BRGM

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

mémento roches et minéraux industriels

GRANULATS

septembre 1993
R 37826

Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur

Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM

BRGM

L'ENTREPRISE AU SERVICE DE LA TERRE

mémento roches et minéraux industriels

GRANULATS

L. GALTIER

septembre 1993
R 37826

Ministère de l'Industrie,
des Postes et Télécommunications
et du Commerce extérieur

Étude réalisée dans le cadre des
actions de Service public du BRGM

BRGM
Service Géologique National
Département Géologie
B.P. 6009 - 45060 ORLÉANS CEDEX 2 - France
Tél. : (33) 38.64.34.34

RESUME

Selon la norme NFP 18-101, le terme **granulat** réunit sous cette appellation une gamme de produits constitués par "un ensemble de grains minéraux (inertes) de dimensions comprises entre 0 et 80 mm destinés notamment à la confection des mortiers, des bétons, des couches de fondations de base et de roulement des chaussées et des voies ferrées".

Le granulat est la ressource la plus consommée après l'eau .

La France a produit, en 1992, 370 millions de tonnes de granulats issus de roches de nature pétrographique très variée. Ils représentent environ 80 % du tonnage total des matériaux de carrière extrait sur le territoire national.

Matériaux pondéreux et bon marché, les ressources en granulats sont d'une manière générale largement répandues dans les couches superficielles de l'écorce terrestre et sont par conséquent exploitées à partir de multiples points d'extraction pour répondre le plus souvent à des besoins essentiellement locaux.

Cependant, certaines régions françaises connaissent des difficultés croissantes d'approvisionnement pour de multiples raisons parmi lesquelles :

⇒ épuisement des ressources actuellement exploitées

⇒ renforcement des contraintes environnementales et de réaménagement appliquées aux exploitations actuelles

⇒ "gel" de tout ou partie de la ressource disponible.

Les exportations annuelles de granulats, toutes classes confondues, sont à 15 Mt, sont supérieures de 50 % aux importations.

La recherche de substituts, terrestres et marins, issus parfois du recyclage est encouragée de même qu'est préconisée une meilleure optimisation de l'utilisation de chaque type de matériaux.

La nouvelle loi relative aux carrières (loi N°93-8 du 4 janvier 1993) précise dans son article 16-3 que le schéma départemental des carrières mis en place doit à l'avenir définir les conditions générales d'implantation des carrières dans chaque département, à l'issue d'une très large concertation.

SOMMAIRE

1. GEOLOGIE 13

1.1. Classement des granulats par granularité 13

1.2. Classement des granulats par densite 13

1.3. Classement des granulats par origine et mode de préparation 14

1.4. Classement par nature géologique de gisement 14

1.4.1. Les formations détritiques meubles 14
1.4.2. Les formations de roches massives 19

1.5. Critères géologiques d'exploitabilite 19

2. PRINCIPALES TECHNIQUES APPLIQUEES A LA RECHERCHE ET A L'EXPLOITATION DES GRANULATS 23

2.1. Méthodes de prospection 23

2.1.1. Gisement de roches massives 29
2.1.2. Gisements terrestres de roches meubles 29
2.1.3. Gisements marins de sédiments meubles 31

2.2. Prix des prospections 32

3. LES ESSAIS DE GRANULATS 35

3.1. Contrôle de granularite 35

3.2. Test d'équivalent de sable (ES) 37

3.3. Essai au bleu de méthylene (VB) 39

3.4. Essai los angeles (LA) 39

3.5. Essai micro deval en présence d'eau (MDE) 39

3.6. Recherche des substances polluant les granulats 40

3.7. Principaux autres essais 40

4. UTILISATIONS ET SPECIFICATIONS 43

4.1. Utilisations 43

4.1.1. Emplois dans le béton 43
4.1.2. Emplois dans les mortiers 43
4.1.3. Emplois en viabilité 43

4.2. Spécifications 47

4.2.1. Granulats pour bétons hydrauliques et chaussées routières 47
4.2.2. Granulats pour ouvrages SNCF 61

5. METHODES D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENT 65

5.1. Techniques 65
5.2. Coût d'exploitatiion 66

6. DONNEES ECONOMIQUES 67

6.1. France 67

6.1.1. Production globale 67
6.1.2. Marché 71
6.1.3. Structure de la Profession 73
6.1.4 - Consommation des granulats 77
6.1.5 - Activité extractive régionale 81

6.2. Etranger, Commerce Extérieur 93

6.3. Prix des granulats 94

7. MATERIAUX DE SUBSTITUTION 95

7.1. Définitions 95

7.2. Sous-produits de carrière 95

7.3. Calcaires tendres 97

7.4. Sables fins 97

7.5. Granulats de laitiers 97

7.6. Schistes houillers 99

7.7. Cendres volantes 102

7.8. Granulats légers ou matériaux expansés 107

7.9. Granulats de matériaux de démolition 107

7.10. Granulats marins 111

7.10.1. Etat des demandes de permis d'exploitation 111
7.10.2. Octroi de permis d'exploitation de granulats marins 111
7.10.3. Marché français des granulats marins 114
7.10.4. Granulats marins en Europe 114
7.10.5. Granulats marins hors Europe 115

8. CADRE JURIDIQUE 117

8.1. Situation antérieure 117

8.1.1. Carrières terrestres 117
8.1.2. Exploitations en mer 117

8.2. Situation actuelle 119

8.2.1. Carrières terrestres 119

BIBLIOGRAPHIE 123

LISTE DES ANNEXES 8

LISTE DES CARTES 8

LISTE DES FICHES 9

LISTE DES FIGURES ET SCHEMA 9

LISTE DES TABLEAUX 10

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Norme NF P 18-301

Annexe 2 - Norme NF P 18-321

Annexe 3 - Loi n° 93-8 du 4 janvier 1993 relative aux carrières

LISTE DES CARTES

Carte 1 - Carte géologique de la France

Carte 2 - Carte des sédiments meubles superficiels de la Manche (partie relative à l'ouest Cotentin) à l'échelle du 1/500 000

Carte 3 - Production départementale française de granulats alluvionnaires

Carte 4 - Flux de granulats en Europe

Carte 5 - France métropolitaine : répartition géographique des gisements de schistes

Carte 6 - France métropolitaine : Répartition géographique des gisements de cendres

Carte 7 - France métropolitaine : répartition géographique des centrales thermiques productrices de cendres

Carte 8 - France métropolitaine : position des permis d'exploitation de granulats marins

Carte 9 - Départements de la France métropolitaine concernés par les zones spéciales 109 appliquées aux sables et graviers

LISTE DES FICHES

Fiche A.1. Graves non traitées

Fiche A.2. Graves traitées aux liants hydrauliques

Fiche A.3. Graves traitées aux liants hydrauliques

Fiche B.1. Bétons bitumineux

Fiche B.2. Enduits superficiels

Fiche B.3. Bétons bitumineux cloutés

Fiche C. Chaussées en béton hydraulique

LISTE DES FIGURES ET SCHEMA

Figure 1 - Ballast SNCF : détermination du coefficient de dureté en fonction des coefficients "Los Angelès" et "Deval Humide"

Figure 2 - Evolution de la production française de granulats, par nature de granulats, en Mt, entre 1970 et 1992

Figure 3 - Consommation française de granulats par nature d'ouvrages, exprimée en Mt, en 1992

Figure 4 - Consommation française de granulats, par nature d'emplois, exprimée en Mt, en 1992

Figure 5 - France : évolution des exportations et des importations de granulats entre 1978 et 1992

Figure 6 - France : évolution des exportations de granulats par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992

Figure 7 - France : évolution des importations de granulats par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992

Schéma 1 - Schéma simplifié de production de cendres volantes de houille

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Principales caractéristiques physiques des roches et minerais

Tableau 2 - Relations entre l'état physique des roches et les paramètres résistivité et vitesse sismique

Tableau 3 - Principales techniques de prélèvements et de sondages utilisées pour la prospection de gisements de sédiments meubles à terre et en mer

Tableau 4 - Schéma général des travaux géologiques nécessaires à la reconnaissance d'un gisement de granulats à terre et en mer

Tableau 5 - Principales normes françaises appliquées aux granulats

Tableau 6 - Caractéristiques moyennes des principaux types de roches

Tableau 7 - Principales substances polluant les granulats

Tableau 8 - Résultats de quelques tests (MDE, LA, CPA, etc.) permettant de qualifier les granulats d'origines diverses

Tableau 9 - Principaux matériaux composés faisant appel essentiellement ou exclusivement aux granulats

Tableau 10 - Propriétés à retenir en fonction de l'emploi des granulats

Tableau 11 - Contrôle de granularité sur granulats pour ouvrages SNCF

Tableau 12 - Contrôle du test des "aiguilles" sur granulats pour ballast SNCF

Tableau 13 - Contrôle du test des "plats" sur granulats pour ballast SNCF

Tableau 14 - Principales caractéristiques des matériaux autres que le remblai courant et le ballast utlisé par la SNCF pour ses ouvrages TGV

Tableau 15 - Principaux matériels employés pour l'exploitation des carrières

Tableau 16 - Evolution de la production française de granulats, en Mt, entre 1950 et 1992

Tableau 17 - Evolution de la production française de granulats, par nature de granulats, en pourcentage, entre 1970 et 1992

Tableau 18 - Production totale de sables et graviers d'alluvions, de granulats calcaires et de granulats éruptifs pour les années 1991 et 1992

Tableau 19 - Données générales sur la profession des producteurs de granulats entre 1977 et 1992

Tableau 20 - Données statistiques, par classe de production, sur les entreprises productrices de granulats en 1992

Tableau 21 - Principaux exploitants français de granulats en 1992

Tableau 22 - Consommation de granulats en Mt entre 1981 et 1992

Tableau 23 - L'industrie des granulats dans le Bassin Seine-Normandie

Tableau 24 - Evolution des productions régionales de granulats, exprimées en Mt, entre 1973 et 1992

Tableau 25 - Production française de granulats, exprimée en Mt, par départements, en 1992

Tableau 26 - Production de granulats en Europe en 1988, exprimée en Mt et en t/hab.

Tableau 27 - France : évolution des exportations et des importations de granulats, exprimée en Mt, entre 1978 et 1992

Tableau 28 - France : évolution des exportations et des importations de granulats par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992

Tableau 29 - Exemples d'utilisation des roches tendres ou meubles et de déchets de carrière

Tableau 30 - Quantité de schistes utilisés en France entre 1959 et 1990

Tableau 31 - Caractéristiques chimiques de cendres volantes de houille comparées à d'autres produits minéraux utiles

Tableau 32 - Pouvoir pouzzolanique des cendres

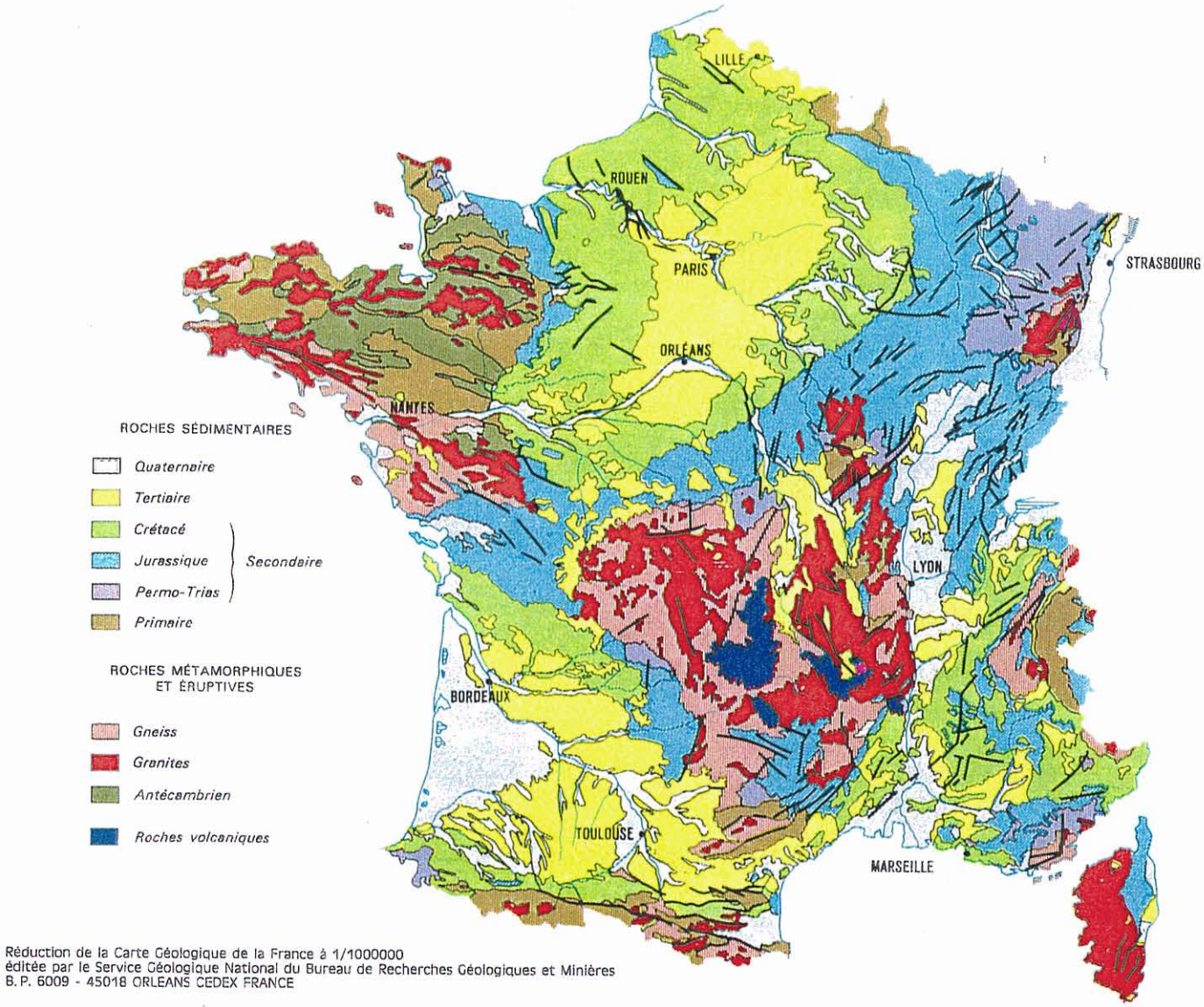
Tableau 33 - Les différents granulats légers

Tableau 34 - Evolution de la production française de granulats issus de matériaux de démolition entre 1987 et 1990

Tableau 35 - Répartition de la production française de granulats issus de matériaux de démolition en 1991

Tableau 36 - Production française de granulats marins entre 1975 et 1991

Tableau 37 - Extraction de granulats marins sur le domaine public maritime en 1991



Réduction de la Carte Géologique de la France à 1/1000000
éditée par le Service Géologique National du Bureau de Recherches Géologiques et Minières
B.P. 6009 - 45018 ORLEANS CEDEX FRANCE

Carte 1 - Carte géologique de la France

1. GEOLOGIE

Les formations géologiques susceptibles de recéler des gisements de roche aptes à la confection de granulats sont extrêmement multiples compte tenu notamment de la diversité des produits naturels ou artificiels regroupés sous cette appellation technique.

Les granulats sont généralement classés selon différents critères qui sont principalement : la granularité, la masse volumique, l'origine et le mode de préparation.

Parallèlement, compte tenu de l'organisation de la profession des producteurs de granulats, on distingue généralement ces matériaux en fonction de critères géologiques simples liés à la nature des gisements :

- les gisements situés dans les formations détritiques meubles : granulats alluvionnaires ;

- les gisements de roches massives eux-mêmes habituellement divisés par la profession en gisements de granulats calcaires et gisements de granulats d'origine éruptive ou métamorphique.

Géologiquement parlant, la France est suffisammment variée, comme le montre la carte 1, pour offrir les ressources en granulats nécessaires aux différentes utilisations.

1.1. CLASSEMENT DES GRANULATS PAR GRANULARITE

La granularité ou distribution dimensionnelle des grains est définie par la norme NF P 18-101 qui distingue par granularité croissante :

- les fines (dimensions inférieures ou égales à 0,08 mm soit 80 µm)
- les sables (plus petite dimension : d = 0,08 mm)
  (plus grande dimension : D = 6,3 mm)
- les gravillons (d = 1 mm)
  (D = 31,5 mm)
- les cailloux (d = 20 mm)
  (D = 80 mm)
- les graves (d = 6,3 mm)
  (D = 80 mm)
- les enrochements (très variable).

Les coupures granulométriques entre les différents produits ne sont pas rigoureuses ; elles peuvent varier selon les techniques d'utilisation et les origines de production.

1.2. CLASSEMENT DES GRANULATS PAR DENSITE
(selon les normes NF P 18-309, NF P 18-554 et NF P18-555)

D'après leur masse volumique les granulats sont dits :
- granulats légers lorsque la masse volumique réelle du grain est inférieure à 2 g/cm^3 ;
- granulats courants lorsqu'elle est comprise entre 2 et 3 g/cm^3 ;
- granulats lourds lorsqu'elle est supérieure à 3 g/cm^3.

1.3. CLASSEMENT DES GRANULATS PAR ORIGINE ET MODE DE PREPARATION

Les granulats peuvent être classés en :

- produits naturels, lorsqu'ils n'ont subi aucune opération de transformation autre que mécanique ;
- produits artificiels dans les autres cas.

Les granulats naturels peuvent être préparés par une succession d'opérations mécaniques : concassage, criblage, lavage, etc.

Le mode de préparation des granulats artificiels doit être précisé dans la désignation du produit (argile expansée, laitier bouleté, laitier expansé, etc.).

NB : Ce document porte essentiellement sur les granulats naturels. Le chapitre 7 de cette monographie sera plus particulièrement consacré aux granulats artificiels qui entrent à ce titre dans la catégorie des matériaux de substitution.

1.4. CLASSEMENT PAR NATURE GEOLOGIQUE DE GISEMENT

Les gisements de granulats naturels sont situés soit dans des formations détritiques meubles, soit dans des formations de roches massives.

1.4.1. Les formations détritiques meubles

Les matériaux issus de roches détritiques meubles présentent l'avantage de ne nécessiter en général qu'un simple lavage pour élimination des fines, un criblage pour tri granulométrique et parfois un concassage pour les plus gros éléments (cailloux).

En fonction des besoins, les utilisateurs peuvent exiger :

- soit des matériaux roulés ;
- soit des matériaux concassés ;
- soit un mélange roulés-concassés.

Pour des usages spéciaux ou pour corriger des courbes granulométriques déficitaires en éléments fins, les sables peuvent subir un broyage complémentaire.

1.4.1.1. les alluvions des cours d'eau

L'importance des reliefs montagneux sur le territoire français a entraîné le développement d'un réseau hydrographique important. Les phénomènes d'érosion et de transport ont facilité des dépôts considérables dans les lits des rivières, dans les estuaires ou sur le plateau continental marin. Zones à forte consommation de matériaux, les vallées offrent en outre d'intéréssantes possibilités économiques de transport par voie d'eau.

Bien que cet avantage tende à s'atténuer sous l'influence conjuguée de la hausse rapide des droits fonciers et des charges inhérentes aux contraintes d'environnement, rappelons que les alluvions

constituent actuellement, bien qu'en baisse, la principale source d'approvisionnement en granulats.

D'âge principalement quaternaire, les alluvions peuvent être prélevées soit directement dans le lit vif (alluvions actuelles du lit mineur), soit dans leur lit fossile (alluvions récentes ou anciennes du lit majeur ou terrasses).

Le plus souvent, les éléments détritiques, émoussés pendant leur transport sur parfois de très longues distances, sont constitués de grains assez fins et arrondis.

A l'intérieur des formations d'origine alluvionnaire, les matériaux sont également classés par les professionnels en 3 catégories qui reflètent le **chimisme de la roche** :

- les graves siliceuses ;
- les graves silico-calcaires ;
- les alluvions calcaires.

Les graves siliceuses ne contiennent pas (ou peu) d'éléments calcaires mais ne sont pas homogènes pour autant : certaines (alluvions de l'Eure ou du Loing) sont constituées d'un mélange de silex (partie grossière) et de sables quartzeux très largement dominant dans les sables alors que la plupart des autres graves résultent de l'usure progressive d'éléments de roches magmatiques ou métamorphiques : galets et graviers de granites, diorites, gneiss, localement basaltes ou autres laves, etc. et de sables essentiellement quartzeux.

Les graves silico-calcaires regroupent dans cette catégorie des matériaux divers. La partie "siliceuse" est constituée tantôt de débris de roches magmatiques ou métamorphiques (Rhône, Durance, Rhin, par exemple), tantôt de silex (Seine, Yonne). La partie "calcaire" est également très hétérogène, les bassins versants des cours d'eau concernés étant très variés. De façon générale, on constate cependant une évolution très nette de la composition pétrographique de ces graves d'une classe granulaire à l'autre et quel que soit le cours d'eau concerné. Ces ressources sont principalement situées dans le Sud-Ouest (Garonne, Dordogne, Gaves, Adour), le Centre (Loire, Allier), le bassin de Paris (Loir, Eure, Loing), l'Est (Meurthe et Moselle amont).

Les alluvions calcaires les plus abondantes sont celles du Bassin parisien (Petite Seine, Marne, Aube, Meuse, Somme) ainsi que celles de certains cours d'eau ou parties de cours d'eau du Jura (Doubs, Ain, Tilles). Dans la plupart des cas, il s'agit le plus souvent de matériaux assez peu grossiers, le pourcentage en éléments supérieurs à 50 mm étant faible. Ces graves calcaires sont généralement utilisées pour la fabrication des bétons courants ; il arrive cependant qu'elles soient utilisées en technique routière. En effet, certaines graves calcaires présentent de plus fortes résistances mécaniques que certaines graves siliceuses.

1.4.1.2. Les formations sédimentaires d'origine continentale

D'âge principalement secondaire et tertiaire, les formations sableuses les plus importantes sont les suivantes : sables cénomaniens, sables auversiens, sables de Fontainebleau, sables de Sologne, sables des Landes, faluns miocènes. La plupart de ces sables sont de granularité fine à moyenne à très large dominance quartzeuse.

Si l'on excepte les faluns miocènes riches en coquilles fossiles, l'utilisation de ces sables "moyens" en tant que granulats ne pose pas de difficulté particulière.

Cependant, les sables "fins" posent des problèmes d'utilisation difficiles à résoudre. L'étendue des gisements et les réserves considérables que constituent certains de ces sables (sables des Landes, sables tertiaires du bassin de Paris) les ont fait utiliser depuis longtemps comme remblais ou couches de forme, mais non comme granulats. Des développements récents montrent que certains d'entre eux peuvent également être utilisés après traitement (surtout au laitier) comme couches de base de chaussées à circulation moyenne.

1.4.1.3. Les dunes et cordons littoraux

Ils peuvent se présenter en lentilles de sable fin, ou sous forme de plages de galets de mer. Leur possibilité d'exploitation est actuellement fortement limitée par les contraintes d'environnement.

1.4.1.4. Les arènes

Ce sont les résidus d'altération sur place de roches magmatiques ou métamorphiques, les plus répandues et les plus exploitées étant les arènes d'origine granitique.

De nombreuses roches feldspathiques (granites, diorites, gneiss, migmatites), sont recouvertes d'une épaisseur d'arène qui peut atteindre 15 mètres dans certaines régions (Limousin, Bretagne). Les variations d'épaisseur sont très rapides, liées à la fracturation des roches. Les arènes, qui ont la granularité de sables plus ou moins grossiers passent progressivement à la roche altérée mais cohérente, puis à la roche saine. Les éléments de l'arène sont ceux de la roche mère. La composition minéralogique des arènes reflète donc celle des roches cristallines à partir desquelles elles se sont formées.

Dans la fraction fine des arènes, on trouve fréquemment de l'illite, de la chlorite, des interstratifiés, de la montmorillonite, de la kaolinite. La présence de ces minéraux argileux explique les limites d'utilisation des arènes ; jusqu'à présent, elles ont surtout été utilisées en remblais, couches de forme ou couches de fondation de routes à faible circulation. Compte tenu de l'extrême hétérogénéité des gisements, les matériaux arénisés sont généralement considérés comme sous-produit lors de la réalisation de découvertes de carrières de roches dures.

1.4.1.5. Les moraines

Ce sont toujours des dépôts très hétérogènes qui ne sont guère exploitables lorsqu'ils ne sont pas repris par un cours d'eau puis redéposés en aval (dépôts fluvio-glaciaires). Dans ce cas, ils peuvent être sommairement assimilés à des dépôts alluvionnaires grossiers. La principale difficulté d'exploitation des moraines provient de leur hétérogénéité granulaire. En effet le même gisement renferme côte à côte des blocs énormes, dont l'exploitation relève souvent de l'explosif et des sables fins limoneux ou argileux parfois difficiles à éliminer.

