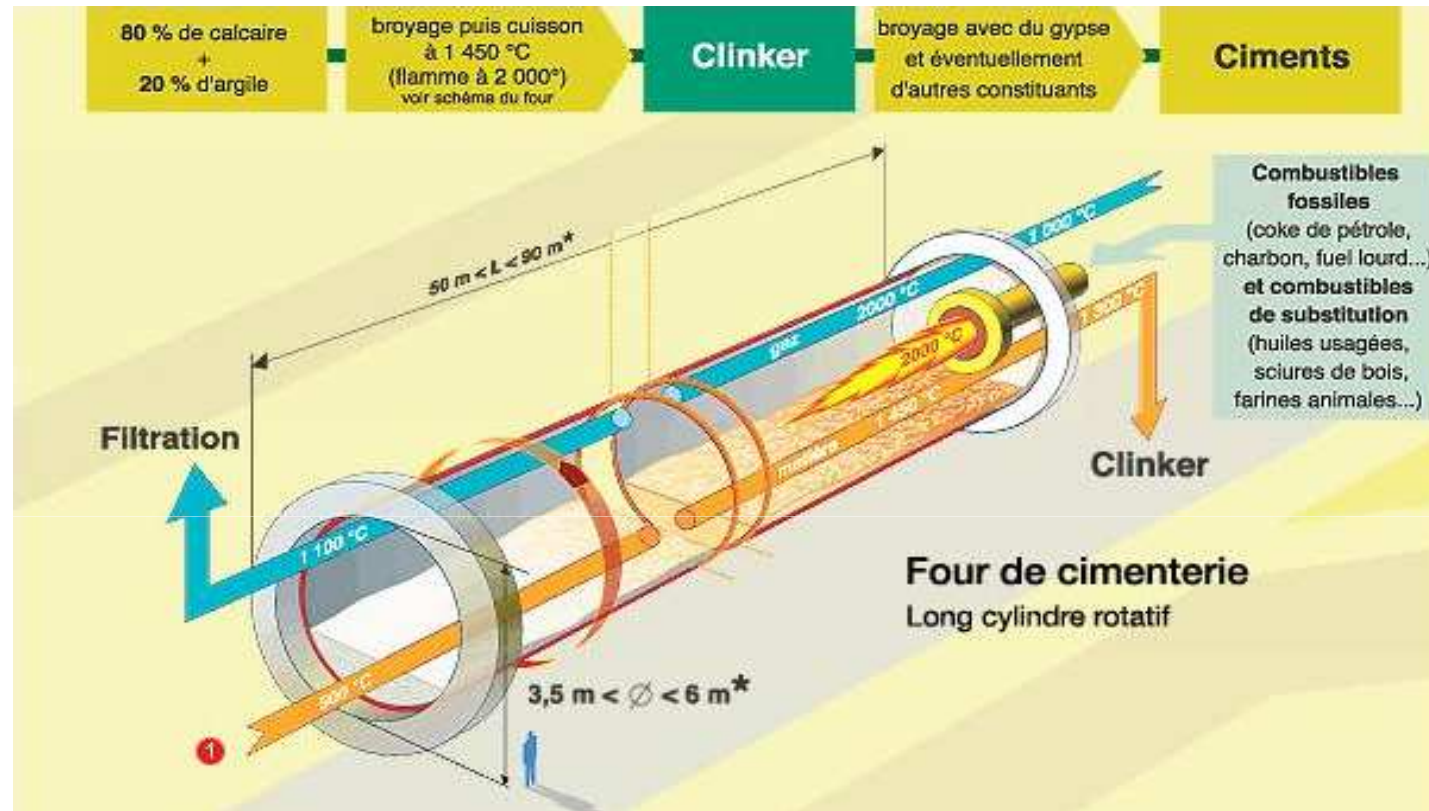
- ▶ Application des liants Hydrauliques pour la construction routière=
 - Peu de construction de chaussée Béton en France de puis 1980
 - Maintien de la technicité= enjeux national
 - reste:
 - Accès péage autoroutier
 - Parking avions
 - Parking camions pour industrie
 - Trottoirs piétons
- ▶ Définition= - Liant qui « fait prise » en présence d'eau
 - Se présente sous forme de poudre fine
- ▶ 2 types de Liants: - liant hydraulique = 3 étapes

! Température > 5°C	Démarrage de la prise: (24h) précipitation sous forme de gel Prise hydraulique: (1/2 sem) développement de la cristallisation des gel Durcissement: (4 semaines) valide la traficabilité
---------------------	--
- liant pouzzolamique= besoin de chaux → même comportement qu'un liant hydraulique
- ▶ Liants hydrauliques utilisés en construction routière=
 - Ciment
 - Laitier granulé brut: LG α
 - Laitier granulé prébroyé: LGP
 - Laitier bouleté: LB
 - Cendre volante pouzzolamique: CV
 - Cendre volante hydraulique: CVH
 - Pouzzolame: Z