Les formations périglaciaires alpines peuvent constituer d'immenses réserves en matériaux mais l'accès aux gisements est souvent rendu difficile par les accidents du relief montagnard et l'éloignement par rapport aux centres de consommation.

1.4.1.6. Les éboulis de pentes (éluvions, colluvions parfois appelées localement groise, grouine...)

La constitution de la plupart des éboulis correspond aux effets du gel et surtout de l'alternance gel-dégel, lors des différentes périodes glaciaires qui ont affecté nos régions durant le Quaternaire. Il existe donc des éboulis de nature très diverse sur presque tous les versants actuels. Les seuls éboulis exploitables en tant que granulats sont les éboulis calcaires. Les utilisations possibles dépendent des caractéristiques mécaniques des roches dont ils sont issus. Ainsi, les plus intéressants sont les éboulis des calcaires durs de Provence, de certaines régions des Alpes et du Jura, alors que les éboulis de craie sont utilisés comme remblais, et ne peuvent être considérés comme des granulats.

La granularité du matériau est difficilement prévisible pour les éboulis très épais, dans la mesure où ils sont constitués d'apports successifs correspondant à des périodes où l'intensité du gel a pu varier de façon importante et influencer le débit des roches.

L'exploitation des éboulis est limitée par des problèmes de sécurité de carrière ; la stabilité, souvent relative de ces éboulis, étant compromise par les extractions basales.

1.4.1.7. Les dépôts marins

Les granulats marins peuvent être caractérisés soit par leur composition minéralogique, soit par leur origine. Dans ce dernier cas, on distingue :

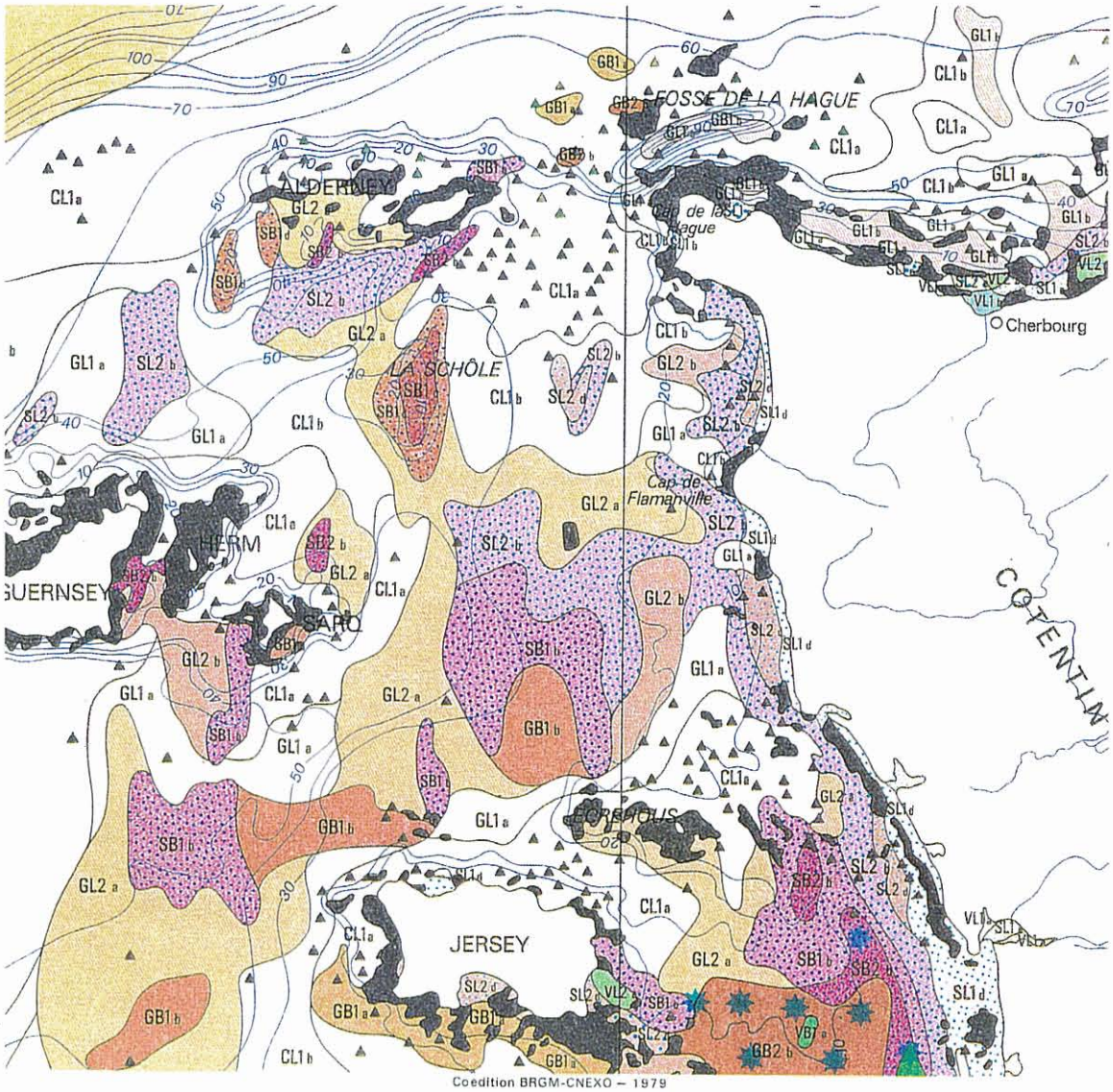
- les matériaux bioclastiques qui résultent de la fragmentation, du remaniement et de la concentration de tests d'organismes marins après leur mort. On parle alors de sables biogènes ou de sables coquilliers ;

- les matériaux lithoclastiques qui résultent de l'altération de formations cristallines ou sédimentaires variées, puis de leur transport par les cours d'eau et leur concentration à la faveur de contextes géomorphologiques variés, le plus souvent de vallées fossiles. On parle aussi de sables terrigènes.

Leurs origines sont de trois types principaux : origine fluviatile, accumulations par les courants ou anciens cordons littoraux.

Les granulats marins dont il est traité dans ce mémento se réfèrent essentiellement aux sables et graviers siliceux du plateau continental.

L'état français a consenti un très gros effort de prospection de ce type de ressource au cours des deux dernières décennies. Le CNEXO, devenu par la suite IFREMER par regroupement avec l'ISTPM (Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes), a très largement contribué à l'inventaire de la ressource potentielle En effet, la reconnaissance de la couverture des sédiments meubles du plateau continental français a démarrée en 1969 et s'est poursuivie sur plus d'une décennie. Au cours de ce laps de temps, une superficie d'environ 5 000 Km2 a été prospectée par diverses méthodes : profils sismiques (6 500 Km, dragages superficiels (850) et carottages (650 carottes représentant 2 500 mètres de carottes décrites et analysées). Un volume de 33 Milliards m^3 a été identifié sur lesquels 1/5, soit 600 M m^3 pourraient être exploitables en fonction des contraintes actuelles et donc constituer des réserves disponibles. L'inventaire a principalement porté sur les régions suivantes :



Carte des sédiments meubles superficiels de la Manche, éditée à 1/500 000. Cette carte, la première synthétisant en détail les caractéristiques sédimentologiques des formations superficielles sous-marines à l'échelle d'une mer épicontinentale, a nécessité la prise en compte d'environ 12 000 échantillons.

Map of the surficial sediments of the English Channel, edited at 1:500.000 scale. This map, which was the first one to provide a synthetic but detailed view of the surficial sediments of an epicontinental sea, required about 12.000 sampling stations.

Carte 2 - Carte des sédiments meubles superficiels de la Manche (partie relative à l'ouest Cotentin) à l'échelle du 1/500 000

- NORD-PAS-DE-CALAIS - PICARDIE
- BASSE ET HAUTE NORMANDIE
- BRETAGNE
- PAYS DE LOIRE
- POITOU-CHARENTES
- AQUITAINE
- LANGUEDOC-ROUSSILLON
- PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR

La carte 2 donne un aperçu de la représentation de ce type de ressource.

1.4.2. Les formations de roches massives

Les gisements de roches compactes fournissent des matériaux pétrographiquement très diversifiés pouvant provenir :

- de **formations sédimentaires** consolidées (grès, calcaire, dolomie, meulière...). En France, les granulats concassés issus de roches calcaires sont principalement extraits dans le Nord (Viséen et Givétien), en Région Provence Alpes-Côte-d'Azur (Jurassique et Crétacé) et à un degré moindre en Bourgogne (Bathonien, Oxfordien) et en Poitou-Charentes (Bathonien-Bajocien) ;

- de **formations métamorphiques** en général non schisteuses : quartzite, gneiss, cornéenne, amphibolite, marbre,... ;

- de **formations éruptives** intrusives (granite, diorite, gabbro,...) ou extrusives (basalte, tuf pyroclastique,...) non altérées.

Les agrégats d'origine éruptive ou cristallophylienne sont surtout produits dans les zones de socle où ils ne sont pas (ou peu) concurrencés par d'autres ressources (Alpes, Massif armoricain, Massif central, Pyrénées, Vendée, Vosges,...).

1.5. CRITERES GEOLOGIQUES D'EXPLOITABILITE

Il convient tout d'abord de préciser que la détermination de l'aptitude d'une roche à être transformée en granulats implique obligatoirement d'effectuer sur la roche concernée un ensemble d'essais normalisés de nature physique et chimique de manière à comparer les résultats de ces tests au cahier des charges qui s'applique à chaque technique d'utilisation (cf. chap. 4 : utilisations et spécifications).

L'identification préalable des matériaux, largement fondée sur des critères géologiques, conduit cependant à une présélection et permet d'autre part d'orienter les essais auxquels ils seront soumis :

- **dans le cas des roches massives**, l'identification est essentiellement fondée sur les caractéristiques suivantes :

  - nature pétrographique ;
  - structure.

- **dans le cas de roches meubles**, l'identification consiste, essentiellement à déterminer les caractéristiques suivantes :

- granularité de la roche (y compris teneur en argile et en général teneur en éléments < 80 µm) ;
- nature pétrographique des différents éléments, et répartition au niveau de chaque classe granulaire.

A ce stade, les principales caractéristiques **néfastes** dans une optique de production de granulats sont les suivantes :

- **au niveau de la pétrographie** :

  - présence d'opale, pyrite, gypse et anhydrite et, éventuellement, dolomie (risque de réaction avec les liants hydrauliques) ;
  - abondance de micas, chlorite, séricite (risque de réaction avec les liants hydrocarbonés) ;
  - schistosité métamorphique accentuée ;
  - altération argileuse (séricite, chlorite, kaolinite,...) ;
  - microfissuration ou cimentation imparfaite (fragilité et porosité importante - gélivité) ;
  - présence de fossiles en grande quantité (coquilles,...).

- **au niveau de la structure** :

  - orientation des grains et plus généralement toute structure anisotrope (risque de production d'éléments plats) ;
  - structure porphyrique (cristaux > 1 cm) entraînant une certaine fragilité de la roche.

- **au niveau du gisement** :

La faisabilité d'un projet d'exploitation d'un gisement de granulats dépend de nombreux facteurs déjà évoqués :

- qualité des matériaux bruts (résistance mécanique, propreté,...) et aptitude de la roche à subir un traitement et à satisfaire un marché le plus souvent local ;
- quantité de matériaux exploitables ;
- accessibilité du gisement et faclité de transport ;
- contraintes d'environnement (faune, flore, paysages, hydrologie, hydrogéologie, pression humaine, découpage foncier, servitudes administratives,...) ;
- influence de tous ces paramètres sur le coût de production ; rentabilité du projet.

L'un des plus importants paramètres géologiques à prendre en compte pour sélectionner les gisements est le **taux moyen de recouvrement**, c'est-à-dire le rapport moyen des volumes (ou des épaisseurs) de matériaux stériles de découverture sur les volumes (ou les épaisseurs) de matériaux exploitables.

Schématiquement, les taux habituellement retenus en matière de granulats sont les suivants :

- pour les gisements de roches meubles $\frac{Découverte}{Gisement} \frac{1}{2,5} à \frac{1}{3}$

- pour les gisements de roches massives $\frac{Découverte}{Gisement} \leq \frac{1}{4} à \frac{1}{5}$

Ces valeurs sont tout à fait indicatives et sont variables en fonction des conditions technico-économiques locales.

Parmi les autres paramètres géologiques importants à prendre en compte à l'échelle du gisement, il convient de citer :

- des variations granulaires, latérales ou verticales, des matériaux ou l'existence de niveaux indurés ou argileux, (continus ou discontinus) plus ou moins épais au sein d'un gisement de roche meuble ;

- les phénomènes de karstification dans les terrains calcaires au niveau du gisement ou du substratum ;

- la présence de failles ou de filons recoupant un massif rocheux ;

- les paramètres pouvant influer sur la tenue des fronts de taille (fracturation, pendage, sismicité, etc.) ;

- la présence de lentilles argileuses ou de bancs indurés en gisement meuble (notamment en gisement noyé par une nappe phréatique).

2. PRINCIPALES TECHNIQUES APPLIQUEES A LA RECHERCHE ET A L'EXPLOITATION DES GRANULATS

Il existe de nombreux ouvrages techniques spécialisés se rapportant aux diverses méthodes de prospection, d'extraction, de transport, de traitement, etc... des roches à usage de granulats.

Chaque gisement nécessitant généralement l'utilisation d'un ensemble de techniques adaptées à la configuration géographique (accès, relief,...) ou géologique (nature des roches, présence de nappe phréatique,...). Ce mémento se limitera à dresser un résumé des principales méthodes utilisées dans ce vaste domaine industriel.

2.1. METHODES DE PROSPECTION

Si l'on fait abstraction des contraintes autres que géologiques (en particulier contraintes administratives, foncières et d'environnement) qui peuvent contribuer à restreindre les aires géographiques de recherche de gisement potentiel, le géologue dispose de nombreux outils de prospection qui peuvent être mis en oeuvre en fonction notamment de l'échelle de la reconnaissance (générale ou détaillée) et selon la nature géologique des cibles. On distingue généralement les prospections géologiques de gisement de roches massives lato sensu (r. calcaires, et r. éruptives. sl) et les prospections de gisement de roches alluvionnaires avec cependant des méthodes applicables dans les deux cas. Il existe par ailleurs des techniques employées plus exceptionnellement dans le cadre de prospection très particulière (granulats marins par exemple).

2.1.1. Gisement de roches massives

2.1.1.1. Etude géologique

A terre, l'examen des cartes et documents géologiques (cartes géologiques, hydrogéologiques, pédologiques, archives du Code minier, banque de données du sous-sol, rapports de la Taxe Parafiscale sur les Granualts...) et des photographies aériennes permet généralement de déceler des secteurs favorables à la présence de gisements, ou à défaut d'orienter les travaux ultérieurs de prospection.

En mer, l'examen de différents types de cartes est nécessaire pour approcher ce que peut être une ressource potentielle en matériaux de type sables et graviers : cartes bathymétriques, géologiques, sédimentologiques, des paléo-vallées, etc. La consultation de la Banque de données de Géologie Marine (BGM) et de la Lithothèque Nationale d'Echantillons Marins (LINEM) renseigneront utilement sur les données du sol et du sous-sol marin. Quelques rapports de la Taxe Parafiscale sur les Granulats viennent compléter l'information disponible et accessible par le public.

L'étude stéréoscopique des photographies aériennes permet, en particulier, de localiser des zones d'affleurement, des excavations de diverses origines, les grands traits structuraux locaux et les principaux axes de fracturation.

	Densité g/cm^3	Susceptibilité magnétique 10^{-6}u.em. c.g.s.	Résistivité ohm.m	Vitesse sismique km/s
Roches sédimentaires				
conglomérat (moraine)....			100 - 4 000	1 - 2
grès.....	1,80 - 2,70	- 0,1 - 3	30 - 4 000	2,1 - 3,5
pélites.....	2,23 - 2,60	12 - 18	100	2,3 - 4,7
argiles.....	1,44	2 - 25	1 - 120	1,2 - 2,5
calcaires marneux.....	1,8	4	120 - 400	1,7 - 4,2
calcaires compacts.....	2,60 - 2,70	0,1 - 40	5 000 - 50 000	4 - 5
sel gemme.....	2,10 - 2,40	- 0,8	10^6 - 10^7	4,4 - 6,5
graphite.....		- 8	10^{-3}	
Roches métamorphiques				
ardoises.....	2, 70	0 - 100	300 - 1 300	4,25
schistes.....	2,73 - 3,03	25	100 - 600	3,5 - 4,9
quartzites.....	2,67 - 2,70	- 0,1 - 10		6,0 - 6,1
micaschistes.....	2,70 - 2,96	30 - 5 000	> 1 000	5 - 7,5
gneiss.....	2,66 - 2,73	30 - 5 000		5 - 7,5
amphibolites, pyroxénites.	3,10 - 3,30	100 - 12 000		5,8 - 6,6
Roches plutoniques				
granite à deux micas.....	2,50	10 - 4 000	5 000 - 50 000	4 - 5,5
granite à biotite.....	2,70			
diorite, gabbros.....	2,70 - 3,30	300 - 8 000	1 000 - 20 000	5,5 - 6,8
Roches volcaniques				
rhyolites.....	2,30 - 2,40	20 - 750	50 - 50 000	
andésites.....	2,40 - 2,50	100 - 2 000		5,2
basaltes.....	2,70 - 3,10	100 - 10 000	50 - 50 000	5,4 - 6,4
Minéraux métalliques				
chalcopyrite.....	4,2	0,4 - 7,6	10^{-3} - 10^{-2}	
galène.....	7,5	- 0,3	10^{-5} - 10^{-1}	
blende.....	4,0	- 1	10^{-4} - 10^{-2}	
pyrrhotine.....	4,6	$5x10^{-4}$ - $5x10^{-5}$	10^{-4} - 10^{-2}	
hématite.....	5,1	200 - 3 000	10^{-3} - 10^{-2}	
magnétite.....	5,2	10^{-5} - 10^{-6}	10^{-4} - 10^{-2}	
pyrite.....	5,0	100 - 400	10^{-3} - 10^{-2}	
cassitérite.....	7	- 0,1	10^{-4} - 10^{-1}	
chromite.....	4,3 - 5,0	600 - 95 000		

Tableau 1 : Principales caractéristiques physiques des roches et minerais
Source : Chronique de la Recherche Minière (1977)

Sur le terrain, le travail du géologue est largement facilité par la présence de carrières déjà en exploitation ou des anciens fronts de taille encore accessibles. En effet, leur observation permet de déterminer :

- la nature pétrographique et les caractéristiques générales des différents faciès ;
- l'état de fragmentation des massifs ;
- les différentes causes de pollution, les directions de fracturation, les hétérogénéités, etc.

Les principales caractéristiques physiques des roches et minerais sont fournies dans le tableau 1.

Pour les zones vierges, l'étude des fronts de taille sera remplacée par un levé géologique du secteur, le prélèvement d'échantillons sur affleurements et, la réalisation d'un sondage, si possible carotté, au moins sur chacun des sites présumés favorables.

L'étude pétrographique sur lames minces et les analyses chimiques qui peuvent être réalisées à partir d'éclats remontés lors de forages destructifs apportent des informations très importantes sur la nature de la roche, son altération, sa dureté,...

L'étude géologique de base permet ainsi généralement de définir, dans ses grandes lignes, le contexte tectonique et structural local, ainsi que les faciès (ou la pétrographie) des principales formations favorables. Elle permet également de fixer les méthodes d'investigation du sous-sol les mieux adaptées aux terrains dans le cadre de recherches plus fines.

2.1.1.2. Méthodes géophysiques de surface

Dans un premier temps les méthodes géophysiques de surface sont utilisées pour affiner les données acquises dans le cadre des études géologiques de base. D'une manière générale, ces méthodes visent à mesurer au niveau des terrains (en extension latérale ou en profondeur) les variations d'un paramètre physique qui reflète les caractéristiques géologiques du sous sol. Les techniques géophysiques sont faciles à mettre en oeuvre, d'exécution rapide, économiques, non destructives et fournissent par ailleurs des informations sur une large emprise de terrain. Cependant ce sont des méthodes indirectes qui doivent être étalonnées et vérifiées par des sondages mécaniques. Ces méthodes sont principalement utiles au niveau des études aux échelles 1/25 000 à 1/10 000.

En reconnaissance de gisement, les paramètres géophysiques discriminant le mieux la nature, l'altération ou la fissuration des terrains sont la résistivité électrique (prospection électrique) et la vitesse de propagation des ondes sismiques dans le sous-sol (sismique réfraction).

Ces deux paramètres sont complémentaires, la résistivité étant sensible surtout aux variations de la quantité d'eau du sous-sol qui dépend elle-même de sa nature, la vitesse de propagation des ondes sismiques variant surtout en fonction de la fissuration.

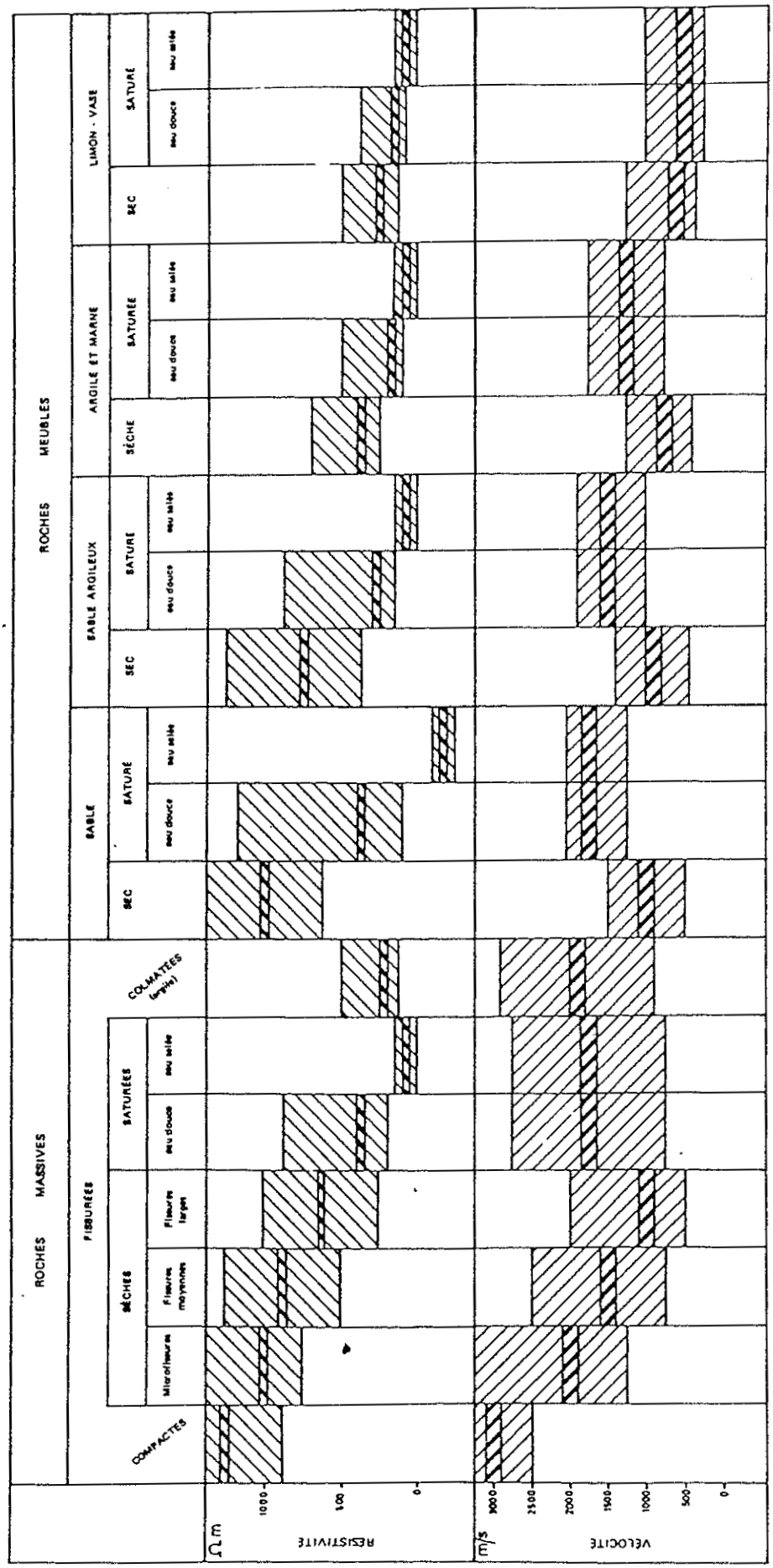


Tableau 2 - Relations entre l'état physique des roches et les paramètres résistivité et vitesse sismique

Les méthodes électriques les plus employées sont les sondages électriques et le traîné de résistivité (à plusieurs longueurs de ligne différentes). La réalisation d'un sondage électrique consiste à établir en un point la courbe de variation, en fonction de la profondeur, de la résistivité apparente des terrains, mesurée en surface à l'aide d'un dispositif à quatre électrodes AMNB. En écartant progressivement les électrodes A et B d'envoi du courant, on intéresse un volume de terrain de plus en plus grand. De ce fait, la profondeur d'investigation augmente avec la longueur de lignes et on parvient à une exploration verticale des différents terrains situés au centre du dispositif de mesure. Le traîné de résistivité consiste pour sa part à mesurer, en des points régulièrement espacés, la résistivité apparente du sous-sol selon le dispositif AMNB de dimension constante. Les résultats sont présentés sous forme de carte de résistivité révélant le contraste entre la découverte, généralement conductrice, et le matériau sain, pratiquement isolant. On obtient ainsi une image de l'épaisseur de la découverte, et la localisation des zones de faille dans la mesure où leur largeur est significative.

Le tableau 2 indique quelles sont les relations entre l'état physique des roches et les paramètres résisitivité et vitesse sisimique

La méthode de sismique réfraction (sismique légère) est utilisée de manière systématique pour la reconnaissance des sites de roches magmatiques. Les enregistrements mettent généralement en évidence trois couches : un terrain de surface à faible vitesse sismique (de l'ordre de 300 m/s) qui fait partie de la découverte, un terrain à forte vitesse (entre 2000 et 4000 m/s) qui représente généralement le terrain sain, et, entre les deux, un terrain à vitesse moyenne (de l'ordre de 1000-1500 m/s), difficile à définir, car il peut s'agir, selon le cas, d'un matériau altéré peu fracturé (par exemple, arène compacte) ou d'un matériau sain, très fracturé. Cette indétermination ne peut être levée que par des observations en sondage ou, dans certains cas, par combinaison avec les méthodes électriques.

On établit ainsi des coupes de terrain ou des cartes de zonage géophysique permettant de (d') :

- donner une vue d'ensemble de la structure du gisement et d'en déduire les zones les plus favorables à l'exploitation ;

- orienter le choix de l'emplacement des sondages mécaniques à mettre en oeuvre pour transformer les données géophysiques en coupes et cartes géologiques ;

- réduire éventuellement le nombre si la réponse géophysique est homogène dans une zone déterminée ;

- extrapoler les résultats de sondages ponctuels, notamment dans les zones inaccessibles aux sondeuses.

2.1.1.3. Sondages

Les meilleures informations sont apportées par les sondages carottés continus qui permettent la réalisation des coupes géologiques très précises et le prélèvement d'échantillons intacts pour identification pétrographique, étude de la fracturation et essais mécaniques.

En revanche, compte tenu de la lenteur et du coût important des sondages carottés, il est souvent nécessaire de limiter leur nombre au strict minimum et de compléter les investigations en profondeur à l'aide de forages destructifs de type marteau perforateur, plus rapides, et moins coûteux.

	Techniques	Observations
A T E R R E	Tarière continue	prélèvement souvent peu représentatif
	Tarière simple petit diamètre (type Highway)	profondeur d'investigation en général limitée à 6 m
	Tarière simple avec piège à graves	utilisable en site noyé
	Vibro-fonçage	permet des prélèvements hors d'eau ou sous eau
	Carottier battu	technique rapide (5 à 12 m/h), avec une bonne reconnaissance qualitative du gisement en graves fines
	Pelle hydraulique	bonne visualisation de coupes en tranchées sèches
	Tarière simple de diamètre > 600 mm	profondeur d'investigation en général limitée à 12 m en sondage hors d'eau
	Trepanbenne (type Benoto)	technique lente (6-10 m/j) utilisable en site noyé avec perte partielle des fines
	Vibro-fonçage type VPRH	assez bonne rapidité de prélèvement (40-60 m/j). Perte partielle des fines en site sous eau
E N M E R	Carottiers à gravité	permet un prélèvement superficiel rapide, mais généralement pas de conservations des figures sédimentaires
	Bennes	idem
	Vibrocarottier	permet la traversée d'une couche sédimentaire suffisamment épaisse (3 à 8 m) en remaniant peu les sédiments permet la réalisation de 10 à 15 sondages par jour suivant la distance en tre chaque site, la profondeur de la tranche d'eau, les conditions de mer et la version utilisée perte de fines si celles-ci se trouvent au bas de la carotte près de la "peau d'orange"
	Electrocarottier	permet seulement le prélèvement (1 à 2 m) d'échantillons de type sables fins dans des horizons sédimentaires homogènes bonne rapidité d'exécution mais limitée au seul prélèvement d'éléments fins

Tableau 3 - Principales techniques de sondages pour la prospection des gisements de roches meubles

Compris entre 50 et 200 mm, le diamètre de sondage destructif le plus souvent utilisé est de 89 mm. Il permet d'une part la remontée d'éclats (cuttings) de dimension satisfaisante et l'utilisation des sondes de diagraphie.

Les marteaux perforateurs utilisés permettent d'atteindre des rendements variant suivant les terrains entre 70 et 150 m par jour (voire plus avec des marteaux-fond-de-trou).

Ces sondages sont suivis par un géologue pour identification des cuttings, lever de coupe, échantillonnage, repérage des niveaux d'eau, mesure de la vitesse d'avancement de l'outil, etc. Les prélèvements d'éclats s'effectuent au minimum tous les 50 cm pour observation, lavage et récupération des cuttings de taille supérieure à 2 mm.

Le tableau 3 indique les principales techniques de sondages utilisées pour la prospection des gisements de roches meubles.

2.1.1.4. Diagraphie

Surtout utile pour compléter les informations des sondages destructifs, les diagraphies consistent à introduire une sonde dans un trou de forage afin d'enregistrer l'évolution de certaines caractéristiques physicochimiques de la roche avec la profondeur. Les paramètres principalement étudiés sont :

- la radioactivité naturelle ou diagraphie de rayons gamma naturels (GR) qui reflète la composition chimique et minéralogique

- la résistivité (LL) qui permet, entre autres, de mettre en évidence les horizons altérés ou fissurés à faible résistivité et les niveaux sains de plus forte résistivité

- la diagraphie sonique qui permet, entre autres données par la mesure de la vitesse du son, d'apprécier l'importance de la fissuration du milieu.

2.1.2. Gisements terrestres de roches meubles

Dans son principe, la recherche d'un gisement terrestre de granulats de roche meuble est proche d'une prospection de gisement en roche massive, seules certaines techniques utilisées diffèrent pour répondre à certaines spécificités.

2.1.2.1. Photo-interprétation

Dans le cas des gisements alluvionnaires, l'étude et l'interprétation des cartes topographiques et des photos aériennes ou satellitaires permet notamment de préciser les limites des vallées et des terrasses, de visualiser les chenaux récents ou anciens, etc.

Stade de l'étude / Type de gisement	Etude préliminaire éch. : 1/25.000 à 1/10.000			Etude de détail éch. 1/10.000 à 1/5.000		
	Géophysique	**Sondage**	**Tests**	**Géophysique**	**Sondage**	**Tests**
Roche meuble à terre	Traîné de résistivité électrique et sondage électrique Maille 100 x 200 m à 40 x 50 m	1 pour 5 ha à 1 pour 2 ha	Granularité ES LA, MDE, FS LA	Traîné de résistivité électrique Maille 20 x 20 m	1 à 2 sondages par ha	Essais industriels et tests de conformité physico-chimique
Roche meuble en mer	Sismique réflexion continue moyenne définition maille 1000 x 1000 à 500 x 500 m	Prélèvements à la benne ou au carottier à gravité tous les 500 à 1000 m lors de la campagne de géophysique	Granularité ES LA, MDE, FS LA	. Sismique réflexion continue haute définition . Sondeur à sédiments	Prélèvements par vibrocarottier (version 5 à 8 m d'une seule passe en ∅ 100 mm ou 3 m en ∅ 200 mm à la maille de 500 à 100 m	Essais industriels et tests de conformité physico-chimique

Tableau 4 - Schéma général des travaux géologiques nécessaires à la reconnaissance d'un gisement de granulats

2.1.2.2. Géophysique de surface

La technique géophysique la plus utilisée est celle du traîné de résistivité avec des mailles et des longueurs de lignes adaptées au gisement. Cette méthode légère et rapide permet d'obtenir après étalonnage par sondages mécaniques une bonne définition de la découverte du gisement.

La sismique réfraction est plus rarement utilisée, elle peut cependant convenir pour localiser le niveau du substratum lorsque celui-ci est constitué d'un niveau de vitesse sismique bien contrasté par rapport aux graves.

2.1.2.3. Sondages

Différents types de sondages mécaniques sont utilisés pour la reconnaissance des gisements de roche meuble. Les rapides changements latéraux de faciès, typiques des formations fluviatiles, impliquent une maille de sondage assez serrée (minimum : un sondage par hectare) et montrent tout l'intérêt de l'utilisation des méthodes géophysiques.

Le tableau 4 donne un schéma général des travaux géologiques nécessaires à la reconnaissance d'un gisement de granulats.

2.1.3. Gisements marins de sédiments meubles

L'organisation d'une campagne de prospection de sédiments meubles en mer se base sur les mêmes principes que ceux appliqués lors d'un programme de reconnaissance à terre.

A la suite d'une étude de marché qui aura défini les besoins actuels tant en sables qu'en graviers ainsi que la compétitivité des matériaux marins par rapport à leurs équivalents terrestres, une étude bibliographique prenant en compte les données bathymétriques et océanographiques, la géologie et la sédimentologie de la zone marine visée permettra de mieux cerner le secteur à prospecter (recherche d'anciennes lignes de rivage, de paléovallées, etc.) et de réduire les temps d'opération donc les coûts des travaux.

La prospection elle-même nécéssite l'utilisation d'un support nautique -navire océanographique, bâteau de pêche disposant de moyens de levage, navires d'assistance en mer, etc.- grâce auquel une équipe technique relativement réduite, composée de géologues et techniciens marins, peut effectuer la mission programmée dont la durée -quelques jours généralement- permet de mettre en oeuvre différentes techniques de prospection effectuées dans un ordre prévu à l'avance comportant :

- La mise en place d'un système de positionnement permettant de déterminer à tout instant la position du navire avec la meilleure précision possible, soit de l'ordre du mètre. Des stations situées à terre, rattachées à des points géodésiques, servent de points de repère. Les renseignements fournis sont utlisés pour fixer le cadre précis de ce qui deviendra la carte bathymétrique, support indispensables à toute étude effectuée dans le domaine marin.

  Le système de radiopositionnement choisi -Syledis, Motorola, etc.- fournit en temps réel les distances qui séparent le bateau des balises à un système qui transforme ces données en coordonnées géographiques (UTM ou Lambert) ou en coordonnées locales (X,Y).

  Les levés bathymétriques sont effectués au moyen d'écho-sondeurs travaillant dans une gamme de fréquences variables suivant l'objectif visé allant de quelques centaines à quelques milliers de Khz. Un système de traitement interne permet d'éliminer les échos parasites. La résolution

obtenue dans ce type de prospection est de l'ordre de 10 cm. L'enregistrement analogique de la batymétrie peut être commandée par le calculateur pour obtenir des profils à une échelle déterminée.

Les données collectées sont enregistrées sur support magnétique, du type disque souple ou cassette, pour permettre un traitement ultérieur afin de restituer automatiquement soit des plans de position, soit des cartes bathymétriques.

- La mise en oeuvre d'outils de reconnaissance par méthodes indirectes, en particulier en utilisant divers équipements géophysiques permettant soit une reconaissance géologique et sédimentologique régionale (sismique moyenne définition), soit des études de détail (sismique haute résolution). Pour ce faire, de multiples sources sismiques sont utilisées : étinceleurs, boomer, somahr, etc, les unes et les autres ayant cependant de bons pouvoirs de résolution (1 m à 0,5 m). D'autres techniques telles que les sondeurs à sédiments et surtout le sonar viennent compléter cette panoplie fort utile.

- Si la sismique réflexion continue haute résolution donne une bonne définition des structures et de la géométrie des dépôts meubles prospectés, il est nécessaire d'approcher, par des méthodes directes, la nature des sédiments afin de mieux définir les utilisations ultérieures de ceux-ci. Ces éléments sont recueillis à l'aide de système de prélèvement de sédiments meubles tels que les carottiers à gravité et plus généralement les vibrosondeurs qui permettent aujourd'hui de ramener à la surface des carottes de 3 à 8 m de longueur, en une seule passe, sous chemise PVC, offrant de bonnes garanties de conservation de la structure initiale des sédiments.

Par la suite, les échantillons prélevés peuvent être scindés en deux parties dont une servira de témoin, la seconde pouvant faire l'objet des mêmes analyses en laboratoire que pour les prélèvements terrestres.

2.2. PRIX DES PROSPECTIONS

Le prix d'une étude géologique nécessaire à la recherche d'un gisement de granulats dépend de nombreux facteurs : conditions d'accès, complexité du gisement, techniques utilisées, échelle de précision souhaitée, etc. En moyenne, l'investissement à prévoir pour la reconnaissance géologique fine d'un gisement est de l'ordre de 5 à 15 centimes par tonne exploitable. Les chiffres les plus élevés s'appliquent, d'une part aux gisements de roche massive qui doivent impérativement faire appel aux techniques de sondages carottés et d'autre part aux ressources en granulats marins dont l'accés nécessite tout à la fois un supprt nautique et la mise en oeuvre de techniques de prospection adaptées et plus coûteuses.

CODE	DATE	TITRE
NF B 13-001	Déc. 1977	ROCHES - POUDRES ET FINES D'ASPHALTE NATUREL
NF P 18-101	Déc. 1983	GRANULATS - VOCABULAIRE - DEFINITIONS - CLASSIFICATION
NF P 18-301	Déc. 1983	GRANULATS NATURELS POUR BETONS HYDRAULIQUES
NF P 18-304	Déc. 1973	GRANULOMETRIE DES GRANULATS
NF P 18-309	Déc. 1982	GRANULATS D'ARGILE OU DE SCHISTES EXPANSES FABRIQUES EN FOUR ROTATIF DESTINES A LA CONFECTION DE BETONS
NF P 18 321	Mai 1982	GRANULATS - CARACTERISTIQUES DES GRANULATS DESTINES AUX TRAVAUX ROUTIERS
P 18-550	Avril 1982	GRANULATS - FIDELITE DES METHODES D'ESSAIS
NF P 18-552	Déc. 1981	GRANULATS - PRELEVEMENT DE MATERIAUX EN COURS D'ECOULEMENT
NF P 18-553	Oct. 1978	GRANULATS - PREPARATION D'UN ECHANTILLON POUR ESSAI
NF P 18-554	Déc. 1979	GRANULATS - MESURES DES MASSES VOLUMIQUES, POROSITE, COEFFICIENT D'ABSORPTION ET TENEUR EN EAU DES GRAVILLONS ET CAILLOUX
NF P 18-555	Avril 1980	GRANULATS - MESURES DES MASSES VOLUMIQUES, COEFFICIENT D'ABSORPTION ET TENEUR EN EAU DES SABLES
NF P 18-556	Avril 1980	GRANULATS - DETERMINATION DE L'INDICE DE CONTINUITE
P 18-557	Déc. 1980	GRANULATS - ELEMENTS POUR L'IDENTIFICATION DES GRANULATS
NF P 18-558	Déc. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DE LA MASSE VOLUMIQUE ABSOLUE DES FINES
NF P 18-560	Oct. 1978	GRANULATS - ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE
NF P 18-561	Oct. 1978	GRANULATS - MESURE DU COEFFICIENT D'APLATISSEMENT
NF P 18-562	Fév. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DE L'EPAISSEUR MOYENNE DES GRAVILLONS
P 18-563	Fév. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ECOULEMENT DES GRANULATS
P 18-564	Fév. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DU COEFFICIENT D'ECOULEMENT DES SABLES
NF P 18 565	Déc. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DE L'INDICE DES VIDES RIGDEN
NF P 18 571	Avril 1979	GRANULATS - DETERMINATION DE L'HOMOGENEITE DES GRANULATS (d SUPERIEUR OU EGAL A 4 mm)
NF P 18 572	Octobre 1978	GRANULATS - ESSAI D'USURE MICRO-DEVAL

Tableau 5 - Normes françaises appliquées aux granulats

CODE	DATE	TITRE
NF P 18 573	Octobre 1978	GRANULATS - ESSAI LOS ANGELES
NF P 18 574	Avril 1979	GRANULATS - ESSAI DE FRAGMENTATION DYNAMIQUE
NF P 18 575	Déc. 1979	MESURE DU COEFFICIENT DE POLISSAGE ACCELERE DES GRAVILLONS
NF P 18 576	Octobre 1978	GRANULATS - MESURE DU COEFFICIENT DE FRIABILITE DES SABLES
NF P 18 577	Avril 1979	GRANULATS - ESSAI DEVAL
NF P 18 578	Déc. 1979	GRANULATS - MESURE DE LA RUGOSITE D'UNE SURFACE A L'AIDE DU PENDULE DE FROTTEMENT
NF P 18 582	Déc. 1981	GRANULATS - DETERMINATION DE LA TENEUR EN SOUFRE TOTAL
NF P 18 583	Juin 1982	GRANULATS - MESURE DE LA TENEUR EN CHLORE - METHODE PAR DISSOLUTION
P 18 584	Octobre 1981	GRANULATS - REACTIVITE POTENTIELLE DE TYPE ALCALI-SILICE
P 18 585	Octobre 1981	GRANULATS - ESSAI DE STABILITE DIMENSIONNELLE EN MILIEU ALCALIN
NF P 18 586	Fév. 1981	GRANULATS - MISE EN EVIDENCE DE MATIERES ORGANIQUES PAR COLORIMETRIE
NF P 18 591	Avril 1979	GRANULATS - DETERMINATION DE LA PROPRETE SUPERFICIELLE
P 18 592	Juillet 1980	GRANULATS - ESSAI AU BLEU DE METHYLENE
NF P 18 593	Octobre 1978	GRANULATS - SENSIBILITE AU GEL
P 18 594	Octobre 1981	GRANULATS - RESISTANCE A LA DESAGREGATION. METHODE PAR CRISTALLISATION DES SULFATES
P 18 595	Déc. 1981	GRANULATS - VAPEUR DE BLEU DE METHYLENE. METHODE TURBIDIMETRIQUE
NF P 18 597	Déc. 1979	GRANULATS - DETERMINATION DE LA PROPRETE DES SABLES EQUIVALENT DE SABLE A 10 % DE FINES
NF P 18 598	Nov. 1979	GRANULATS- EQUIVALENT DE SABLE

Tableau 5 (suite) - Normes françaises appliquées aux granulats

3. LES ESSAIS DE GRANULATS

Les spécifications relatives aux granulats diffèrent sensiblement suivant les techniques d'emplois et les ouvrages concernés (bétons, couches de chaussées, ballast, etc.). Elles font en règle générale référence à des **essais normalisés** et fixent les valeurs des seuils techniques autorisés.

Ces spécifications normalisées sont parfois l'héritage d'habitudes et visent à répondre aux conditions de chantier les plus difficiles qui impliquent en principe des marges de sécurité confortables. Cependant, dans certains cas, la conjugaison de conditions plus favorables (faible risque de gel, excellence du drainage, absence de matériaux locaux répondant aux normes,...) peut conduire localement à l'utilisation de granulats hors spécifications.

Il existe en France une norme générale applicable aux granulats pour béton (NF P 18-301) largement utilisée ainsi que des spécifications particulières fixées par certains utilisateurs tels que l'Equipement, (Fasc 23 et 65 du cahier des prescriptions commune-LCPC), la SNCF (Livret 21-55), l'EDF (Specif. 1974) pour leurs usages propres.

La caractérisation des granulats s'effectue donc grâce à une série de tests normalisés lesquels constituent la référence des moyens d'utiliser pour le contrôle de la qualité des fournitures. La liste complète de ces tests appliqués en France figure dans le tableau 5.

Les exigences qualitatives relatives aux granulats peuvent porter :

- soit sur les caractéristiques intrinsèques des roches du gisement (pétrographie, altérabilité,...) comme cela est indiqué dans le tableau 6 ;

- soit sur les caractéristiques des produits après élaboration par lavage, concassage, criblage etc. (granularité, forme, résistance mécanique, substances polluantes, etc.).

Des documents spécialisés et détaillés décrivent les modes opératoires des nombreux essais de granulats faisant l'objet de normes françaises et étrangères et dont le nombre dépasse la centaine (cf. en particulier le rapport de recherche LPC n° 114-1982). En conséquence, seuls les principaux essais de base (granularité, résistance mécanique) réalisables dès les premières phases de la prospection d'un gisement de granulats et les tests relatifs à la propreté et à la recherche des substances polluant les granulats seront présentés dans ce chapitre.

3.1. CONTROLE DE GRANULARITE

La granularité d'un granulat définit la distribution dimensionnelle des éléments qui le constituent.

Le contrôle granulaire est réalisé à partir d'un échantillon représentatif d'une masse de matériaux, classés grâce à un ensemble de tamis à mailles carrées de dimension normalisée. Cette technique simple permet d'établir une courbe granulaire qui est l'expression graphique du pourcentage cumulé des tamisats en fonction des différentes classes granulaires.

Roche	Résistance à la compression simple (en bars)	M.D.E.	L.A. ou F.D.	C.P.A.	Observations
Calcaire tendre	140	90	60	sans intérêt	matériau inutilisable
Calcaire moyen	400	55	50	0,30	
Calcaire dur	1 900	15	26	0,45	
Quartzite à grains fins	3 600	5	15	0,50 à 0,60	matériau excellent (mais posant des problèmes d'adhésivité)
Silex	4 000	3	19	0,40	
Micro granite	1 200 à 2 400	50 à 15	35 à 25	0,50 à 0,60	
Micro diorite	1 600 à 3 000	25 à 10	10 à 7	0,45 à 0,55	matériau excellent (pouvant cependant poser des problèmes de glissance)
Basalte	3 600	5	15	0,45 à 0,50	matériau excellent (mais posant souvent des problèmes de glissance)

M.D.E. : Essai Micro-Deval de la résistance à l'attrition
L.A. ou F.D. : Essai Los Angeles ou essai de fracturation dynamique pour mesurer la fragilité
C.P.A. : Coefficient de polissage accéléré

Tableau 6 - Caractéristiques moyennes des principaux types de roches
Source : G. ARQUIE, 1976

Cette courbe reflète notamment l'aptitude d'un matériau à la compaction et sa mise en oeuvre vis à vis des spécifications requises afin d'effectuer les corrections nécessaires par un traitement adapté.

Dans le cadre d'une prospection de matériau meuble cet essai est fondamental pour estimer les proportions relatives en sable et graviers d'un gisement et sa teneur en fines.

Chaque spécification est définie par un fuseau qui constitue l'enveloppe des courbes granulaires extrêmes à l'intérieur desquelles doit s'inscrire le granulat fabriqué.

L'objectif est d'obtenir un mélange granulaire ayant une compacité maximale, une faible déformabilité et une résistance mécanique élevée.

De façon générale, un déficit en sable et en fines amène un produit poreux de faible compacité. Inversement, un excès de ces éléments peut provoquer une diminution de résistance ; de plus, la présence excessive de fines rend le matériau plus sensible à l'eau.

3.2. TEST D'EQUIVALENT DE SABLE (ES)

La présence d'éléments fins dans un granulat réduit les dimensions des vides intergranulaires et par conséquent diminue la perméabilité et augmente l'ascension capillaire et la rétention d'eau. Dans certains cas, ces particules fines constituent des éléments de pollution pouvant entraîner une diminution de la résistance des matériaux compactés, des difficultés de mise en oeuvre ou inhiber les réactions de prise des liants hydrauliques.

L'essai d'équivalent de sable (ES) permet de mesurer la propreté d'un sable naturel ou concassé vis à vis des éléments fins.

L'équivalent de sable exprime un rapport volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les fines restant en suspension dans un milieu aqueux.

L'essai le plus généralement utilisé est l'Equivalent de Sable Visuel (ESV) qui consiste à agiter dans une éprouvette un échantillon de sable et une solution floculante. Après 20 mn de sédimentation on mesure visuellement la hauteur h1 de sable décantée au fond de l'éprouvette et la hauteur h2 correspondant à la somme de h1 et de l'épaisseur du floculat correspondant aux fines en suspension. La valeur de l'équivalent de sable visuel $ESV = 100 \cdot \frac{h1}{h2}$.

En général, un sable peut être considéré comme propre si, après traitement, son ESV est supérieur à 70.