CHAP VIII: LES LIANTS

Hydrocarbonés
Hydrauliques:

- Le ciment: → Obtenu par cuisson de calcaire + argile ⇒ silico-aluminates et ferro-aluminates de calcium anhydre



- Ciment pour construction routière= ciment au durcissement lent et progressif
 - ⇒ maniabilité suffisante à la mise en œuvre (8h) + performances mécaniques à long terme
- 2 types de Ciment :
 - Ciment Portland Pur + ajouts (laitiers, cendres volantes, pouzzolanes, filler calcaire...)
 - Ciment à haute teneur en laitier et à grosse mouture
- Retardateurs de prise :
 - Sous forme liquide, incorporés à l'eau de malaxage
 - Dosage faible: 140g / tonne de GC

CHAP VIII: LES LIANTS

Hydrocarbonés
Hydrauliques:

► Le laitier granulé brut: LG α

- Laitier = Résidus sous forme liquide dans le bas des hauts fourneaux de sidérurgie:
Minerai de fer + combustible (coke + fuel) + charges minérales \Rightarrow fonte + Laitier
Laitier = gangue des minerais + cendres de combustibles
- Composition chimique = chaux + silice + alumine et magnésie
 \Rightarrow Proche des ciments portland
- Température de sortie des fourneaux:
Varie de 1380°C à 1600°C suivant la nature du minerai et la qualité de la fonte recherchée
- Evacuation du laitier liquide par un trou de coulée
- 3 méthodes de refroidissement:
 - Lentement à l'air \Rightarrow **laitier cristallisé** apte au concassage
 - Brutale dans un courant d'eau \Rightarrow **laitier vitrifié ou « granulé »** utilisable comme liant hydraulique
 - Rapidement dans une nappe d'eau et un courant d'air \Rightarrow **laitier « bouleté »** : grains vitrifiés
- Processus de prise:
 - Laitiers + eau basique (eau + chaux) \Rightarrow dissolution puis cristallisation
 \Rightarrow système cristallisé hydraté autour des granulat = maillage
 - importance de la structure superficielle des granulats:
Fixation difficile avec granulats lisses: silex
Fixation facile avec granulats anfractueux : calcaire
 - importance de l'eau dans le processus de prise
 - importance de la répartition des granulés de laitier dans le processus de prise
- Dimension des grains de laitiers:
 - ↘ Dimension des grains de laitier \Rightarrow ↗ vitesse de dissolution \Rightarrow ↗ vitesse de prise
 - Classe 2 = réactivité α 20 - α 40 (teneur en eau < 15%)
 - Classe 3 = réactivité α 40 - α 60 (teneur en eau < 20%)

CHAP VIII: LES LIANTS

Hydrocarbonés
Hydrauliques:

► Laitier granulé prébroyé: LGP

→ Laitier granulé brut 0/4mm broyé en sable 0/2mm

⇒ ⚡ % de fines = 10%

⇒ ⚡ réactivité Ex: laitier α 20/40 → Laitier prébroyé α > 60

⇒ traitement des matériaux difficiles: sables, limons

⇒ ⚡ dosage

► Laitier bouleté: LB

→ Usine de Fos sur Mer

→ Granulation mixte air-eau:

→ Utilisation de la fraction 0/3mm: Cisaillement par jets d'eau + Centrifugation dans l'air

- Brut pour la fabrication du ciment

- Brut en liant des graves ou sables laitiers: dosage à 15%

- Broyé en liant des graves ou sables laitiers: dosage à 10%

- en sable pour béton hydraulique

► Cendre volante pouzzolamique: CV

→ Issus de la filtration des cheminées des centrales thermiques fonctionnant au charbon

→ Poudre grise (comparable au ciment)= grains fin ($>50\mu$) arrondis, vitrifiés, poreux et fiables

→ Composition= silice + alumine

→ Avec ajout d'eau + chaux (1/3 à 1/5)= prise comparable au ciment

⇒ formation de silico-aluminates de calcium hydratés

► Cendre volante hydraulique: CH

→ Usine de Gardanne (Var) et Arjuzanx (Landes)

→ Issus de la combustion de Lignite pulvérisé

→ Comparable au ciment dans la forme et le comportement

► Pouzzolanes: Z

→ Cendres volcaniques naturelles

→ Broyés et criblés en sable 0/3 ou 0/5mm avec 12% de fines

→ Avec 20 % chaux: liant à prise lente