Il existe d'autres méthodes de mesure de l'Equivalent de sable et en particulier l'Equivalent de sable au piston E.S.P. et l'équivalent de sable 10 % (E.S. 10 %).

Substance polluante	Cause de la pollution et effet possible
Argile	Ecran aux liants en raison de leurs grandes surfaces externes, réduction de la maniabilité des bétons en raison de l'aptitude à l'absorption d'eau. La nécessité d'un surdosage d'eau réduit la résistance des bétons hydrauliques.
Micas	Ecran aux liants
Coquilles	Faible adhérence des liants
Chlorures	Altération en oxyde, salissure des bétons. Formation d'hydroxyde gonflant en présence d'eau
Oxydes de fer	Gonflement avec l'eau
Matière organique	Fixation de la chaux, inhibition de la prise des ciments
Minéraux alcali réactifs	Gonflement, fissuration des bétons
Minéraux altérés ou altérables	Formation d'argile, gonflement
Fragments de roche poreuse	Absorption d'eau ou de bitume, imperméabilisation des matériaux composites
Fragments de bois, résidus végétaux, lignite	Décolorations locales, écaillage de surface des bétons

Tableau 7 - Principales substances polluant les granulats

3.3. ESSAI AU BLEU DE METHYLENE (VB)

L'essai d'équivalent de sable est en général complété par le calcul de la Valeur au bleu de méthylène (VB) qui mesure la surface que la fraction argileuse "active" du matériau est susceptible de développer. Cette surface, dépendant de la nature et de la proportion des argiles contenue dans un matériau ; cet essai permet une mesure globale, qualitative et quantitative, de la pollution ou nocivité argileuse.

L'essai consiste à mesurer la capacité d'adsorption en bleu de méthylène c'est-à-dire la quantité de colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche monomoléculaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses contenues dans 100 g de granulats.

3.4. ESSAI LOS ANGELES (LA)

Il a pour but de mesurer sur des gravillons les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments.

L'essai consiste à introduire dans un cylindre en rotation pendant une durée déterminée des boulets d'acier et une prise de gravillons appartenant à une classe granulaire de masse normalisée, de mesurer l'importance de la fragmentation et l'usure occasionnée pendant l'essai. La résistance du matériau est d'autant plus grande que la valeur de son coefficient LA sera faible.

3.5. ESSAI MICRO DEVAL EN PRESENCE D'EAU (MDE)

Il consiste à mesurer la résistance de gravillons à l'attrition, c'est-à-dire la quantité de fines produites lors de la rotation d'un cylindre dans lequel on a placé une masse de graviers, un certain nombre de billes d'acier et une quantité d'eau normalisés.

Dans le domaine routier, les gravillons ont été classés en 5 catégories principales d'utilisation dont la différenciation repose sur les valeurs conjuguées des coefficients LA et MDE (Norme NF P 18.321).

CATEGORIE	LA	MDE
A	≤ 15	≤ 10
B	≤ 20	≤ 15
C	≤ 25	≤ 20
D	≤ 30	≤ 25
E	≤ 40	≤ 35

3.6. RECHERCHE DES SUBSTANCES POLLUANT LES GRANULATS

La recherche des substances susceptibles d'altérer la qualité d'un granulat et par conséquent la résistance du matériau ou de l'ouvrage auquel il est destiné est important pour choisir les techniques d'élimination nécessaires, voire exclure les zones polluées des secteurs exploitables.

Ces substances indésirables, lorsqu'elles sont présentes en quantité trop importante, peuvent être classées en trois catégories :

- celles qui constituent un écran **physique** entre les liants et les granulats ;
- celles qui réagissent avec les liants d'une manière **chimique** ;
- les hétérogénéités.

Les principales substances susceptibles de polluer un gisement de granulats et leurs effets sont rappelés dans le tableau 7. Ces substances peuvent être décelées à partir d'études pétrographiques (microscopie), d'analyses chimiques (dosage) ou d'essais physico-chimiques (tests d'absorption d'eau, de gonflement, etc.).

Actuellement l'un des problèmes les plus délicats dans le domaine de la pollution des granulats est la compréhension des phénomènes de réaction alcalis-granulats dont le principe général est le suivant :

Les alcalis du ciment (KOH, NaOH) peuvent réagir avec certains minéraux pour constituer des composés gonflants provoquant à plus ou moins longue échéance, une fissuration du béton.

Cette réaction observée pour la première fois aux Etats-Unis a eu lieu entre un ciment contenant plus de 0,6 % Na_2O + 0,65 % K_2O et un "calcaire magnésien siliceux".

Depuis, d'autres minéraux ont pu être mis en cause : opale, calcédoine, verres volcaniques, quartz microcristallin, tridymite, cristobalite, dolomite, phyllites et minéraux des serpentines...

Cette liste n'est certainement pas exhaustive, et la prévision de ces phénomènes reste délicate étant donné la lenteur des réactions et le peu de connaissances que l'on a de la stabilité des ions dans des minéraux souvent en cours d'altération.

3.7. PRINCIPAUX AUTRES ESSAIS

Parmi les autres essais (non détaillés dans le cadre de ce mémento) les plus couramment utilisés pour caractériser la qualité des granulats, il faut citer :

- les essais liés à la forme des granulats tels que :

  - indice d'aplatissement (**IA**) qui mesure le pourcentage d'éléments plats dans les graviers par tamisage au travers de grilles à fentes,
  - indice de concassage (**IC**) qui permet de mesurer l'angularité des gravillons et des sables d'origine alluvionnaire. Cet essai consiste à mesurer le pourcentage en poids des éléments provenant du concassage de la fraction > D du matériau d'origine. On tend de plus en plus à lui substituer un essai d'écoulement à l'angulomètre.

Roche	Résistance à la compression simple (en bars)	MDE	LA ou FD	CPA	Observations
Calcaire tendre	140	90	60	sans intérêt	matériaux inutilisable
Calcaire moyen	400	55	50	0,30	
Calcaire dur	1 900	15	26	0,45	
Quartzite à grains fins	3 600	5	15	0,50 à 0,60	matériau excellent (mais posant des problèmes d'adhésivité)
Silex	4 000	3	19	0,40	
Micro granite	1 200 à 2 400	50 à 15	35 à 25	0,50 à 0,60	
Micro diorite	1 600 à 3 000	25 à 10	10 à 7	0,45 à 0,55	matériau excellent (pouvant cependant poser des problèmes de glissance)
Basalte	3 600	5	15	0,45 à 0,50	matériau excellent (mais posant souvent des problèmes de glissance)

MDE : Essai Micro-Deval de la résistance à l'attrition ;

LA ou FD : Essai Los Angeles ou essai de fracturation dynamique pour mesurer la fragilité

CPA : Coefficient de polissage accéléré

Tableau 8 - Résultats de quelques tests (MDE, LA, CPA etc.) permettant de qualifier les granulats d'inverses
Source : G. ARQUIE, 1976

- la mesure de la porosité (**P**) ;

- l'indice de sensibilité du granulat au gel (**G**) dont la mesure découle de l'essai Los Angeles ;

- la mesure de la friabilité des sables (**FS**) qui caractérise la résistance mécanique des sables ;

- la mesure du coefficient de polissage accéléré (**CPA**) qui permet d'apprécier la résistance à l'usure des gravillons destinés aux couches routières de roulement. Ce test consiste à faire subir au matériau l'action d'un pneumatique en présence d'abrasif.

Le tableau 8 fournit les résultats de quelques uns des tests qui permettent de qualifier des granulats d'origines diverses.

4. UTILISATIONS ET SPECIFICATIONS

4.1. UTILISATIONS

Les granulats s'emploient principalement dans les bétons, les mortiers, en viabilité pour les différentes couches de chaussée et pour le ballastage des voies ferrées. La nature des matériaux utilisés pour des divers usages varient selon les emplois.

4.1.1. Emplois dans le béton

Les granulats constituent le squelette des bétons. On emploie de l'ordre de 1,9 t de granulats par m3 de béton. Les bétons contiennent au minimum un mélange de 2 fractions granulométriques :

- des sables 0/d (avec d < 5 mm) ;

- des graviers d/D (avec d > 2 mm et D < 20 mm).

Les sables sont en général lavés ou défillerisés pour élimination maximale des fines de diamètre inférieur à 80 µm. Les sables représentent 35 à 55 % de la masse des agrégats contenus dans les bétons.

Actuellement des recherches importantes sont menées dans le cadre d'un programme national pour le développement de techniques d'utilisation de bétons de sable et dans le but de la promotion de ce produit (projet Sablocrete).

4.1.2. Emplois dans les mortiers

La granularité des sables utilisés dépend de la nature du mortier

GRANULARITE	MORTIER
o/d avec d < 2,5 mm	Enduits
o/d avec d < 5 mm	Joints, Chappe

Un mètre cube de mortier nécessite de l'ordre de 1,6 t de granulats.

4.1.3. Emplois en viabilité

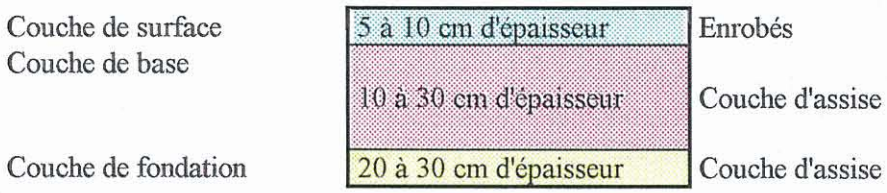
Les chaussées routières et autoroutières sont formées par un ensemble de couches de matériaux principalement constitués de granulats avec ou sans liant selon la couche. Il existe deux principales techniques de construction des chaussées :

- la technique dite de **la chaussée souple** qui comprend 2 couches d'assise surmontées par une couche de roulement en grave bitume et qui est la technique la plus largement utilisée en France, d'un coût d'investissement moyen mais de frais d'entretien relativement élevés ;

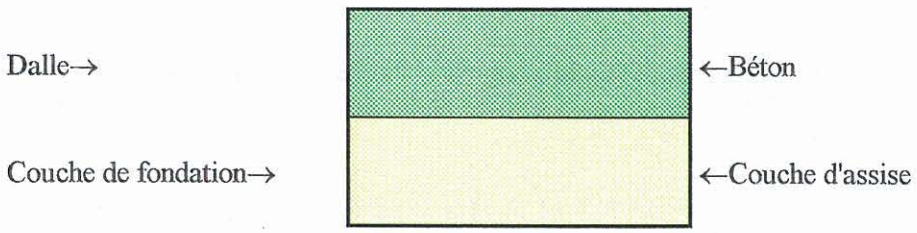
- la technique dite de **la chaussée rigide** qui comprend une seule couche d'assise surmontée par une couche de roulement en béton plus onéreuse à mettre en oeuvre mais d'un coût d'entretien assez faible.

A chaque technique correspond une structure type de chaussée présentée dans les schémas ci-dessous.

1) Structure-type "chaussée souple"



2) Structure-type "chaussée rigide"



4.1.3.1. Couches d'assise de chaussées

Les granulats sont employés dans les couches d'assise de chaussée sous forme de :

- **graves O/D** (14 mm < D < 60 mm) : "non traitées" ou "traitées" avec des liants divers, hydrauliques ou hydrocarbonés. En moyenne, elles contiennent environ 40 % de sable (0/4 mm) ;

- **sables O/d** (d < 6 mm) : "traités" avec des liants divers, hydrauliques ou hydrocarbonés.

En règle générale, ces granulats, très élaborés, ne sont pas lavés.

4.1.3.2 - Couches de surface de chaussées souples

Les granulats sont employés dans les couches de surface des chaussées souples sous forme de :

- **sables** O/d (d < 4 mm) ;

- **graviers** d/D (d > 2 mm ; D < 14 ou 20 mm).

Ils sont utilisés simultanément pour la réalisation des "**bétons bitumineux**" ou "enrobés". La réalisation des "**enduits superficiels**" (bicouches ou tricouches ne requiert par contre que des graviers).

- les liants utilisés pour chacune de ces applications sont exclusivement hydrocarbonés (bitumes, goudrons, émulsions) ;

- les "**bétons bitumeux**" comprennent en général entre 25 et 45 % de sable (0/2 mm).

Ces sables, **très élaborés**, ne sont pas lavés, ils doivent d'autre part contenir une forte proportion de fillers (environ 18 % de fines < 80 µm).

Les tapis de revêtement autoroutiers en grave bitume sont remplacés en moyenne tous les cinq ans.

4.1.3.3. Couches de surface de chaussées rigides

Les granulats sont employés dans les dalles en béton de surface des chaussées rigides, sous forme de :

- **sables**, O/d (= avec d < 5 mm) ;

- **graviers** d/D (avec d > 2 mm ; D < 20 mm) ;

- **cailloux** D/D'(avec D' < 40 mm).

Les caractéristiques générales de ces granulats sont similaires aux caractéristiques des granulats pour béton.

4.1.3.4. Emplois en ballastage de voies ferrées

La SNCF distingue, pour ses ballastages, sur la base de critères de granularité, 3 types de granulats :

- ballast normal : 25-50 mm ;
- ballast fin : 16-31,5 mm ;
- gravillon (gravillon de souflage) : 10-25 mm.

En pratique, il s'agit exclusivement de granulats de roches massives, très élaborés (mais non lavés), utilisés tels quels, sans liant.

Nature du matériau composé	Pourcentage de granulat (en poids)	Pourcentage des autres constituants en poids	Nature des autres constituants
Grave non traitée	100		
Grave ciment	94 à 97 %	3 à 6 %	ciment
Grave laitier	80 à 90 %	10 à 20 % 1 %	laitier granulé chaux
Grave bitume	96 à 97 %	3 à 4 %	bitume
Grave émulsion	96 à 97 %	3 à 4 % disparaît après traitement	bitume eau de l'émulsion
Grave cendre	75 à 85 %	15 à 25 % 1 à 2 %	cendre volante chaux
Béton	80 à 85 %	15 à 20 %	ciment
Enduit superficiel	93 à 95 %	5 à 7 %	bitume ou goudron

Tableau 9 - Principaux matériaux composés faisant appel essentiellement ou exclusivement aux granulats
Source : G. ARQUIE, 1976

4.2. SPECIFICATIONS

Chaque type d'ouvrage nécessite l'utilisation d'une gamme de matériaux adaptée aux exigences techniques des architectes, des entrepreneurs, de l'Administration... Les seuils des spécifications des granulats sont fournis par 2 normes fondamentales qui figurent en annexe du mémento :

- AFNOR NF P 18.301 : "Granulats, Granulats naturels pour bétons hydrauliques" ;

- AFNOR NF P 18.321 : "Granulats - Caractéristiques des granulats destinés aux travaux routiers.

4.2.1. Granulats pour bétons hydrauliques et chaussées routières

Le Ministère des Transports a publié en 1984 un ensemble de directives qui est un texte d'application des normes et visant à fournir pour chaque technique routière les catégories de granulats les mieux adaptés en fonction des 6 classes de trafic de poids lourds.

CLASSES DE TRAFIC	<T3	T3	T2	T1	T0	<T0
Seuils de trafic (moyenne journalière sur l'année)	50	150	300	750	2000	

Les différentes spécifications ont été regroupées sur des fiches techniques et concernent :

- Pour les assises de chaussées :
  - fiche A1. Graves non traitées
  - fiche A2. Graves traitées aux liants hydrauliques
  - fiche A3. Graves traitées aux liants hydrocarbonés

- Pour les couches de roulement :
  - fiche B1. Bétons bitumineux
  - fiche B2. Enduits superficiels
  - fiche B3. Bétons bitumineux cloutés

- Pour les chaussées en béton hydraulique :
  - fiche C.

En effet, en ce qui concerne la résistance mécanique, les spécifications tiennent compte des sollicitations différentes selon que le granulat est associé ou non à un liant hydraulique ou hydrocarboné.

Dans les assises non traitées la fragmentation et l'attrition des granulats sont fortes, entraînant des modifications de granularité, en particulier au niveau des éléments fins. Ceci a des répercussions importantes sur la stabilité mécanique de l'assise.
Dans les assises traitées les granulats subissent beaucoup moins de sollicitations d'où des exigences moins sévères que dans le cas précédent.
En tout état de cause, les spécifications tiennent compte du type de technique retenue, de la situation de l'assise dans le corps de chaussée, du niveau de trafic et de la nature même des travaux.

Emploi	Caractéristiques				
	Granularité	**Forme angularité**	**Propreté**	**Adhésivité**	**Résistance mécanique**
Bétons ordinaires	Caractéristique importante - Granularité discontinue du type 2/3 gravillon 1/3 sable	Caractéristique peu importante	Qualité fondamentale, tant sous l'angle de la propreté chimique que sous celui de l'équivalent de sable (ES>80)	Pratiquement toujours suffisante	Exclusion des calcaires tendres
Bétons de qualité supérieure	Caractéristique très importante. On attribue de plus en plus d'importance à la composition des éléments fins (entre 50 µ et 500 µ). Nombreux essais de détermination de la granularité idéale. Ségrégation à éviter	Caractéristiques peu importantes. Préférence pour les éléments ronds	Qualité fondamentale, tant sous l'angle de la propreté chimique que sous celui de l'équivalent de sable, d'autant plus à surveiller que l'on introduit des éléments fins (au-dessous de 100 µ)	Pratiquement toujours suffisante	Limitation controversée du pourcentage de CO_3Ca notamment dans les sables et pour les bétons routiers (lutte contre la glissance)
Ballast de voie ferrée	Caractéristique très importante. Il y a 2 sortes de matériau l'un utilisé pour les travaux neufs, l'autre (plus fin) pour le "soufflage" - *Granularité* serrée dans les 2 cas, car le ballast doit rester non compact	Caractéristique très importante, voire fondamentale, car la stabilité du ballast n'est assurée que par le *frottement interne* (entre éléments)	Caractéristique importante, mais facile à assurer	Sans objet	*Caractéristique* fondamentale. Bien que la résistance à la fragilité paraisse la qualité essentielle, la SNCF s'appuie essentiellement sur l'essai Deval sec
Assises routières non traitées	Caractéristique fondamentale. Prescriptions sévères. Courbe idéale légèrement creuse pour augmenter la stabilité	L'angularité est une caractéristique fondamentale puisque la stabilité n'est assurée que par le frottement interne	Caractéristique fondamentale ES $\geq$ 30 suivant les ES $\geq$ 35 cas ES $\geq$ 40	Sans objet	Caractéristique fondamentale (résistance a l'attrition). Essai de base : micro Deval en présence d'eau (MDE). Mais L.A. aussi cité dans les spécifications
Assises routières traitées aux liants hydrauliques	Caractéristique fondamentale. Prescriptions sévères. Courbe idéale légèrement creuse pour augmenter la stabilité	L'angularité est une caractéristique importante, voire fondamentale pour certains traitements	Caractéristique fondamentale ES $\geq$ 30 suivant les cas ES $\geq$ 40 Problèmes de pollution chimique	Caractéristique moyennement importante. Adhésivité suffisante en pratique	Caractéristique fondamentale (résistance à l'attrition). Bien que l'essai de base doive être le MDE, on utilise aussi le L.A.
Assises routières traitées aux liants hydrocarbonés	Caractéristique fondamentale. Prescriptions sévères. Courbe conduisant à la compacité maximale	L'angularité est une caractéristique fondamentale	Caractéristique fondamentale ES $\geq$ 30 suivant les cas ES $\geq$ 40	Caractéristique importante, mais rarement testée (cf. infra)	Caractéristique fondamentale (résistance à l'attrition). Bien que l'essai de base doit être le MDE. On utilise aussi le L.A.
Bétons bitumineux	Caractéristique fondamentale. Prescriptions très *rigoureuses*. Courbe très étudiée conduisant à une compacité voisine mais légèrement inférieure à la compacité maximale (une courbe trop pleine pourrait conduire à un "ressuage" du liant, dû à la glissance)	L'angularité est une caractéristique fondamentale tant pour la stabilité que pour la lutte contre la glissance	Caractéristique fondamentale ES $\geq$ 40 ou 45 suivant les cas	Caractéristique fondamentale, testée par le rapport de la résistance à la compression d'une éprouvette conservée dans l'eau à la résistance d'une éprouvette identique conservée à sec (Essai d'imersion-compression)	Caractéristique doublement fondamentale sous forme de résistance à l'attrition et de résistance au polissage
Enduits superficiels	Caractéristique fondamentale - Granularité très serrée	L'angularité et la forme sont toutes les 2 des caractéristiques fondamentales (lutte contre la glissance-risque des gravillons plats de se placer à plat)	La propriété est une caractéristique fondamentale. Les gravillons ne doivent pas comporter de poussières (notamment de concassage). Dépoussiérage ou lavage sont fréquemment employés	Caractéristique fondamentale mais les insuffisances sont palliées par le "dopage"	Caractéristique fondamentale C.P.A. $\geq$ *0,50*

Tableau 10 - Propriétés à retenir en fonction de l'emploi des granulats
Source : G. ARQUIE, 1976

Au niveau des couches de surface, les granulats sont en contact direct avec les pneumatiques, et sont ainsi soumis à des chocs importants provoquant leur fragmentation, particulièrement accentuée par l'utilisation de pneus à crampons. D'autre part, le passage répété de véhicules entraîne une usure des revêtements et le polissage des gravillons ce qui diminue progressivement le coefficient de frottement de la chaussée.

Les spécifications exigeront, notamment pour les enduits, de bons LA, MDE et CPA, ce qui n'est pas toujours compatible. L'expérience montre en effet que les matériaux les plus durs ont généralement un CPA faible, dû à une plus grande homogénéité minéralogique et à la finesse du grain.
Ces différentes fiches figurent intégralement aux pages suivantes ainsi qu'un rappel des catégories de granulats défini par la norme NF P 18.321 (cf. Rabat).

FICHE A.1 - GRAVES NON TRAITÉES

Les spécifications ci-dessous s'appliquent aux graves recomposées et humidifiées (GRH) et aux graves non traitées proprement dites, livrées en une ou plusieurs fractions.

COUCHES DE FONDATION		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** des gravillons (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES E (3) II (3) b (3)	D (3) II (3) b (3)	C II b	Etude particulière	
caractéristique complémentaire (5)	- **angularité** des gravillons et des sables (Ic - indice de concassage)	(3) (4)	Ic ⩾ 30 (3)	Ic ⩾ 60 (3)		

COUCHES DE BASE		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** des gravillons (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES D (3) II (3) b (3)	C (3) II (3) b (3)	Etude particulière		
caractéristique complémentaire (5)	- **angularité** des gravillons et des sables (Ic - indice de concassage)	Ic ⩾ 30 (3)	Ic ⩾ 60 (3)			

(1) Ne pas prendre en compte le CPA.

(2) Ne pas prendre en compte la forme (A), ni la propreté superficielle des gravillons (P).

(3) En fonction des conditions locales et de l'expérience, d'autres valeurs de spécifications peuvent être prescrites. A ce sujet, on pourra se reporter utilement au Manuel de Conception des chaussées neuves à faible trafic édité par le LCPC et le SETRA en juillet 1981.

(4) Les granulats roulés peuvent être acceptés. Mais dans certains cas, pour faciliter l'exécution des chantiers, il est conseillé d'utiliser des granulats ayant un Ic ⩾ 30.

(5) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Recommandations concernant :

— la sensibilité au gel (G).

Pour les régions soumises au phénomène de gel, on imposera une valeur de sensibilité au gel (G) à ne pas dépasser, notamment dans le cas où existent des problèmes de drainage. On pourra exiger par exemple, pour les couches de base et de fondation, une sensibilité au gel **G ⩽ 30 %**, la valeur du coefficient LA après gel ne devant pas dépasser la valeur LA spécifiée.

— la friabilité des sables (FS)

Losque le sable provient d'une origine différente de celle des gravillons, on prescrira une valeur limite pour la résistance mécanique des sables : FS ⩽ 40. Cependant, dans certains cas, ce seuil pourra être dépassé à condition de justifier d'une expérience suffisante ou de résultats d'études de laboratoire favorables.

FICHE A.2 - GRAVES TRAITÉES AUX LIANTS HYDRAULIQUES

COUCHES DE FONDATION		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées : - **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** et **propreté** des gravillons (P) (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES		E II b (3)		D II b (3)	
caractéristique complémentaire (6) : - **angularité** des gravillons et des sables (Ic - indice de concassage)			≥ 30 % (4)			

COUCHES DE BASE		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées : - **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** et **propreté** des gravillons (P) (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES	E II b (3)		D II b (3)		
caractéristique complémentaire (6) : - **angularité** des gravillons et des sables (Ic - indice de concassage)	• **renforcements sous circulation** Ic ≥ 30 (4) | Ic ≥ 60 | Ic = 100 • **couches de base de chaussées neuves** (ou fondation de chaussées en béton) Ic ≥ 30 (4) | Ic ≥ 60 | Ic = 100 (5)					

(1) Ne pas prendre en compte le CPA.

(2) Ne pas prendre en compte la forme (A).

Dans le cas où P > 2, les gravillons peuvent être acceptés si la valeur de bleu VB est inférieure ou égale à 1,5 (VB obtenue par la méthode turbidimétrique).

(3) La catégorie "c" peut être retenue à condition que les résultats de l'étude des résistances mécaniques obtenues en laboratoire répondent aux spécifications.

(4) Pour les classes de trafic inférieures à T2, on peut admettre une grave entièrement roulée sous réserve d'une stabilité avant prise suffisante.

(5) On peut admettre 60 ⩽ Ic ⩽ 100 si la grave traitée présente une stabilité avant prise satisfaisante, du fait de sa granularité.

(6) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Recommandations concernant ;

— la friabilité des sables (FS)

Lorsque le sable provient d'une origine différente de celle des gravillons, on prescrira une valeur limite pour la résistance mécanique des sables : FS ⩽ 40. Cependant, dans certains cas, ce seuil pourra être dépassé à condition de justifier d'une expérience suffisante ou de résultats d'études de laboratoire favorables.

— la présence de matières organiques

Si l'essai normalisé correspondant met en évidence la présence de matières organiques, il convient de vérifier les propriétés mécaniques de la grave traitée pour pouvoir apprécier leur éventuelle nocivité.

FICHE A.3 - GRAVES TRAITÉES AUX LIANTS HYDROCARBONES

Cette fiche concerne les techniques des graves-bitume et des graves-émulsion.

GRAVES BITUMES

Les spécifications relatives à cette technique sont données pour les couches de base et les couches de fondation. Cependant, il convient de noter qu'actuellement la réalisation des couches de fondation en matériaux bitumineux est interdite sur le réseau national (cf circulaire du Ministère des Transports n° 80-29 du 25 février 1980).

COUCHES DE FONDATION		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** et **propreté** des gravillons (P) (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES	E II a (3)		D II a	
caractéristique complémentaire (7)	- **angularité** des gravillons et des sables (4) (Ic - indice de concassage)	(5)	Ic ≥ 30		Ic ≥ 60	

COUCHES DE BASE		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** et **propreté** des gravillons (P) (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES E II a (3)	D II a (3)	D II a	C II a	
caractéristique complémentaire (5)	- **angularité** des gravillons et des sables (4) (Ic - indice de concassage)	(5)	Ic ≥ 30	Ic ≥ 60	Ic = 100	Ic = 100 (6)

(1) Ne pas prendre en compte le CPA.

(2) Ne pas prendre en compte la forme (A).

Dans le cas où P > 2, sans toutefois dépasser 3, les gravillons peuvent être acceptés si la valeur de bleu VB est inférieure ou égale à 1 (VB obtenue par la méthode turbidimétrique).

(3) Dans certains cas, la catégorie "b" peut être retenue à condition que les résultats de l'étude de formulation réalisée en laboratoire répondent aux spécifications.

(4) Pour améliorer la maniabilité et la compacité des graves, on pourra être amené à ajouter du sable roulé (au maximum 10 %).

(5) Les granulats roulés peuvent être acceptés, mais pour faciliter l'exécution des chantiers, il est conseillé d'utiliser des granulats ayant un Ic ≥ 30.

(6) Rc ≥ 2 lorsque le trafic est canalisé ou lorsque le tracé comporte de fortes rampes ou lorsque le support est rigide.

(7) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Recommandations concernant la friabilité des sables (FS)

Lorsque le sable provient d'une origine différente de celle des gravillons, on prescrira une valeur limite pour la résistance mécanique des sables : FS ≤ 40. Cependant, dans certains cas, ce seuil pourra être dépassé à condition de justifier d'une expérience suffisante ou de résultats d'études de laboratoire favorables.

GRAVES EMULSION

L'utilisation de graves émulsion en couche de base pour un trafic supérieur à T3, fera l'objet d'une étude particulière de laboratoire, notamment pour préciser la qualité des granulats.

COUCHES DE BASE		< T3	T3	T2	T1	TO (et > TO)
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité** et **propreté** des gravillons (P) (2) - **granularité** et **propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES E II a (3)	D II a (3)	Etude particulière		
caractéristique complémentaire (4)	- **angularité** des gravillons et des sables (Ic - indice de concassage)	Ic ≥ 30	Ic ≥ 60			

(1) Ne pas prendre en compte le CPA.

(2) Ne pas prendre en compte la forme (A).
Dans le cas où P >2, sans toutefois dépasser 3, les gravillons peuvent être acceptés si la valeur de bleu VB est inférieure ou égale à 1 (VB obtenue par la méthode turbidimétrique).

(3) Dans certains cas particuliers, la catégorie "b" peut être retenue, à condition que les résultats de l'étude de formulation réalisée en laboratoire répondent aux spécifications.

(4) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Friabilité des sables : cf. remarque donnée pour les graves bitume.

FICHE B.1 - BÉTONS BITUMINEUX

COUCHES DE LIAISON		< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité, forme, propreté** des gravillons (A-P) - **granularité, propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES D II a	C II a				
caractéristique complémentaire (4)	- **angularité** des gravillons et des sables (2) (Ic - indice de concassage ou Rc - Rapport de concassage)	Ic ≥ 30	Ic = 100	Rc ≥ 2			

COUCHES DE ROULEMENT		< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
caractéristiques normalisées	- **dureté** des gravillons (LA - MDE - CPA) - **granularité, forme, propreté** des gravillons (A-P) - **granularité, propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES C II a		B II a			B (3) II a
caractéristiques complémentaires (4)	- **angularité** des gravillons et des sables (2) (Ic - Indice de concassage ou Rc - Rapport de concassage)	Ic ≥ 60		Rc ≥ 2			Rc ≥ 4
	- position du **fuseau de régularité** aux tamis intermédiaires pour les gravillons						

classe granulaire	le passant à	doit être compris entre
4-6,3	5 mm	30 et 55 %
6,3-10	8 mm	37 et 62 %
6,3-14	10 mm	45 et 70 %
10-14	12,5 mm	52 et 77 %

(1) Ne pas prendre en compte le CPA.
(2) Dans certains cas, pour améliorer la maniabilité et la compacité des BB, on pourra être amené à ajouter du sable roulé (au maximum 10 %).
(3) Le principe de compensation des valeurs du coefficient CPA par les valeurs des coefficients LA + MDE, ou de ces dernières par les valeurs du coefficient CPA, s'applique conformément aux dispositions de la norme NF P 18-321, sauf avis contraire du laboratoire des Ponts et Chaussées.
(4) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Recommandations concernant :

— l'origine des sables (formules mixtes)

La règle normale doit être de constituer l'ensemble du squelette minéral à partir de granulats de même origine. Cependant, il pourra s'avérer nécessaire de faire appel, pour la fourniture des sables de concassage, à une carrière différente de celle fournissant les gravillons. Dans ce cas, le sable d'apport devra avoir des caractéristiques mécaniques suffisantes :

- FS ≤ 30 si la catégorie spécifiée des gravillons est B,
- FS ≤ 40 si les catégories spécifiées des gravillons sont C ou D.

L'utilisation de sables de nature **calcaire** sera limitée aux classes granulaires inférieures à :

- 4 mm pour les trafics T1, TO et > TO,
- 6,3 mm pour les autres trafics,

de plus, on exigera un CPA ≥ 0,50 (compensation non admise) pour la "fraction gravillons" supérieure à 4 mm ou à 6,3 mm, cette fraction représentant au moins 45 % du mélange.

— les fines d'apport et les fines de sable

Les CCTP peuvent imposer des spécifications concernant les caractéristiques des fines (cf directive SETRA-LCPC pour la réalisation des couches de surface de chaussées en béton bitumineux).

FICHE B.2 - ENDUITS SUPERFICIELS

	< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
caractéristiques normalisées : - **dureté** des gravillons (LA - MDE - CPA) - **granularité, forme, propreté** des gravillons (A-P)	CATÉGORIES C	B		B	A	
	II	I bis		I	I	
caractéristiques complémentaires (1) : - **angularité** des gravillons (Ic - Indice de concassage ou Rc - Rapport de concassage)	Ic = 100	Rc ≥ 2		Rc ≥ 4	Rc ≥ 6	

classe granulaire	le passant à	doit être compris entre
4-6,3	5 mm	30 et 55 %
6,3-10	8 mm	37 et 62 %
10-14	12,5 mm	52 et 77 %

- position du **fuseau de régularité** aux tamis intermédiaires

(1) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

FICHE B.3 - BÉTONS BITUMINEUX CLOUTÉS

BB SUPPORT		< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
caractéristiques normalisées : - **dureté** des gravillons (LA-MDE) (1) - **granularité, forme, propreté** des gravillons (A-P) - **granularité, propreté** des sables (ES 10 % - VB)	CATÉGORIES		C II a		B II a		
caractéristique complémentaire (5) : - **angularité** des gravillons c: des sables (2) (Ic - Indice de concassage ou Rc - Rapport de concassage)		Ic ≥ 60		Rc ≥ 2		Rc ≥ 4	

CLOUTAGE		< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
caractéristiques normalisées : - **dureté** des gravillons (LA - MDE - CPA) - **granularité, forme, propreté** des gravillons (A-P)	CATÉGORIES	(3) (4) II	B (3) (4) I bis		B (3) (4) I	A (3) I	
caractéristique complémentaire (5) : - **angularité** des gravillons (Rc - Rapport de concassage)		Rc ≥ 2		Rc ≥ 4		Rc ≥ 6	

(1) Le CPA n'est pas pris en compte.
(2) Dans certains cas, pour améliorer la maniabilité et la compacité des BB, on pourra être amené à ajouter du sable roulé (au maximum 10 %).
(3) La règle de compensation entre les valeurs LA - MDE - CPA ne s'applique pas.
(4) Pour les routes en sites difficiles, il est conseillé de majorer de 0,05 les valeurs de CPA spécifiées.
(5) Selon le cas, les CCTP peuvent imposer d'autres caractéristiques complémentaires.

Recommandations concernant d'autres caractéristiques pour les granulats destinés au BB support de cloutage :

— Résistance mécanique des sables
— Caractéristiques des fines

} voir fiche B1.

FICHE B3 (suite)

RAPPEL DES CATÉGORIES DE LA NORME NF P 18-321 DONT LE TEXTE INTÉGRAL EST REPRODUIT EN ANNEXE

CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES DES GRAVILLONS	CATEGORIE (1)	LA	MDE	CPA (2)
	A	⩽ 15	⩽ 10	⩾ 0,55
	B	⩽ 20	⩽ 15	⩾ 0,50
	C	⩽ 25	⩽ 20	⩾ 0,50
	D	⩽ 30	⩽ 25	—
	E	⩽ 40	⩽ 35	—

(1) Compensation des valeurs : cf. annexe 1.
(2) Pour les couches de roulement.

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES GRAVILLONS	CATEGORIE (1)	GRANULARITÉ		A (2) ou Em	P
	I	Refus à 1,25 D : 0 %	Refus à D / Tamisat à d : 1 à 15 % (20 % si D⩽1,58d) ; Tamisat à 0,63 d < 3 % (< 5 % si D ⩽ 5 mm) ; L'étendue maximale du fuseau de régularité doit être de : - 10 % à d et D - 25 % à $\frac{D+d}{2}$	⩽ 10	⩾ $\frac{D+d}{3}$	⩽ 0,5
	I bis			⩽ 15	⩾ $\frac{D+d}{3,5}$	⩽ 1
	II	Refus à 1,58 D : 0 %	Si D ⩾ 2,5 d, le tamisat à $\frac{D+d}{2}$ doit être compris entre 33 et 66 %	⩽ 20		⩽ 2
	III			⩽ 30		⩽ 3

(1) Pour certains usages (couches de fondation et de base), les spécifications des caractéristiques de fabrication peuvent être limitées à celle de la granularité.
(2) Pour les granularités inférieures à 10 mm, A est majoré de 5 unités.

CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION DES SABLES OU DES GRAVES	CATEGORIE	GRANULARITÉ	ES 10 %	VB (1)
	a	Refus à 1,58 D : 0 % ; Refus à D : 1 à 15 % ; L'étendue maximale du fuseau de régularité doit être de : - 10 % à D et au tamis de 0,5 mm - 15 % aux tamis intermédiaires (2 ; 4 ; 6,3 ; 8 ; 10 ; 14 ; 20 mm) - 4 % à 0,08 mm si la teneur en fines < 12 % - 6 % à 0,08 mm si la teneur en fines ⩾ 12 %	⩾ 60	⩽ 1
	b		⩾ 50	⩽ 1,5
	c		⩾ 40	⩽ 2

(1) VB : valeurs de bleu à respecter si la valeur d'ES 10 % est inférieure à la valeur spécifiée.

CARACTÉRISTIQUES COMPLÉMENTAIRES

Outre l'angularité qui est prise en compte quelles que soient la technique et la classe de trafic, les CCTP peuvent imposer des spécifications portant sur d'autres caractéristiques complémentaires, notamment :

- La granularité
- La sensibilité au gel
- L'homogénéité
- La friabilité des sables
- L'absence de matières organiques
- l'altérabilité
- etc.

Consulter les laboratoires des Ponts et Chaussées pour fixer des valeurs de spécifications, selon le cas considéré

FICHE C - CHAUSSÉES EN BÉTON HYDRAULIQUE

Les spécifications relatives aux caractéristiques normalisées ont été établies à partir de la norme NF P 18-301 ("Granulats - Granulats naturels pour bétons hydrauliques") dont le texte intégral est reproduit en annexe

Pour les bétons maigres utilisés en couche de fondation, on limitera les spécifications — quel que soit le trafic — aux caractéristiques de granularité, de dureté des gravillons (LA $\leq$ 40 et MDE $\leq$ 35) et de propreté des sables (ESV $\geq$ 65).

CARACTÉRISTIQUES NORMALISÉES

	< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
— GRANULARITÉ	Granularité conforme à la norme NF P18-304					
*sables . Tamisat à 0,08 mm	< 10 %					
. Tolérance sur le module de finesse (en valeur absolue) (1)	± 0,3					
*gravillons et cailloux . si D $\geq$ 2,5 d	33 % < tamisat à $\frac{D+d}{2}$ < 66 %					
— PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET PHYSICO-CHIMIQUES . Dureté des gravillons (LA-MDE)	LA $\leq$ 40 MDE $\leq$ 35			LA $\leq$ 25 MDE $\leq$ 20		
. Friabilité des sables (FS)	FS $\leq$ 40		FS $\leq$ 20 (2)			
. Forme des gravillons (A)	A $\leq$ 30 %					
. Homogénéité des gravillons (H)	H $\geq$ 97 % (avec n = 0,4)					
. Sensibilité au gel des gravillons (G)	G $\leq$ 50 %					
. Propreté des sables (ESV)	ESV $\geq$ 75 ou $\geq$ 65 lorsqu'il s'agit d'un sable de broyage ou de concassage (3)					
. Propreté des gravillons (P)	P $\leq$ 2 % (4)					
. Absorption d'eau par les sables ou les gravillons (Ab)	Ab < 2 %					

En outre, les granulats devront répondre aux spécifications de la norme en ce qui concerne : la nature de la roche et la présence éventuelle d'impuretés prohibées, la continuité de la courbe granulométrique, la teneur en soufre total, la teneur en chlorures, l'absence de matières organiques, la teneur en éléments coquilliers.

(1) Le module de finesse d'un granulat est égal au 1/100 de la somme des refus exprimés en pourcentages sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5 - 10 - 20 - 40 et 80 (norme NFP 18-304).
(2) FS $\leq$ 40 si la chaussée en béton hydraulique est revêtue par un enduit superficiel.
(3) Les sables dont l'ESV (équivalent de sable visuel - Norme NF P18-598) est inférieur à ces valeurs sont cependant conformes si la valeur de bleu (VB) est inférieure ou égale à 1 g pour 100 g de fines (VB obtenue par la méthode turbidimétrique Norme P 18-595).
(4) $\leq$ 5 % pour un gravillon concassé, si la valeur de bleu (VB) est inférieure ou égale à 1 g pour 100 g de fines (VB obtenue par la méthode turbidimétrique - Norme P 18-595).

FICHE C (suite)

CARACTÉRISTIQUES COMPLÉMENTAIRES

Selon le cas, les CCTP peuvent imposer des caractéristiques complémentaires.

En particulier, lorsque les chaussées en béton hydraulique ne sont pas revêtues par une couche de roulement (par exemple un enduit superficiel) ou par un cloutage, il convient d'adjoindre des spécifications concernant la résistance au polissage des gravillons :

	< T3	T3	T2	T1	TO	> TO
Résistance au polissage des gravillons pour les chaussées en béton hydraulique non revêtues par une couche de roulement ou un cloutage (CPA).	———		CPA $\geq$ 0,45			CPA $\geq$0,50

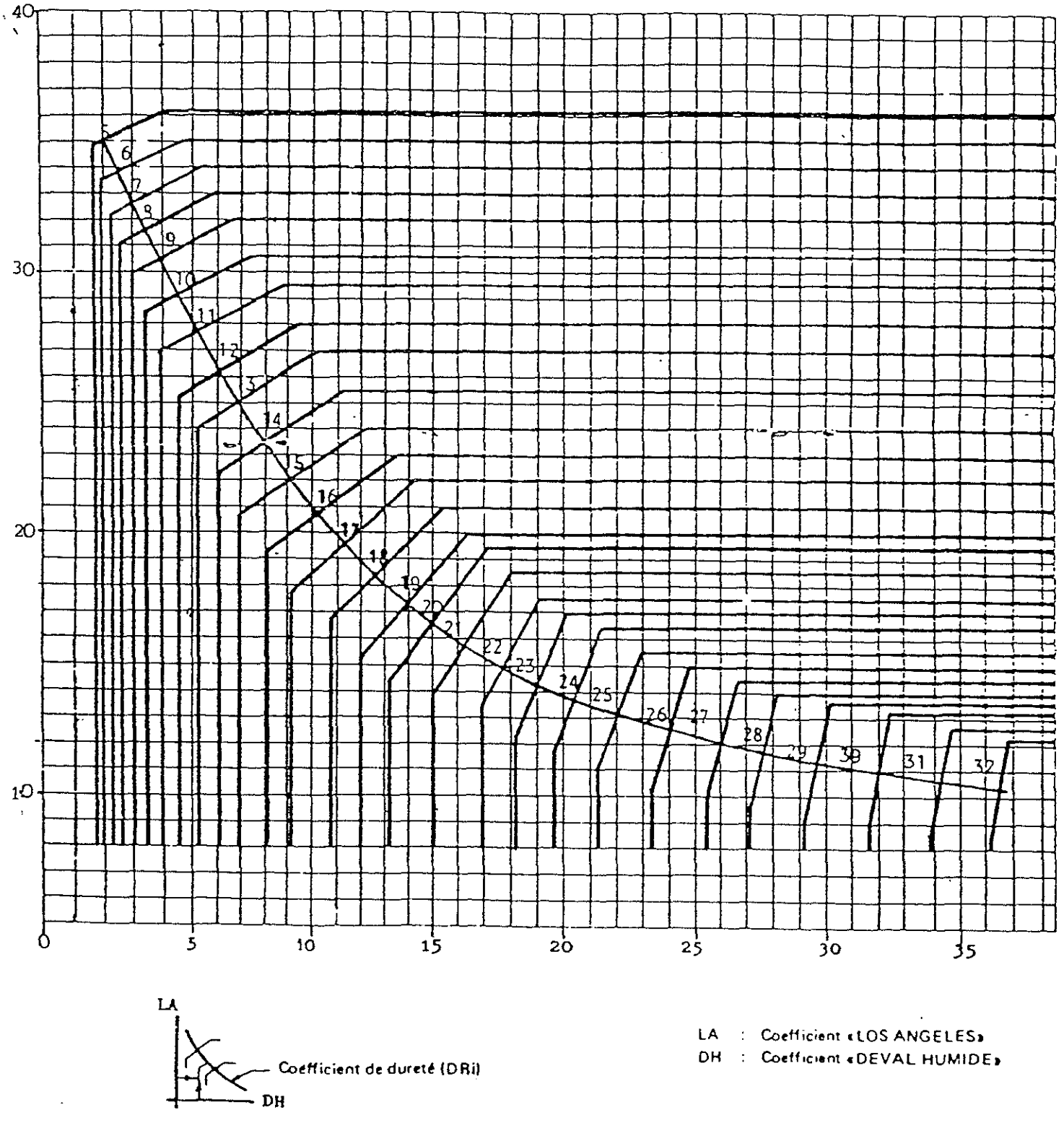


Figure 1 - Ballast SNCF : Détermination du coefficient de dureté en fonction des coefficients "Los Angeles" et "Deval Humide"

4.2.2. Granulats pour ouvrages SNCF

4.2.2.1. Ballast

Il n'existe pas en France de spécification normalisée dans ce domaine. Les spécifications de référence, émises par la Direction de l'Equipement de la SNCF sont contenues dans le document suivant : "Spécification Technique pour la fourniture de Ballast et, Gravillon" - N° 695-D- de Décembre 1980. Par ailleurs, le domaine d'utilisation de chaque nature de ballast est déterminé dans la Notice Générale EF2C32 n° 2. Le ballast et le gravillon proviennent exclusivement du concassage de roches extraites dans des carrières de pierres dures. Pour la fourniture de ballast, l'exploitant est tenu de faire agréer sa carrière selon un protocole défini par la SNCF.

Les spécifications de la SNCF pour les ballasts reposent principalement sur des critères de granularité, résistance, forme, homogénéité et propreté.

La **résistance** d'un échantillon de granulats pour ballast est caractérisée par un coefficient de dureté DRi déterminé par le biais d'abaques à partir des résultats d'essais Deval et Los Angeles (eux-mêmes effectués selon des modes opératoires imposés par la SNCF) (cf. fig. 1).

Pour chaque carrière, une étude statistique des coefficients DRi permet de calculer le coefficient Dureté Globale DRG.

Pour être agréée, la carrière ne doit présenter qu'un coefficient de DRG supérieur ou égal à 13,5. Ce coefficient spécifié dans chaque marché varie de 13 à 16 suivant l'utilisation prévue.

Dans le cadre du contrôle de la **granularité**, les fuseaux sont établis en application des prescriptions du Bulletin Officiel du Ministère de l'Equipement et du Logement Fasc. 23 (cf. tableau 11).

Points singuliers des fuseaux	**Dimension des mailles carrées**			**Tolérances normales**
	ballast	**ballast fin**	**gravillon**	
Dmax = 1,25 D	63	40	31,5	Masse "retenue" 0%
D tamis intermédiaire	50 40	31,5 25	25 16	Masse "retenue" ≤ 10% Masse "retenue" comprise entre 26 et 60% pour le ballast et entre 40 et 75% pour le gravillon
d	25	16	10	Masse "retenue" ≥ 90%
Dmin = 0,63 d	16	10	6,3	Masse "retenue" ≥ 98%

Tableau 11 - Contrôle de granularité sur granulats pour ouvrages SNCF

Les éléments de ballast et de gravillon doivent présenter des **formes** polyédriques à arêtes vives.

Leur longueur et leur épaisseur sont contrôlées par le test des "aiguilles" et le test des "plats".

Destination	**Type**	**D (mm)**	**% ≤ 80 µm**	**ESV**	**VB si ESV non respecté**	**LA**	**MDE**
Matériaux	- Zone inondable (ZI)	80 à 500	≤ 5	> 35			
Drainants	- Zone humide (ZH)	80 à 500	≤ 10	> 35			
Blocs	- Grave traitée	60	≤ 10	> 30		≤ 25	≤ 20
Techniques	- Grave non traitée	31,5 en centrale 60 en place	≤ 10	> 30		≤ 25	≤ 20
Ouvrages de Protection	- Masques, tranchées et éperons drainants	60 à 400		> 40			
Structure	- Couche de forme	150	≤ 10	> 30	< 2	≤ 25	≤ 20
d'assise	- Sous couche	31,5 (fuseau complet)	3 à 7	> 40	< 1,5	≤ 20	≤ 15

Tableau 14 - Principales caractéristiques des matériaux autres que le remblai courant et le ballast utilisé par la SNCF pour ses ouvrages TGV

Les valeurs de la cote L du gabarit de contrôle du test des "aiguilles" doivent être celles qui sont indiquées dans le tableau 12 ci-après :

Matériau	D	Dmax	L	Tolérances normales
Ballast normal	50	63	92	Le % en masse de matériaux de longueur ≥ L ne doit pas dépasser 4 %
Ballast fin	31,5	40	58	
Gravillon	25	31,5	46	

Tableau 12 - Contrôle du test des "aiguilles" sur granulats pour ballast SNCF

La largeur des fentes des grilles de contrôle du test des "plats" doit correspondre aux valeurs de la cote "e" indiquées dans le tableau 13 ci-dessous :

Matériau	d	dmin	e	Tolérances normales
Ballast normal	25	16	16	Le % en masse de matériaux passant à travers les grilles dont les fentes ont pour largeur "e" ne doit pas dépasser 7 %
Ballast fin	16	10	10	
Gravillon	10	6,3	6,3	

Tableau 13 - Contrôle du test des "plats" sur granulats pour ballast SNCF

Au niveau de **l'homogénéité** du granulat, la proportion d'éléments friables ne doit pas excéder 3 %. Sur le plan de la **propreté**, les matériaux ne doiventpas comporter globalement plus de 1 % de sable, poussières, débris terreux, etc.

4.2.2.2. Remblais techniques

Les structures d'assises, les couches drainantes et les ouvrages de protection des voies SNCF font l'objet de spécifications qui figurent dans un cahier des charges propre à cette société. Le tableau 14 synthétise les principales caractéristiques des matériaux exigées pour les ouvrages TGV.

Phase	Matériel	Type usuel d'exploitation		
		RM	SMT	SMM
Foration	Marteau perforateur fond de trou ou hors de trou	x		
Extraction	Pelle mécanique	x	x	
	Dragueline	x		
	Pelle hydraulique	x	x	
	Bouteur sur chenilles	x		
	Chargeur sur pneumatiques	x	x	
	Décapeuse automotrice		x	
	Drague à godets		x	x
	Drague à benne perçeuse		x	x
	Drague suceuse		x	x
	Excavation à godets		x	
	Roue-pelle		x	
	Drague suceuse porteuse			x
Transport	Tombereau	x	x	
	Camion	x	x	
	Bandes transporteuses	x	x	
	Conduite hydraulique		x	x
	Chaland			x
	Drague suceuse porteuse			x

RM : Roche massive
SMT : Sédiment meuble terrestre
SMM : Sédiment meuble en mer

Tableau 15 - Principaux matériels employés pour l'exploitation des carrières

5. METHODES D'EXPLOITATION ET DE TRAITEMENT

5.1. TECHNIQUES

Compte tenu de la diversité de nature des roches susceptibles de fournir des granulats, les moyens nécessaires à l'exploitation des gisements sont extrêmement variables.

L'exposé de toutes les techniques utilisables en chantier mériterait de longs développements et il convient pour plus de détails de se référer aux documents spécialisés dont les plus connus sont par ailleurs cités dans la liste de références bibliographiques annexées à ce mémento.

Les principaux moyens d'extraction sont indiqués pour mémoire dans le tableau 15.

La préparation des granulats consiste généralement en une succession d'opérations mécaniques simples destinées à trier les matériaux par classes granulaires avec ou sans concassage préalable et à procéder éventuellement à une épuration de façon à éliminer les éléments fins indésirables.

Le matériel de traitement est variable selon :

- la nature pétrographique de la roche brute (dimension des blocs, pollution argileuse, dureté, abrasivité,...) ;

- les exigences qualitatives sur les produits finis (granularité, propreté, angularité,...) ;

- la capacité de production souhaitée.

Les installations de traitement sont généralement classées en deux catégories selon que celui-ci s'effectue à sec ou qu'il comporte un circuit de lavage (voie humide).

Par voie sèche le schéma de l'installation comprend en général des unités de **criblage** et de **concassage**, éventuellement de **défillerisation**.

Par voie humide, le schéma comprend le **lavage**, le criblage et le concassage.

En tête de traitement des roches massives (avant ou après concassage primaire) l'installation comprend parfois une unité de **scalpage** destinée à éliminer par criblage les matériaux terreux, les blocs d'argiles, les morceaux de bois...

Lorsque le matériau est très argileux, l'installation peut également disposer d'un circuit de **débourbage**.

Dans certains cas liés par exemple à des facteurs économiques (marché de sable fin) ou techniques (correction de courbes granulométriques), les installations peuvent également comporter en fin de chaîne des unités de broyage de sable.

Enfin, l'exploitant procède souvent à des **recompositions** de divers matériaux pour obtenir, par mélange en proportions voulues des diverses classes granulométriques fabriquées, un produit conforme aux spécifications de l'utilisateur.

Les granulométries les plus couramment produites en gravières ou en carrières sont les suivantes (en mm) :

- sables : 0/2, 0/3, 0/4, 0/5, 0/6

- graviers : 3/8, 4/10, 5/15, 6/20, 10/20, 15/25, 20/40, 30/60, 40/50,...

- mixtes : 0/10, 0/31,5, 0/60,...

5.2. COUT D'EXPLOITATIION

Les coûts d'exploitation sont naturellement très variables d'une carrière à l'autre. En général, il est admis que les coûts de production se répartissent schématiquement de la façon suivante :

- Gisement alluvionnaire :
  . découverte, extraction, chargement, transport : 1/2
  . traitement, stockage : 1/2

- Gisement de roche massive :
  . découverte, abattage : 1/3
  . chargement, transport : 1/3
  . traitement, stockage : 1/3

En moyenne le matériel roulant (chargeuses, tombereaux) doit être remplacé tous les 5 ans. Les installations fixes de traitement ont une durée de vie comprise en général entre 10 et 20 ans. La qualité du matériel, les conditions de fonctionnement ou d'entretien des engins et l'abrasivité des roches exploitées influent notablement sur la vitesse d'usure du matériel.

L'énergie nécessaire à la production des granulats (gazole, explosif, électricité,...) représente de l'ordre de 8 à 15 % du prix de vente moyen des matériaux.

6. DONNEES ECONOMIQUES

6.1. FRANCE

6.1.1. Production globale

La production française de granulats a été multipliée par plus de 7 entre 1950 (50 Mt) et 1992 (370 Mt) avec un taux de croissance extrêmement élevé pendant les 20 premières années de cette période, lié en particulier aux développements de l'utilisation des bétons et des produits préfabriqués. Le tableau 16 en donne le détail.

Entre 1981 et 1985 les difficultés dans le domaine de la construction ont inversé la pente de la courbe de la production qui se redresse depuis lors sans encore rattrapper les chiffres record de 1980 qui avaient atteint, compte tenu de la population nationale, une moyenne de 7 t/habitant.

Pour l'année 1991, la production nationale a été de 399 millions de tonnes (soit 7,8 t/habitant/an) tandis que la production 1992 est à la baisse avec 370 Mt.

Les granulats naturels proviennent de 3 grands types de gisements :
- matériaux alluvionnaires (sables et graviers fluviatiles et marins) .
- roches calcaires .
- roches éruptives (granites, basaltes, gabbros, etc.).

53 % des granulats produits en France en 1992 sont d'origine alluvionnaire (soit 197 Mt) contre 22 % de produits calcaires (81 Mt) et 25 % de matériaux éruptifs (92 Mt).

Le pourcentage des sables et graviers d'alluvions extraits est en diminution constante depuis une vingtaine d'années au profit des matériaux calcaires tandis que la part des produits éruptifs est restée sensiblement stable autour de 20 %. Le tableau 17 en montre l'évolution.A titre d'exemple la région Languedoc-Roussillon a vu son pourcentage de granulats alluvionnaires passer de 70 % en 1973 à moins de 35 % en 1992.

Au rythme de la tendance constatée, on estime que les granulats d'alluvions fluviatiles ou marins et ceux issus de roches massives (éruptives et calcaires confondues) seront exploitées au niveau national à part égale d'ici une dizaine d'année.

La production de sable et graviers tend à être considérée comme une ressource destinée essentiellement à des "usages nobles". Dans certaines régions, il est désormais interdit d'employer les produits alluvionnaires comme matériaux de remblais.

L'utilisation de granulats de roches calcaires concassées se développe rapidement dans les régions riches en matériaux de ce type, surtout lorsque les alluvions sont rares ou épuisées. Les granulats de roches éruptives ou métamorphiques concassées sont produits principalement dans des régions où elles constituent pratiquement la seule ressource. Cependant ces derniers satisfont aussi bien les marchés locaux que les marchés de viabilité plus classiques et plus éloignés.

1950	1970	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
50	277	302	326	338	320	348	345	351	358	378	369	342	327	299	294	316	335	378	390	395	399	370

Tableau 16 - Evolution de la production française de granulat,en Mt, entre 1950 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

	1970	1977	1980	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
ROCHES ALLUVIONNAIRES	68%	66%	63%	61%	59%	58%	56%	55%	55%	54%	53%
ROCHES CALCAIRES	12%	14%	16%	19%	19%	20%	22%	22%	22%	23%	22%
ROCHES ERUPTIVES	20%	20%	21%	20%	22%	22%	22%	23%	23%	23%	25%

Tableau 17 - Evolution de la production française de granulats par nature de granulats en pourcentage
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

Enumération des produits	Production 1991 (x 1000 t)	Production 1992 (x 1000 t)
Granulats d'alluvions		
Fines o/D D < 0,08 mm	230	240
Sables o/D D ≤ 8 mm	82230	72940
Graviers et gravillons d/D 2 mm ≤ 31,5 mm	70150	63970
Cailloux et pierres cassées d/D 31,5 mm < D ≤ 80 mm	8030	7130
Blocages et enrochements 80 mm < D	930	820
Graves o/D 8 mm < D	10980	10480
Tout venant et produits précriblage	36350	30790
Sablons	6810	6930
Produits divers non mentionnés ci-dessus	2970	2310
Total	**218680**	**197140**
Granulats calcaires de carrières		
Fines o/D D < 0,08 mm	60	40
Sables o/D D ≤ 8 mm	15370	13680
Graviers et gravillons d/D 2 mm ≤ 31,5 mm	22700	21330
Cailloux et pierres cassées d/D 31,5 mm < D ≤ 80 mm	14180	13760
Blocages et enrochements 80 mm < D	5810	5190
Graves o/D 8 mm < D	13810	13550
Tout venant et produits précriblage	17730	15560
Produits divers non mentionnés ci-dessus	1620	1300
Total	**91280**	**84410**
Granulats éruptifs de carrières		
Fines o/D D < 0,08 mm	70	40
Sables o/D D ≤ 8 mm	12640	12470
Graviers et gravillons d/D 2 mm ≤ 31,5 mm	35160	35090
Cailloux et pierres cassées d/D 31,5 mm < D ≤ 80 mm	11510	11420
Blocages et enrochements 80 mm < D	3290	3240
Graves o/D 8 mm < D	11730	11840
Tout venant et produits précriblage	15510	15490
Produits divers non mentionnés ci-après	1910	2020
Total	**91820**	**91610**

Tableau 18 - Production totale de sables et graves d'alluvions, de granulats calcaires et de granulats éruptifs pour les années 1991 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

La production de granulats marins extraits du plateau continental, notamment dans les estuaires des fleuves, permet de relayer partiellement au rythme d'environ 3 Mt/an, dans certaines zones géographiques restreintes, les granulats d'origine terrestre en voie d'épuisement. Cependant l'exploitation de cette ressource est limitée tant pour des motifs économiques qu'en raison des contraintes d'environnement aussi aiguës que sur les sites terrestres. On assiste néanmoins depuis quelques mois à une relance dynamique des activités et des projets de dragage sous-marin de la part de grosses entreprises.

Les pouzzolanes (agrégats légers) ne sont pas traités dans le cadre de ce rapport et représentent une faible part des activités extractives françaises (481 000 t en 1991).

La production française de granulats a poursuivi sa dégradation au cours du premier semestre 1993. Au rythme de production constaté, il est fort probable que la production de cette année chutera comme en 1992 de l'ordre de 6%. On notera une nette baisse de la production des matériaux alluvionnaires (197 Mt en 1992 contre 219 Mt en 1991. Un état de la production totale de sables et graviers d'alluvions, de granulats calcaires et de granulats éruptifs pour les années 1991 et 1992 est donné dans le tableau 18.

6.1.2. Marché

Le marché des granulats est, d'une façon générale, régi par deux règles économiques fondamentales :

- la lourdeur des investissements ;
- des coûts de transport relativement élevés, ce qui joue en faveur d'une implantation des exploitations aussi proche que possible des lieux d'utilisation.

Une installation coûte en investissement souvent plus de 2 fois son chiffre d'affaires annuel. Ce ratio est comparable à celui de l'industrie cimentière. Dans les exploitations de roche massive, on cite souvent le chiffre de 50 à 60 F d'investissement par tonne de capacité de production pour une installation nouvelle.

La lourdeur des investissements exige une longue durée d'amortissement généralement supérieur à la décennie.

Plus de 90 % du tonnage des granulats est transporté par route, l'eau achemine 7 % de la production, le fer les 3 % restants. Le faible prix de vente des produits interdit leur transport sur de longues distances (exception faite en ce qui concerne le ballast SNCF). On estime généralement que le prix des matériaux livré par voie routière double au-delà de 50 km. En moyenne nationale, le transport pèse de plus en plus dans le coût d'une tonne de granulat. De 45 % en 1976, la part du transport est en effet passée à 55 % en 1986, soit une augmentation au rythme moyen de un point par an. Ce ratio varie sensiblement d'une région à l'autre et d'un matériau à l'autre. Ainsi, en Ile de France, le transport représente les 3/4 du coût des granulats pour enrobés contre 30 % en Bretagne. Entre 1970 et 1986, le prix des granulats rendus sur les chantiers de la région parisienne a augmenté deux fois plus rapidement que le prix des fournitures départ carrière.

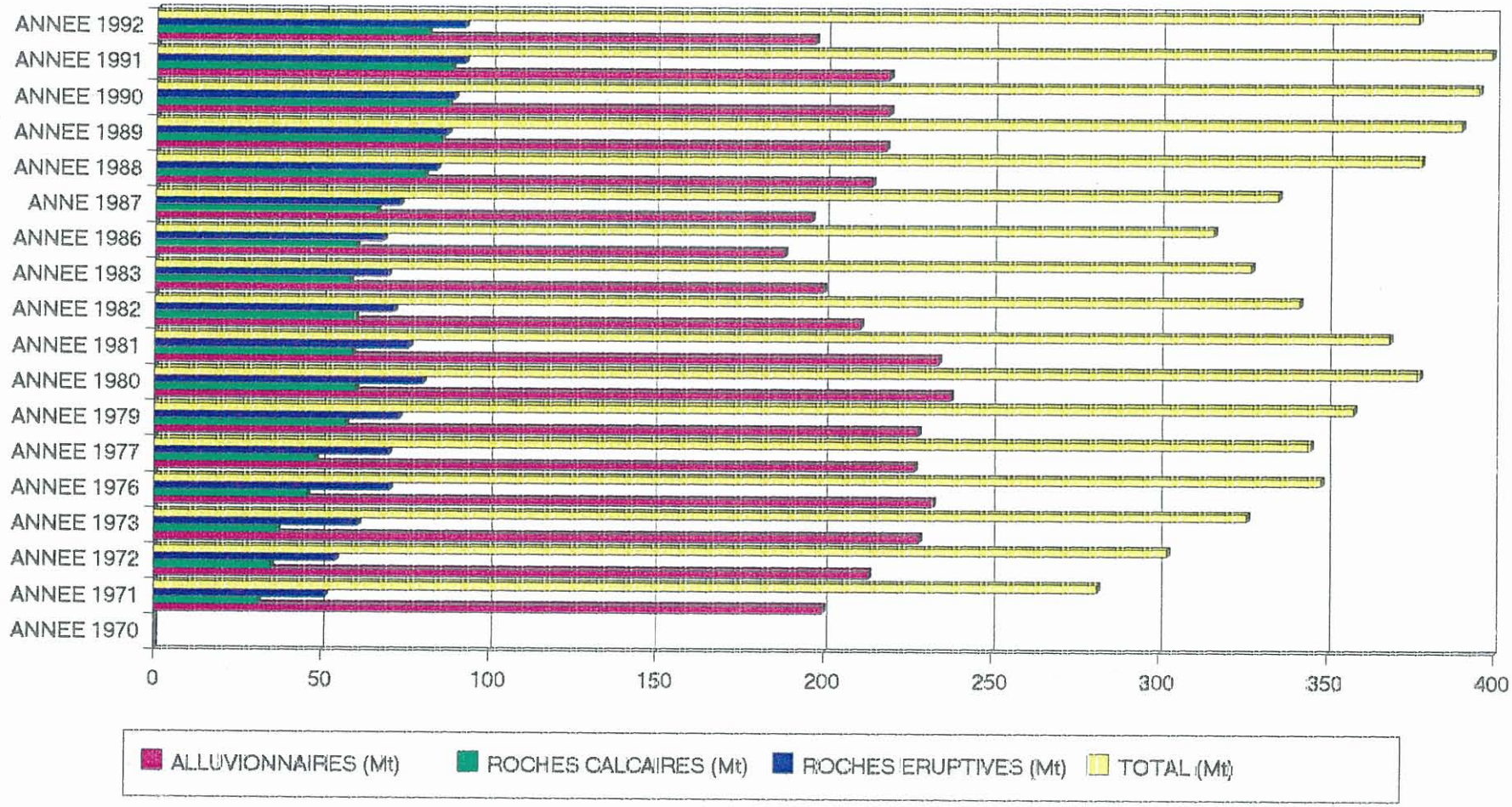


Figure 2 - Evolution de la production française de granulats par nature de granulats, en Mt entre 1970 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

En dehors des problèmes économiques qui résulteraient de l'usure du réseau routier du fait du transport des granulats, on estime qu'un éloignement supplémentaire de 30 km des installations de production par rapport aux lieux d'utilisation conduirait à une augmentation d'environ 6 % de la consommation française totale de gazole.

Les ressources locales sont le plus souvent susceptibles d'assurer les besoins techniques courants des utilisateurs. Il résulte de ces facteurs que les exploitations sont disséminées sur toute l'étendue du territoire en fonction directe de la consommation, laquelle est caractérisée par une mosaïque de "micromarchés". Les installations les plus nombreuses et aussi les plus importantes se trouvent par conséquent établies dans des zones de forte demande : agglomérations urbaines et régions industrielles qui constituent également des zones sensibles sur le plan de l'environnement.

En France, la surface de terrain "consommée" annuellement par les carrières de granulats est estimée à 3 000 ha environ.

6.1.3. Structure de la Profession

Environ 3 600 entreprises extraient du sous sol français des roches pour granulats à travers plus de 4 000 points d'extraction. Ce nombre d'entreprises a peu varié au cours des 10 années précédentes : il concernait 3 688 sociétés en 1990. Cependant les progrès techniques industriels et le développement de l'automatisation dans les carrières se sont traduits par une réduction des effectifs de près de 25 % entre 1977 (24 300 personnes) et 1987 (17 900 personnes) ou 1992 (16 800 personnes) parallèlement à une augmentation spectaculaire de la productivité. En effet, les gains de productivité moyenne ont plus que doublé en 17 ans passant de 6,6 tonnes de granulats par heure en 1973 à 12,6 tonnes/heure en 1987, 14,4 tonnes/heure en 1989 et 16 tonnes/heure en 1992. La figure 2 montre l'évolution de la production française de granulats, par nature de granulats, exprimée en Mt, entre 1970 et 1992.

Les granulats sont principalement exploités par des petites et moyennes entreprises. En 1992, 405 entreprises exploitant des sables et graviers d'alluvions avaient un chiffre d'affaires inférieur à 250 000 F contre 160 dans le domaine de l'exploitation des granulats calcaires et 77 dans celui des éruptifs.

Cependant, la Profession fait l'objet depuis ces dernières années d'un mouvement de concentration industrielle surtout significatif dans le périmètre des grandes métropoles urbaines et qui tend également à s'étendre par des prises de participation en capital ou des rachats d'entreprises vers des centres de moindre importance.

Le chiffre d'affaires global des sociétés productrices de granulats (toutes catégories confondues) a plus que triplé entre 1977 (4,7 milliards F) et 1991 (14,5 milliards F) pour atteindre en 1992 14,1 milliards F. Le tableau 19 fournit, pour la période 1977 à 1992, des données générales sur la profession des producteurs de granulats.

Les 35 premières entreprises appartenant à la branche industrielle des producteurs de granulats et qui commercialisent annuellement plus de 1 million de tonnes de produits réalisent moins du quart de la production nationale. Le tableau 20 fournit des données statistiques, par classes de production, sur les entreprises productrices de granulats en 1990, 1991 et 1992.

	1977	1981	1982	1983	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Chiffre d'affaire HT (milliards de F)	4,7	7,9	8,5	8,79	10,8	12,5	13,3	13,8	14,9	14,3
Nombre d'entreprises	2500		2700	2970	2500	2400	2300	2330	2270	2220
Effectifs	24300	23300	22230	21200	17900	18200	18200	18400	17900	16800
Heures travaillées (en milliers)	43200		34900	32220	26600	27000	27000	27000	25900	23900
Productivité tonnes/effectif	14200	2000	15200	15400	18700	20800	21400	21500	23000	22700
Productivité tonnes/heures	8	9,6	9,7	10,2	12,6	14	14,4	14,6	15,9	16
Tonnes par habitant	6,5	7	6,2	6	6	6,8	7	7	7,2	6,6

Tableau 19 - Données générales sur la profession des producteurs de granulats entre 1977 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

Classes de production en 1000 t		Nb entreprises			Production en 1000 t			Production (%)		
		1990	1991	1992	1990	1991	1992	1990	1991	1992
Alluvionnaire	1000 et plus	22	27	26	56500	63349	61637	26	29	31
	500 et plus	97	96	76	108900	110682	94435	50	51	48
	250 et plus	221	215	187	151800	152153	134343	69	70	68
	100 et plus	483	486	441	193700	195607	174039	88	89	88
	1 et plus	1315	1246	1177	219200	218681	197143	100	100	100
Roches calcaires	1000 et plus	11	12	13	21200	23404	20888	24	26	25
	500 et plus	37	41	37	39000	44090	37382	45	48	44
	250 et plus	96	90	87	59700	60879	54961	69	67	65
	100 et plus	208	217	208	77800	81954	75323	89	90	89
	1 et plus	487	481	471	87200	91285	84414	100	100	100
Roches éruptives	1000 et plus	12	13	15	28500	29876	31241	32	33	34
	500 et plus	38	42	46	44900	49306	51005	50	53	56
	250 et plus	107	103	106	69700	71702	72805	78	78	74
	100 et plus	190	190	187	82800	85718	85983	93	93	93
	1 et plus	364	352	356	89100	91823	91607	100	100	100

Tableau 20 - Données statistiques, par classes de production, sur les entreprises productrices de granulats en 1990 et 1992

Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

SOCIETES	NOMBRE DE SITES	PRODUCTION 1990 (Mt)	PRODUCTION 1991 (Mt)	PRODUCTION 1992 (Mt)
REDLAND GRANULATS Groupe REDLAND (UK)	Environ 100			40
COMPAGNIE DES SABLIERES DE LA SEINE (CSS) LAFARGE BETON GRANULATS Groupe LAFARGE COPPEE	Environ 100			29
ARENA Groupe des SABILERES MODERNES (GSM) Groupe CIMENTS FRANCAIS	Environ 120			28
MORILLON CORVOL (S.E.M.C.) Groupe RMC (UK)	Environ 60			19
COCHERY BOURDIN CHAUSSEE Groupe COMPAGNIE GENERALE DES EAUX	Environ 32			15
JEAN LEFEBVRE Groupe LYONNAISE DES EAUX	Environ 80			13
VICAT	Environ 60			12
ORSA GRANULATS Groupe ORIGNY HOLDERBANK (Suisse)	30 en 1991 45 en 1992		6	
CEDEST Groupe CGIP		3,3	3,2	2,7
COLAS Groupe BOUYGUES		4		
BARRIAUD Groupe TARMAC (UK)	13			1,7

Tableau 21 - Principaux exploitants français de granulats en 1992

En France, les plus importants producteurs de granulats sont pour la plupart affiliés à des grands groupes : cimentiers, fabricants de béton, producteurs de substances minérales industrielles ou entreprises de travaux publics. Le tableau 21 donne des indications sur les tonnages fournis par les principaux exploitants français de granulats en 1992.

A l'amont, l'industrie de la production des granulats est le client principal (par ses investissements et sa consommation courante) des constructeurs de matériels lourds et comme fabricants d'explosifs. A l'aval, elle est le fournisseur essentiel, comme l'industrie cimentière, des industries du béton prêt à l'emploi et du béton manufacturé.

Sa contribution indispensable aux secteurs du Bâtiment et des Travaux Publics qui emploient 1 200 000 personnes soit 8 % de la population active du pays, permet de percevoir toute son importance dans l'activité économique nationale.

A titre d'exemple, les granulats représentent en tonnage le tiers des transports routiers, les deux cinquièmes du frêt convoyé par voie d'eau (région parisienne essentiellement) et le vingtième des marchandises acheminées par voie ferrée.

6.1.4 - Consommation des granulats

Les granulats constituent le matériau de base le plus important dans la Construction et les Travaux Publics :

- dans le domaine des Travaux Publics, la création et la réfection des routes sont principalement réalisés en utilisant des sables et graviers concassés de diverses origines

- dans le secteur de la construction et pour les ouvrages d'art, le matériau le plus utilisé du fait notamment de ses performances techniques et de son faible prix est aujourd'hui le béton, mélange de 85 % de granulats et 15 % de ciment (hors eau de gâchage).

En 1992, la consommation française en granulats a été de 377 Mt (sur 370 Mt produites). L'écart de 7 Mt s'explique essentiellement par le solde des importations-exportations. Cette consommation est inégalement répartie entre les ouvrages du Génie civil 77 % (soit 289 Mt) et ceux du Batiment 23 % (88 Mt). Le tableau 22 et les figures 3 et 4 en montrent l'évolution entre 1981 et 1992.

Les voieries (routes, autoroutes, ballast ferroviaire) représentent près des 2/3 des utilisations dans le secteur du génie civil.

Les bétons et produits en béton absorbent plus de 36 % de la consommation nationale se répartissant en 2 classes :

- les bétons hydrauliques préparés directement sur les chantiers, ou élaborés à partir de centrales à béton prêt à l'emploi (B.P.E.)

- les bétons manufacturés pour la confection de blocs, tuiles, poutrelles, panneaux de façade, tuyaux, bordures,...

Année	Consommation par nature d'ouvrages (Mt)		Consommation par nature d'emplois (Mt)	
	Bâtiment	Génie Civil	Bétons hydrauliques	Autres emplois
1981	121	247	186	182
1982	115	226	169	172
1983	110	207	146	171
1987	89	239	118	210
1988	84	286	128	242
1989	95	287	148	234
1990	100	289	155	234
1991	96	301	150	247
1992	88	289	139	238

Tableau 22 - Consommation française de granulats exprimée en Mt entre 1981 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

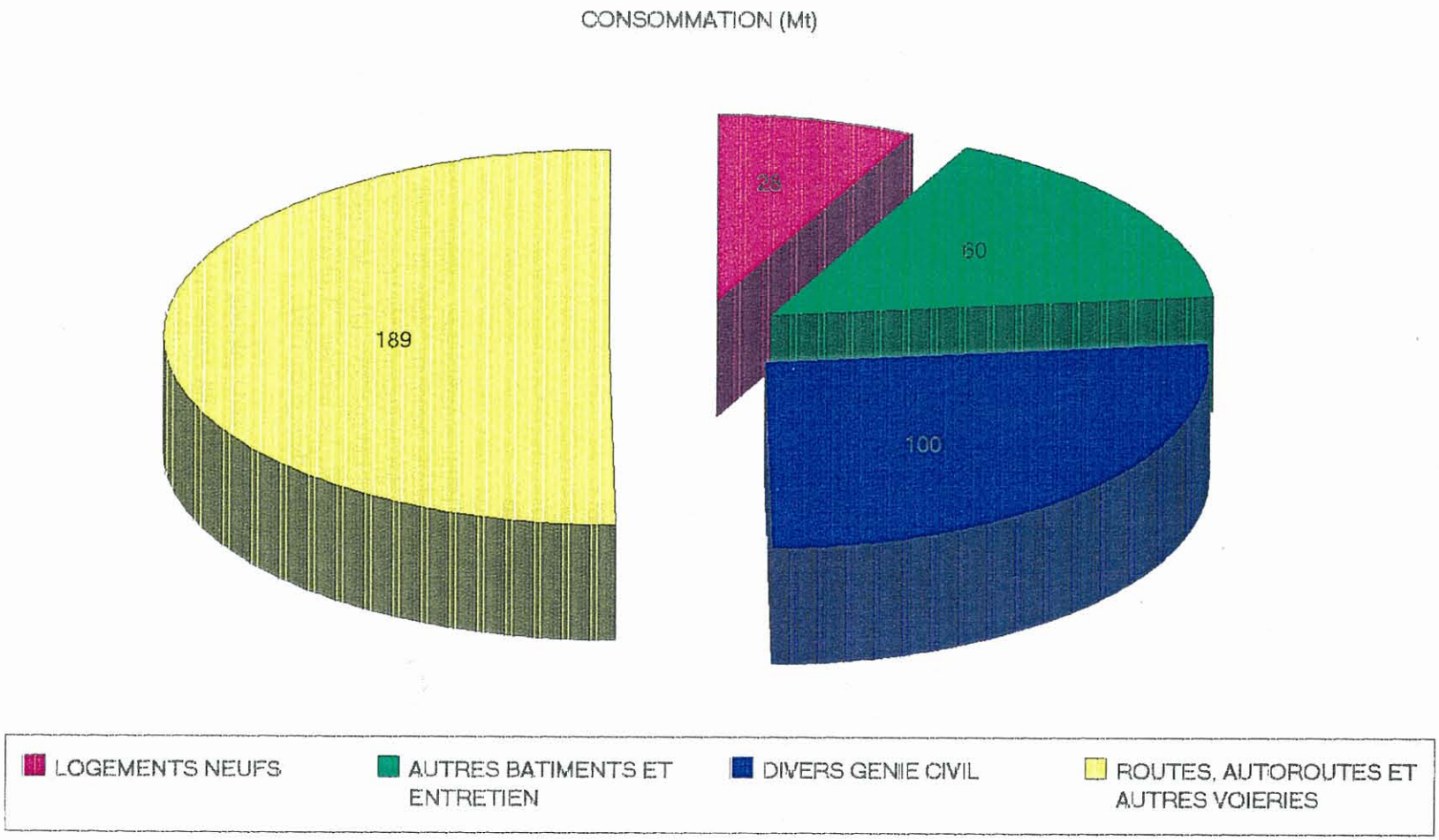


Figure 3 - Consommation française de granulats par nature d'ouvrages, exprimée en Mt, en 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

Les 64 % des granulats restant sont consommés soit en béton bitumineux, soit utilisés sans aucun additif : graves, sablons, enrochements, ballasts.

Classiquement les consommations élémentaires moyennes en granulats estimées pour quelques ouvrages "étalons" sont les suivantes :

- un mètre cube de béton : 1,8 à 1,9 t ;
- une maison : 100 à 300 t ;
- un hôpital ou un lycée : 200 à 400 t ;
- un kilomètre d'autoroute neuve : 30 000 t ;
- un kilomètre de route : 12 000 t ;
- un kilomètre de voie ferrée (double voie) : 16 000 t ;
- une centrale nucléaire (4 tranches) : 6 à 12 Mt ;
- ballast SNCF : 5 Mt/an ;
- enrochements d'endiguement : 16 Mt/an.

Selon leur origine, les granulats ont des gammes d'utilisations spécifiques ou tout au moins privilégiées induites par leurs caractéristiques physiques. En effet, les granulats d'alluvions sont les plus recherchés pour la fabrication des bétons hydrauliques, notamment par la qualité des éléments fins qu'ils contiennent. Les granulats de roches calcaires concassées s'emploient surtout dans les assises routières mais certaines catégories appartenant à ce matériau tendent le plus souvent à être utilisées dans les bétons hydrauliques, notamment dans les régions qui présentent un déficit en matériaux alluvionnaires.

Grâce à leurs qualités spécifiques de résistance mécanique connues de longue date, les granulats concassés de roches éruptives sont particulièrement appréciés comme ballast de voie ferrée et pour la construction et l'entretien des couches d'usure des chaussées routières. Ces roches éruptives autorisent des transports sur des distances relativement élevées en raison, notamment de la tarification particulière établie par la SNCF.

6.1.5 - Activité extractive régionale

Si, globalement la production nationale de 1993, sensiblement revenue à son niveau de 1973, semble indiquer une apparente stabilité à l'échelle nationale, dans le détail, la comparaison des données statistiques régionales fait apparaître des évolutions très variables d'une région à l'autre au cours des 13 dernières années. Le tableau 23 indique l'évolution des productions régionales de granulats, exprimée en Mt, entre 1973 et 1992. Le tableau 24 précise l'état de la production française de granulats, exprimée en Mt, par département en 1992.

En effet, certaines régions ont connu au cours de cette période une baisse de production très importante (45 % pour l'Ile de France). D'autres, au contraire ont développé leur activité extractive en granulats dans des proportions considérables (près de 45 % d'augmentation pour la région Languedoc-Roussillon, 32 % en Midi-Pyrénées).

La carte 3 donne le détail de la production départementale française de granulats alluvionnaires.

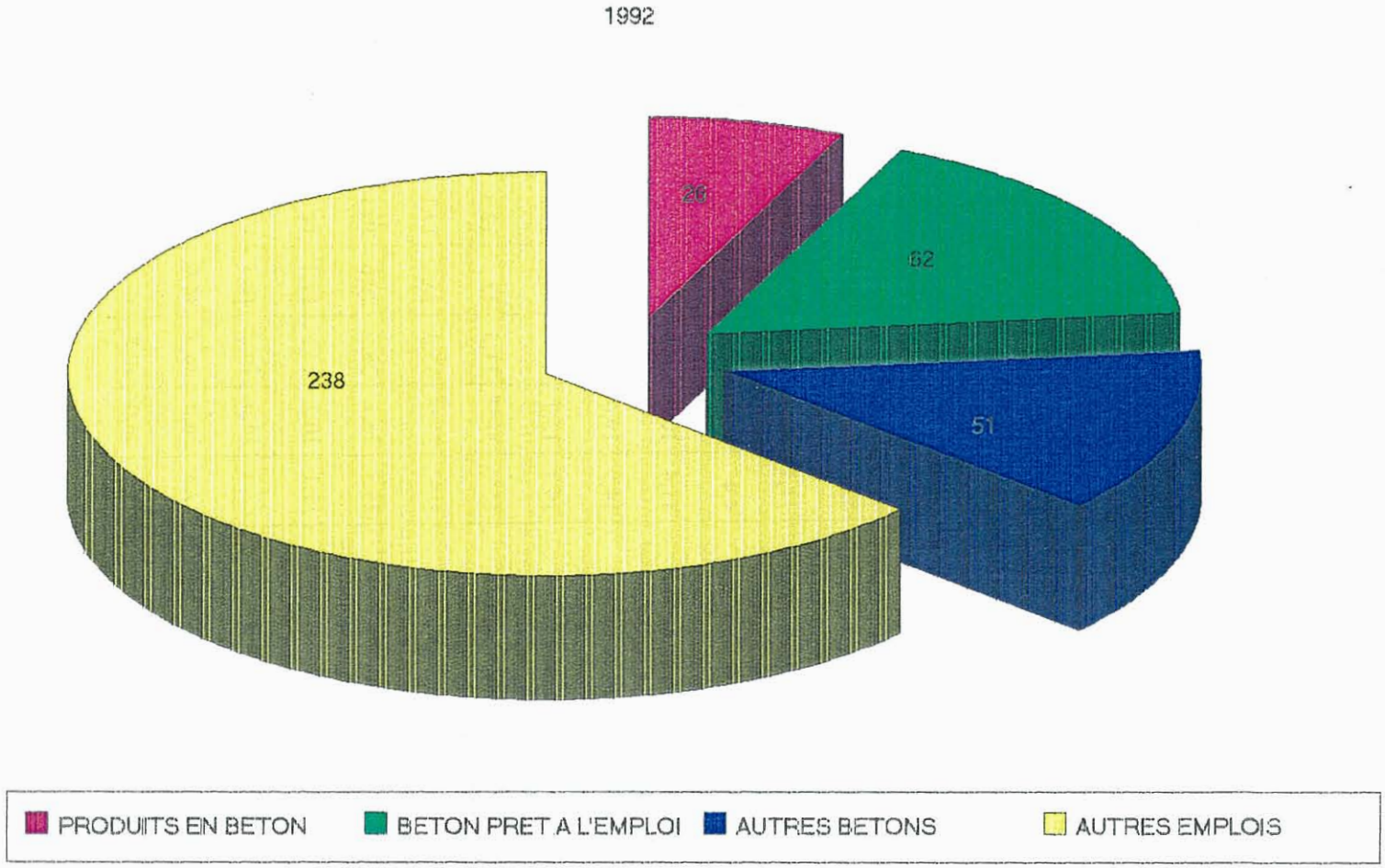


Figure 4 - Consommation française de granulats par nature d'emplois, exprimée en Mt, en 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

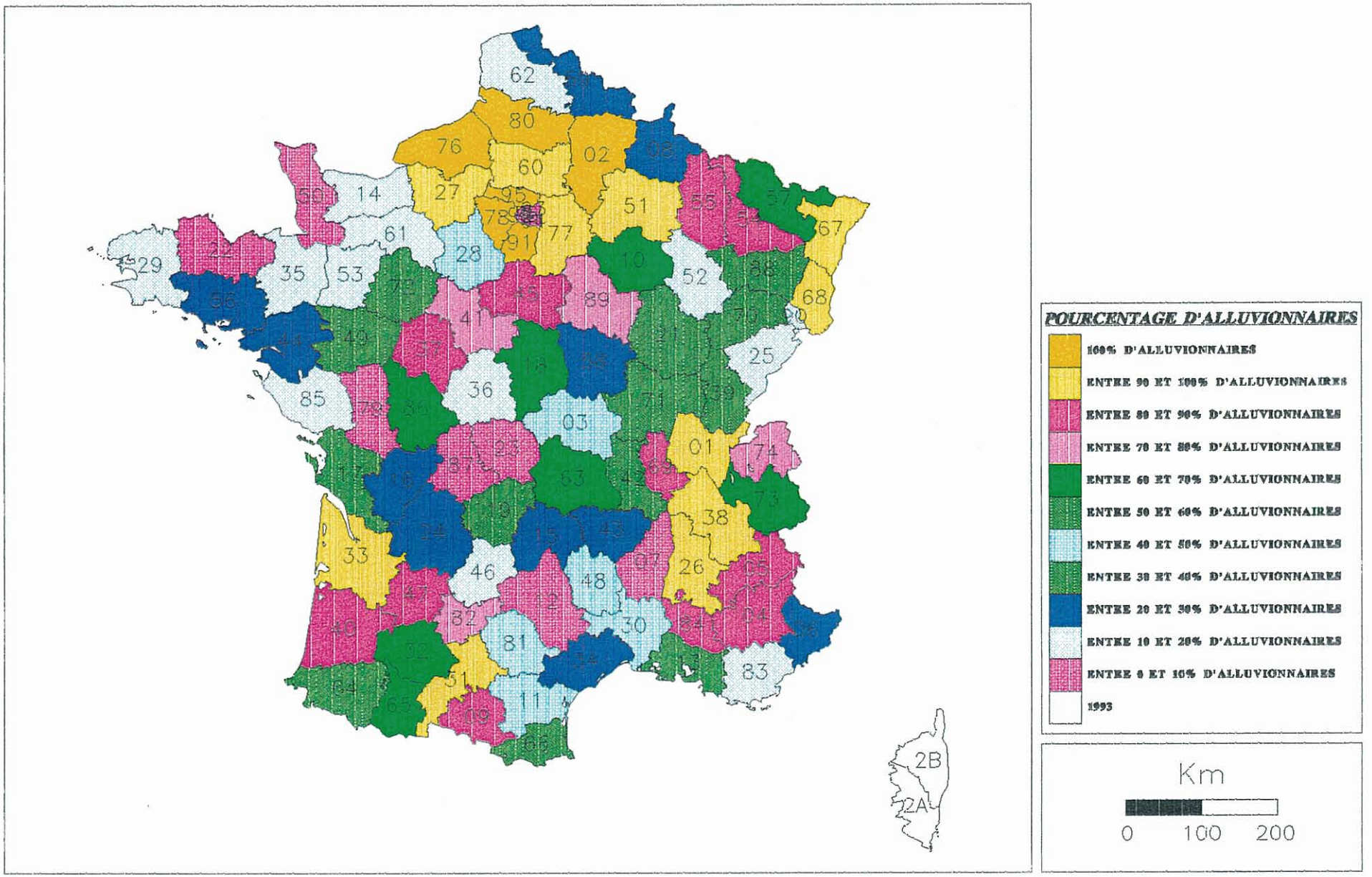
REGIONS (PRODUCTION EN Mt)	1973	1987	1988	1989	1990	1991	1992
ALSACE	25,5	24	26,1	25,9	25,8	27,1	25,9
AQUITAINE	14,2	15,9	16,8	17,5	17,5	16,5	17,1
AUVERGNE	7,8	9,1	11,1	10,9	11,5	11,5	10,4
BOURGOGNE	*	**	14,9	17,4	16,5	16,8	16,7
BRETAGNE	18,1	19,6	22	22,5	22,3	22	23,2
CENTRE	14,8	16,3	19,6	20,5	17,9	18	15,9
CHAMPAGNE-ARDENNE	7,3	7,5	8,7	9,1	8,9	10,2	9,6
FRANCHE-COMTE	*	**	9,1	10,3	10,5	11,1	10,8
ILE-DE-FRANCE	32,4	17,7	19,2	20,6	21,9	21,6	21,8
LANGUEDOC-ROUSSILLON	11,1	16,3	20,2	20,6	20	18,9	17,5
LIMOUSIN	4,4	4	4,7	4,3	4,2	4,5	4,4
LORRAINE	11,4	10,9	11,8	12,5	14	14,5	17
MIDI-PYRENEES	14,9	19,6	20,6	20,1	20,7	20,1	18,1
NORD-PAS-DE-CALAIS	10,3	12,3	14	14,1	16,2	17,6	17,6
BASSE-NORMANDIE	***	****	11,5	12	12,3	13	13,5
HAUTE-NORMANDIE	***	****	15,5	16,4	17,1	17,4	15,4
PAYS-DE-LOIRE	24,3	26,1	28,9	29,6	30,1	30,6	30,1
PICARDIE	11,1	10,2	11,3	11,7	14,2	13,6	12,3
POITOU-CHARENTES	12,3	14,6	16,5	16,3	17,2	17,5	17,7
PROVENCE-ALPES-COTE D'AZUR	29,3	28,9	34,3	34,6	34,6	35,4	30,6
RHONE-ALPES	31,5	36,0	40,8	43	42,2	43,6	36,6

* : Production cumulée 1973 BOURGOGNE + FRANCHE-COMTE = 20,2
** : Production cumulée 1987 BOURGOGNE + FRANCHE-COMTE = 21,7
*** : Production cumulée 1973 BASSE ET HAUTE NORMANDIE = 27,4
*** : Production cumulée 1987 BASSE ET HAUTE NORMANDIE = 24,7

Tableau 23 - Evolution des productions régionales de granulats, exprimées en Mt, entre 1973 et 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

N°	DEPARTEMENT	PROD	% ALL	N°	DEPARTEMENT	PROD	% ALL
1	AIN	5,7	90	49	MAINE ET LOIRE	6,1	31
2	AISNE	3,8	100	50	MANCHE	3,2	13
3	ALLIER	2,9	36	51	MARNE	2,1	97
4	ALPES DE HTE PRO.	1,5	89	52	HAUTE MARNE	1,8	18
5	HTES ALPES	0,9	91	53	MAYENNE	3,4	14
6	ALPES MARITIMES	5,9	22	54	MEURTHE ET MOS.	6,2	64
7	ARDECHE	0,9	3	55	MEUSE	0,6	87
8	ARDENNES	2,6	38	56	MORBIHAN	5	28
9	ARIEGE	1,2	80	57	MOSELLE	5,7	29
10	AUBE	3,2	65	58	NIEVRE	3,2	26
11	AUDE	1,8	47	59	NORD	9,5	16
12	AVEYRON	2	11	60	OISE	5,4	93
13	BOUCHES DU RHO.	10,4	35	61	ORNE	3,9	16
14	CALVADOS	6,5	17	62	PAS DE CALAIS	8,1	11
15	CANTAL	1,7	20	63	PUY DE DOME	4,2	58
16	CHARENTE	3,9	21	64	PYRENEES ATL.	4,4	30
17	CHARENTE MARIT.	2,5	60	65	HTES PYRENEES	1,9	62
18	CHER	2,6	55	66	PYRENEES ORIENT.	3,3	50
19	CORREZE	1,3	35	67	BAS RHIN	17,9	95
20	CORSE	1,4	71	68	HAUT RHIN	7,9	98
21	COTE D'OR	4,8	40	69	RHONE	9,6	79
22	COTES D'ARMOR	5,3	1	70	HTE SAONE	2,9	54
23	CREUSE	0,7	3	71	SAONE ET LOIRE	5,4	35
24	DORDOGNE	2,9	25	72	SARTHE	3,4	51
25	DOUBS	4,4	11	73	SAVOIE	2,9	72
26	DROME	4,7	96	74	HAUTE SAVOIE	3,8	71
27	EURE	10,1	100	75	PARIS	0	0
28	EURE ET LOIR	3,7	50	76	SEINE MARITIME	5,3	95
29	FINISTERE	5,7	12	77	SEINE ET MARNE	17,3	88
30	GARD	4,4	44	78	YVELINES	3,4	96
31	HTE GARONNE	6,5	98	79	DEUX SEVRES	8,7	0
32	GERS	0,6	66	80	SOMME	3,1	93
33	GIRONDE	4,9	96	81	TARN	2,8	35
34	HERAULT	7,2	20	82	TARN ET GARONNE	2,1	70
35	ILE ET VILAINE	7,3	15	83	VAR	7,8	13
36	INDRE	1,3	20	84	VAUCLUSE	2,6	91
37	INDRE ET LOIRE	1,8	84	85	VENDEE	7,1	11
38	ISERE	6,5	97	86	VIENNE	2,7	57
39	JURA	2,3	42	87	HAUTE VIENNE	2,5	8
40	LANDES	2,9	84	88	VOSGES	4,5	55
41	LOIR ET CHER	1,7	97	89	YONNE	3,5	72
42	LOIRE	3	36	90	TER. DE BELFORT	1,3	16
43	HAUTE LOIRE	1,5	26	91	ESSONNE	1,5	84
44	LOIRE ATLANTIQUE	10	24	92	HAUTS DE SEINE	0,3	0
45	LOIRET	4,7	77	93	SEINE ST. DENIS	0	0
46	LOT	1,1	14	94	VAL DE MARNE	0,3	0
47	LOT ET GARONNE	2	82	95	VAL D'OISE	2,2	84
48	LOZERE	0,8	35				

Tableau 24 - Production française de granulats, exprimée en Mt, par départements en 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)



Carte 3 - Production départementale française de granulats alluvionnaires

La plupart des régions assurent au moins 90 % de leur approvisionnement à partir de leurs propres ressources. La principale exception concerne l'Ile-de-France, dont le déficit est de l'ordre de 40 % de la consommation, et encore, dans ce cas, le déficit est-il comblé par des régions limitrophes. Outre ces flux liés à des déficits quantitatifs, du fait de l'épuisement des ressources, ou plus souvent, de la limitation des possibilités d'ouverture de nouvelles carrières (dans le domaine des granulats alluvionnaires notamment), on observe au niveau national d'importants flux liés à des phénomènes qualitatifs. Il s'agit, soit d'échanges réciproques, entre régions proches permettant un rééquilibrage des ressources par rapport aux besoins (cas de la Picardie, qui livre des matériaux alluvionnaires dans la région du Nord, et qui reçoit en retour des granulats calcaires), soit de flux sur de longues distances, correspondant le plus souvent à des besoins spécifiques à usage routier (couche de surface), et concernant donc plutôt les granulats de roches massives.

Le cas du bassin Seine- Normandie peut être pris comme exemple d'une zone importante, représentant 1/5 du territoire national (100 000 Km2), regroupant 7 régions administratives - Champagne-Ardenne, Ile-deFrance, Basse-Normandie, Haute-Normandie et pour partie Picardie, Bourgogne, Centre-, comprenant 25 départements et Intéressant 9 000 communes, drainée par un fleuve de 780 Km de long, peuplée de 17 millions d'habitants, soit le tiers de la population nationale, dont 63 % pour la seule région de l'Ile-de-France, vivant à 80 % en milieu urbain, concentrant 40 % des activités industrielles du pays, ayant encore une activité agricole importante occupant 60 000 Km2, dont près de 60 % de terres labourables et d'herbages, et assurant 50 % du trafic fluvial métropolitain.
Le tableau 25 fournit les données essentielles se rapportant à l'industrie des granulats dans ce bassin en 1992.

L'INDUSTRIE DES GRANULATS DANS LE BASSIN SEINE-NORMANDIE

. 500 sites en exploitation
. 4 000 salariés
. 3 milliards de francs de chiffre d'affaires

PRODUCTION

. Le bassin Seine-Normandie produit 87 millions de tonnes de granulats soit 21% de la production nationale.
. Les 2/3 de la production sont des sables et graviers d'origine alluvionnaire.
. 2 millions de tonnes de granulats de recyclage issus des matériaux de démolition.
. La production de granulats se répartit en trois catégories majeures :
  . les alluvionnaires (sables et graviers) : 58 Mt
  . les roches calcaires: 11Mt
  . les roches éruptives : 11 Mt
  . le recyclage et autres matériaux : 7Mt
. Les différentes productions régionales (en millions de tonnes):

	ALLUVIONNAIRES	ROCHES CALCAIRES	ROCHES ERUPTIVES	AUTRES	TOTAL
ILE DE FRANCE	15,4	1,5	0	4,7	21,6
BOURGOGNE	3,2	0,6	0,3	0,04	4,2
CHAMPAGNE-ARDENNE	5,4	4,8	0,03	0,02	10,2
CENTRE	5,8	3,3	0	0,6	9,7
PICARDIE	9,4	0,5	0	0,6	10,5
NORMANDIE	18,7	0,3	10,7	0,6	30,8

Sur l'ensemble u bassin, les matériaux alluvionnaires représentent 66% de la production totale; toutefois, de fortes disparités existent entre les régions :

	ILE DE FRANCE	BOURGOGNE	CHAMPAGNE-ARDENNE	CENTRE	PICARDIE	NORMANDIE
PART DES MATERIAUX ALLUVIONNAIRES DANS LA PRODUCTION	71 %	76 %	53 %	60 %	90 %	61 %

TRANSPORT

Du fait de sa souplesse, la route est le moyen le plus utilisé pour transporter les granulats. La répartition du transport des granulats dans le bassin est la suivante : 82 % par route, 13 % par voie d'eau, 5 % par fer.

CONSOMMATION

La consommation de granulats sur l'ensemble du bassin s'élève à 92 millions de tonnes, soit 5,5 tonnes par habitant (la moyenne nationale est de 7 tonnes par habitant).

Consommation totale du bassin	Consommation en alluvionnaire
92 Mt soit 5,5 tonnes/habitant	57,3 Mt soit 64% de la consommation totale

Les consommations par habitant se situent entre 6,8 et 9,5 tonnes par habitant, sauf pour l'Ile-de-France où elle n'atteint que 3,5 tonnes par habitant.

	Ile-de-France	Bourgogne	Champagne-Ardenne	Centre	Picardie	Normandie
Consommation totale	39	3	11	8	9	22
Consommation en tonnes/habitant	3,5	8	9,5	8,6	6,8	7,1

APPROVISIONNEMENT DE L'ILE DE FRANCE

La région Ile-de-France est la seule région du bassin qui présente un déficit de production par rapport à sa consommation : elle nécessite des apports extérieurs de 17 millions de tonnes de granulats dont 13 millions de tonnes d'origine alluvionnaire, parmi lesquelles 8,3 millions de tonnes sont acheminées par voie d'eau.

UTILISATEURS

. Bâtiment : 25 % de la consommation
. Génie civil et Travaux Publics : 75 %

Tableau 25 -L'industrie des granulats dans le bassin Seine-Normandie en 1992
Source : Union Nationale des Producteurs de Granulats (UNPG)

	Mt	t/Hab
ALLEMAGNE	410	6,7
FRANCE	378	6,8
GRANDE BRETAGNE	291	5,2
ITALIE	285	5
SUEDE	90	10,7
AUTRICHE	85	11,2
SUISSE	55	8,2
FINLANDE	50	10,1
DANEMARK	46	9
HONGRIE	40	3,8
BELGIQUE	38	3,9

Tableau 26 - Production de granulats en Europe en 1988, exprimée en Mt et en t/Hab

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Exportation Mt	13,2	13,9	13,9	12,8	12,5	12,3	11,2	11,5	12,2	11,5	14,5	15,8	15,9	15,9	15,2
Importation Mt	4,5	4,7	5,5	5,4	5,5	4,9	4,4	4,9	4,9	5,1	6,3	8,1	9,4	11,2	10,3

Tableau 27 - France : Evolution des exportations et des importations de granulats, exprimée en Mt, entre 1978 et 1992
Source : UNICEM

Type de matériaux	Année 1988		Année 1989		Année 1990		Année 1991		Année 1992	
	EXPOR.	IMPOR.	EXPOR.	IMPOR	EXPOR.	IMPOR.	EXPOR.	IMPOR.	EXPOR.	IMPOR.
1501 et 1502 - Granulats Hors macadam et tarmacadam										
Cailloux et graviers concassés	2750763	1008670	2775866	1159782	3006848	1348862	2718071	1758207	2622992	1658210
Cailloux et graviers roulés	3917294	140556	4346500	290313	4791332	495557	4714118	564248	4476660	530648
Autres pierres concacées	3451239	2329299	4152849	3750358	3380431	4559569	3757272	5354866	3488271	4768168
Sables naturels	3273032	1590550	3752955	1676523	3740835	1661100	3634313	1805499	3436586	1653572
Laitier granulé	677731	1245193	0775576	1242250	983283	1381305	1118522	1410056	1195598	991953
Total	14570729	6314268	15803746	8119226	15902729	9446393	15942296	10892876	15259324	10333597

Tableau 28 - France : Evolution des exportations et des importations de granulats, par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992
Source : UNIVEM

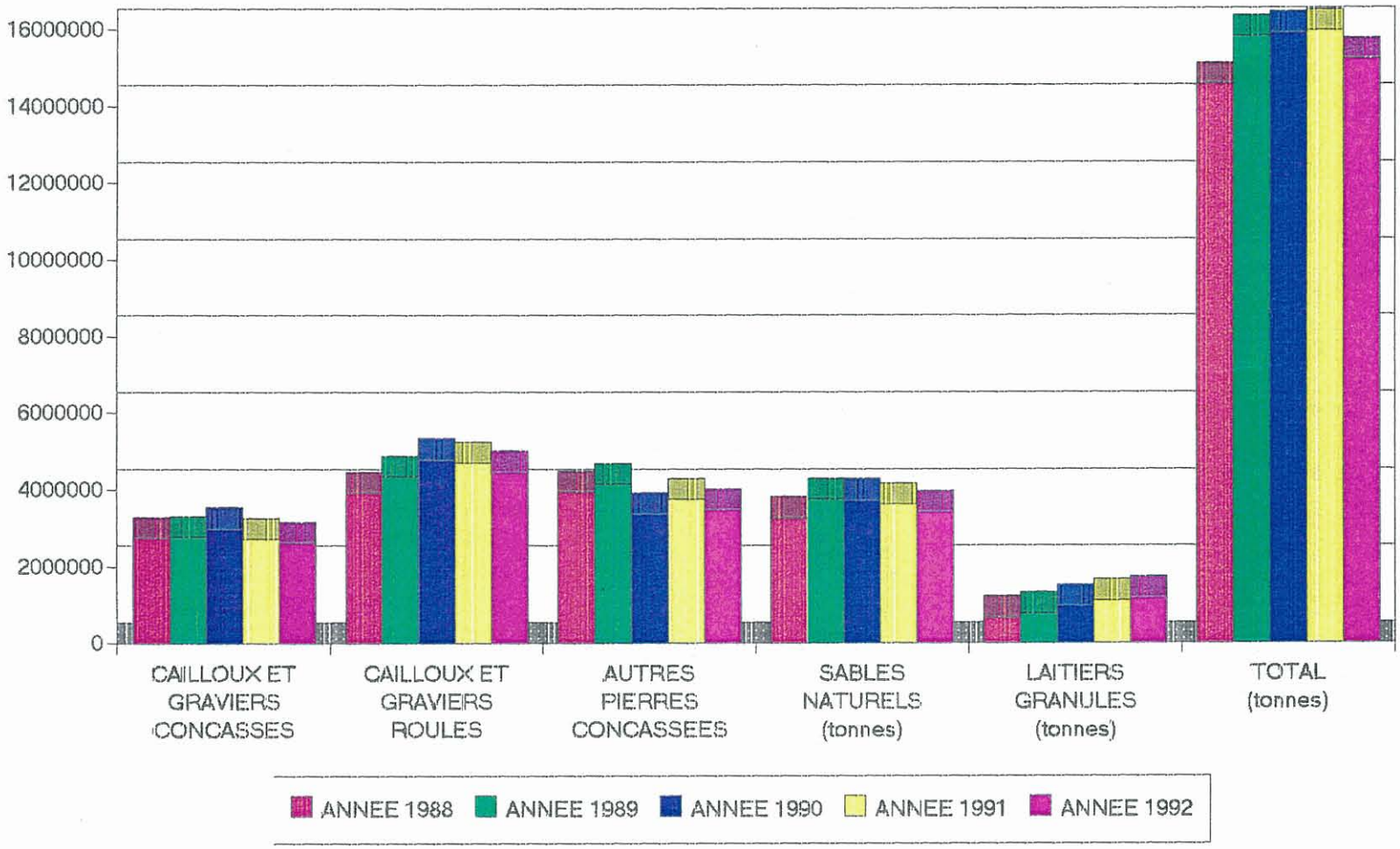


Figure 6 - Evolution des exportations de granulats par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992
Source : UNICEM

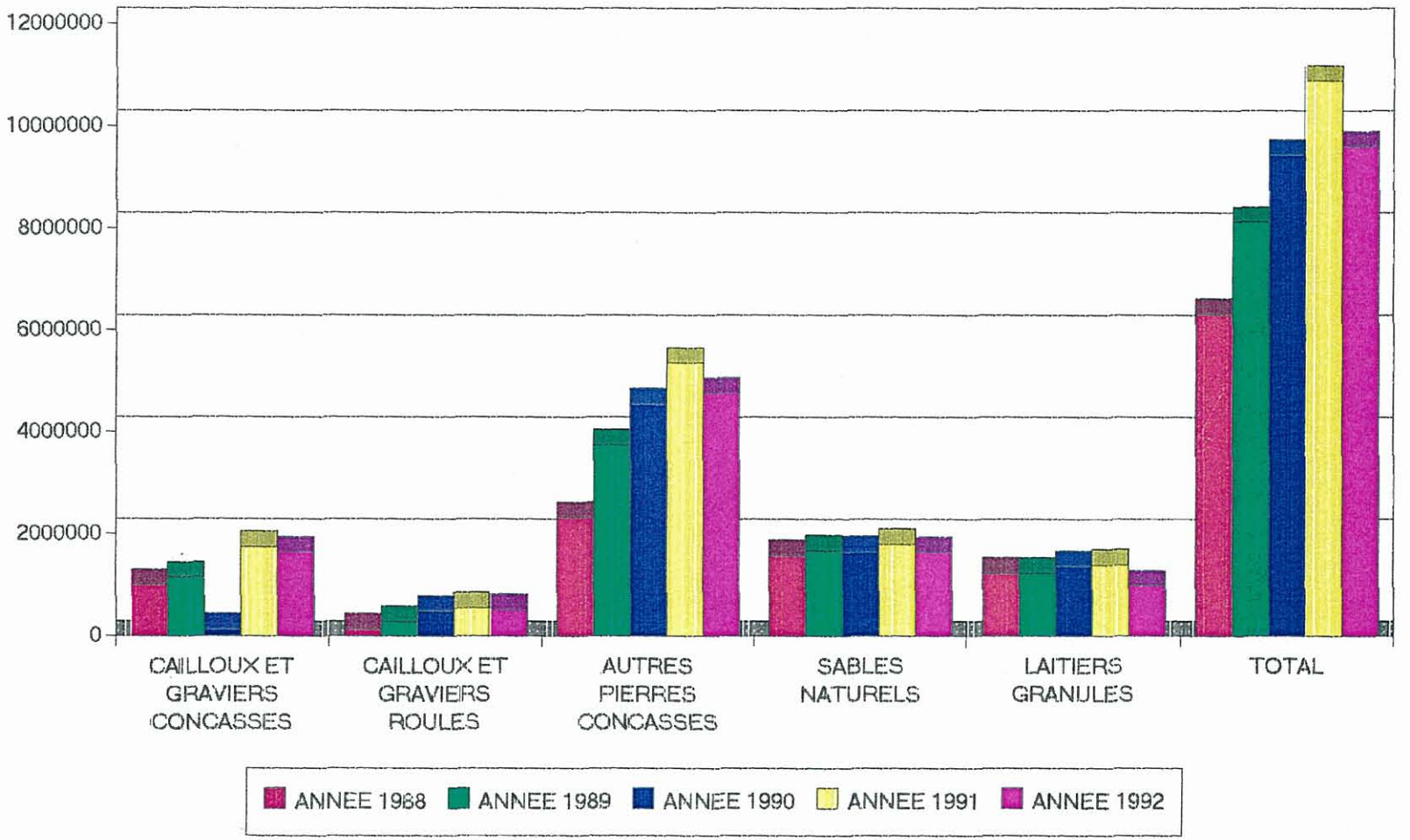


Figure 7 - Evolution des importations de granulats par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1992
Source : UNICEM

6.2. ETRANGER, COMMERCE EXTERIEUR

Les statistiques de production de granulats sont souvent difficiles à obtenir et à comparer en particulier dans la mesure où la définition française du terme "granulat" (cf. introduction) n'est pas universellement adoptée. Les données suivantes déjà anciennes et approximatives, doivent donc être interprétées avec prudence.

Le tableau 26 indique, pour l'année 1988, l'état de la production de granulats dans quelques pays européens, exprimée en Mt et en t/Hab.

Au cours des quinze dernières années, les importations et exportations françaises de granulats sont restées relativement stables et n'ont pas subi les fluctuations de la production nationale.

En 1992, la France a exporté 15,2 millions de tonnes de granulats tandis qu'elle n'en importait que 10,3 millions de tonnes de matériaux importés. La France reçoit principalement des produits calcaires et exporte essentiellement des matériaux alluvionnaires.

La figure 5 montre l'évolution des exportations et des importations françaises de granulats entre 1978 et 1992. Elle met bien en évidence la très nette augmentation des importations à compter de 1988, doublant quasiment en passant de 6,3 Mt (1988) à 11,2 Mt en 1991 et 10,3 Mt en 1992.

Le tableau 27 précise de façon synthétique cette évolution entre 1978 et 1992.

Le tableau 28 détaille par type de matériaux les exportation et les importations de granulats pour les années 1988 à 1992.

Les Figures 6 et 7 précisent l'évolution des exportations d'une part et des importations d'autre part par types de matériaux, exprimée en tonnes, entre 1988 et 1991.

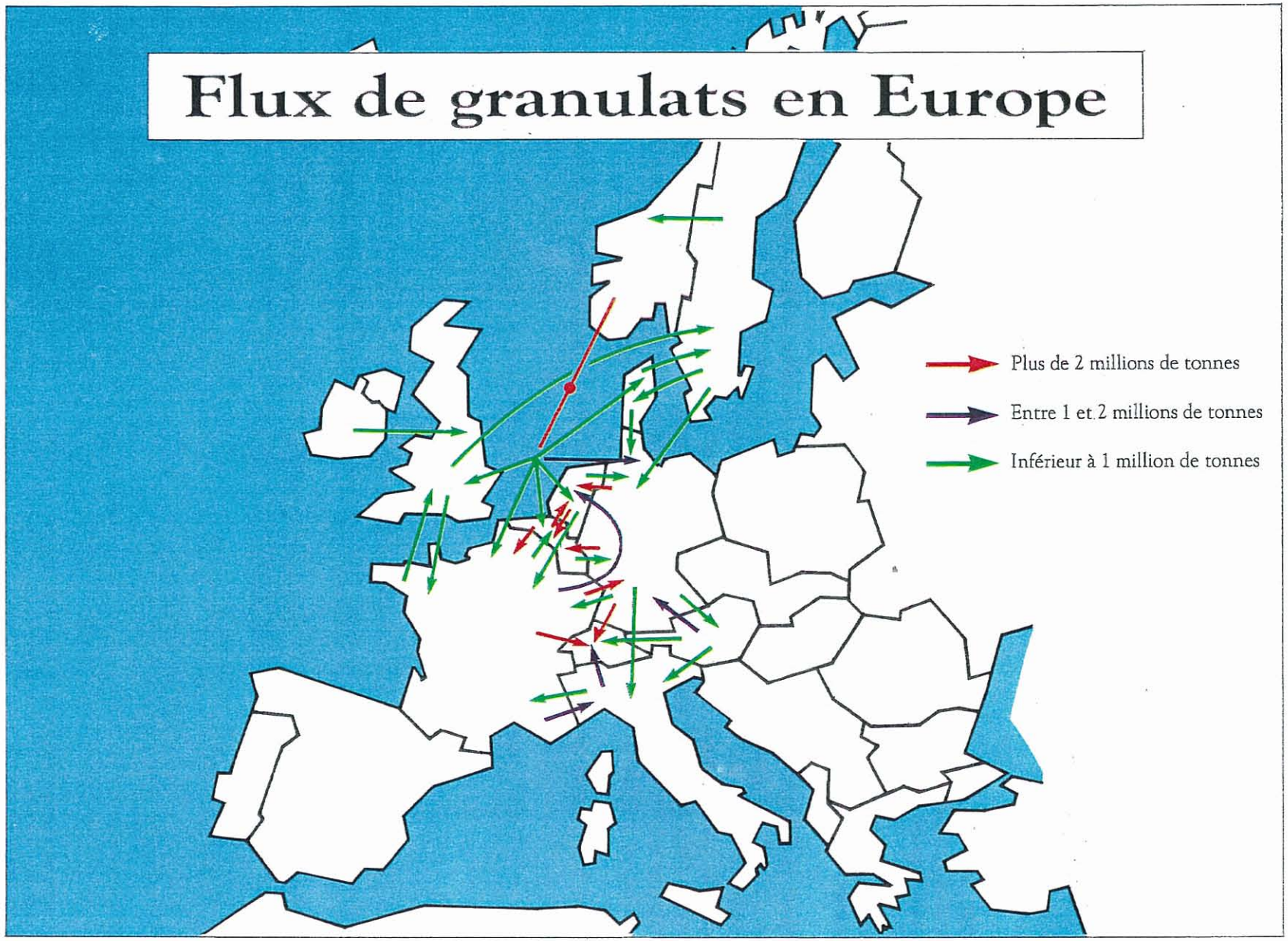
La balance commerciale française en matière de granulats reste encore, mais faiblement, excédentaire (743 393 000 francs de produits exportés contre 558 686 000 francs de produits importés).

Ramenés à l'ensemble des tonnages transportés, ces flux sont faibles (moins de 5 %). Toutefois, ces échanges essentiellement frontaliers sont tout à fait significatifs pour les départements et régions concernés.

La carte 4 montre ce que sont les flux de granulats en EUROPE. Pour ce qui concerne la France, ces flux sont importants à l'exportation vers la Belgique et l'Allemagne, dans une moindre mesure vers les Pays Bas et l'Italie. Les importations sont , quant à elles, très forte de la Belgique et de manière plus diluée de l'Allemagne et de l'Italie.

Le secteur des granulats a été relativement moins concerné que d'autres par l'échéance européenne de 1992, en raison de ce faible niveau d'échanges. Cette échéance s'est néanmoins traduite par une accélération de :

- concentrations d'entreprises à l'échelon communautaire ;
- l'internationalisation du financement ;
- l'harmonisation en matière de qualité, normalisation, structure des coûts;...



Carte 4 - Flux de granulats en Europe

6.3. PRIX DES GRANULATS

Les granulats constituent un ensemble de produits bon marché dont le poids influe en général assez peu sur le coût global de la construction.

Pour 1991, dans les 3 grandes catégories de granulats, les prix moyens départ carrière (calculé sur la base du rapport chiffre d'affaires/production) étaient les suivants :

- sables et graviers d'alluvions 39 F/t (HT) contre 33 F/t (HT) en 1987
- granulats calcaires 33 F/t (HT) contre 29 F/t (HT) en1987
- granulats éruptifs 40 F/t (HT) contre 37 F/t (HT) en 1987

Le prix de vente des produits d'origine éruptive, légèrement plus élevé que celui des autres catégories de matériaux, est justifié par un coût d'exploitation également plus important (nécessité d'utiliser l'explosif, usure du matériel...).

Pour le Bâtiment, les agrégats représentent environ 3 % du prix de revient technique du logement.

Rapporté au prix global d'un logement neuf de 500 000 F, on estime qu'une hausse actuelle de 10 % du prix des granulats rendus sur chantier entraînerait une augmentation du coût du logement de l'ordre de 1 ‰ (soit environ 1000 F) compte tenu du nombre important de composants entrant dans le calcul de la valeur totale (foncier, gros oeuvre, produits de second oeuvre...). Dans le domaine routier, l'impact d'une variation du prix des granulats sur le coût des ouvrages se manifeste d'une manière plus directe. Ils entrent en effet pour 30 % environ dans le prix de revient des chaussées neuves et pour 6 % dans celui des ouvrages de Génie Civil.

Les granulats issus du recyclage se commercialisent à des prix encore plus élevés, de l'ordre de 100 F/t.

7. MATERIAUX DE SUBSTITUTION

7.1. DEFINITIONS

Dans l'esprit des personnes familiarisées avec les problèmes de la production de granulats, la notion de matériau de substitution peut recouvrir deux sens bien différents qu'il convient de préciser :

a) le terme de substitution peut s'appliquer à des **matériaux traditionnels entre eux**. En effet lorsque une production locale de sables et graviers doit être réduite pour cause d'épuisement de gisement ou de diverses contraintes, les exploitants de granulats doivent se reporter sur d'autres matériaux de type roches dures concassées ou granulats marins qui sont alors qualifiés de matériaux de substitution. Ce terme s'applique également lorsque les sables et graviers dragués en lit mineur sont remplacés par des matériaux exploités en terrasse et dans des conditions économiques de production généralement plus onéreuses. Ces gammes de produits ont déjà été présentés dans les précédents chapitres et ne seront donc pas abordés à nouveau dans le cadre des matériaux de substitution ;

b) par ailleurs, le terme matériaux de substitution peut s'appliquer aux substances naturelles ou artificielles, **différents des granulats traditionnels** (qui regroupent les alluvions et les roches dures concassées) mais susceptibles de les remplacer soit par dérogation aux normes soit après traitement pour leur permettre de respecter les normes.

La catégorie de matériaux de substitution qui nous intéresse dans ce chapitre se rapporte donc plus précisément aux matériaux de **valorisation** qui regroupent en particulier :

- les matériaux "naturels" : sous produits de carrière, calcaires tendres, sables non alluvionnaires, argiles à silex, argiles et schistes expansés, etc. ;

- déchets et sous-produits divers : déchets miniers et métallurgiques, matériaux de démolition, déchets industriels divers.

Seules les substances les plus couramment utilisées seront traitées dans ce mémento.

7.2. SOUS PRODUITS DE CARRIERE

L'industrie française des granulats engendre environ 70 millions de tonnes de sous-produits, ce qui représente près de la moitié des sous-produits solides annuellement recensés.

Une partie des sous-produits de carrière sont valorisés comme granulats, il s'agit en particulier :

- des déchets d'extraction ou de découverture des gisements de pierre de taille : arène granitique des carrières de granite du massif du Sidobre (81), calcaire de découverture des exploitations marbrières de Comblanchien (21), etc.

- des stériles de traitement des granulats : sables fins récupérés, résidus de scalpages retraités.

MATERIAUX	UTILISATIONS	TRAITEMENTS	PRECAUTION D'EMPLOI
CALCAIRES LACUSTRES TERTIAIRES DU BASSIN PARISIEN	* Viabilité * Couches de fondation pour T<T3 * Base pour tout T * Base pour T<T2 * Roulement pour T<T3 - Construction - Béton hydraulique (granulat ou sable)	- Aucun (graves non traitées) - Liants hydrauliques - Liants hydrocarburés - Liants hydrauliques (béton) * Nécessité de lavage complet	- Extraction sélective diverses qualités - Chaîne d'élaboration soignée - Mise au point de nouvelles formulations à cause de la réduction dimensionnelle des granulats à la mise en oeuvre et au compactage
SABLES FINS DE LA REGION PARISIENNE	* Viabilité * Couches de forme et de fondation depuis 1967 * Couches de base T<T2 * Construction * Bétons	Fillers pour stabilité immédiate et traficabilité Liants hydrocarbonés ou hydrauliques + adjuvants (calciques, sodiques, sulfatiques)	Fabrication : protection des stocks Fabrication en centrale Mise en oeuvre : matérie adapté compactage énergique revêtement étanche
ARENES GRANITIQUES	* Viabilité	Liants hydrauliques (chaux, ciment) Cendres volantes ou mixtes et pouzzolaniques	Sensibilité à l'eau Traitement avant mise en oeuvre Imperméabilisation et drainage de la chaussée
DECHETS D'EXPLOITATION DE CARRIERES DU NORD-PAS-DE-CALAIS	• Produits de scalpage * Viabilité : . Remblais de grande masse . Couche de forme . Fondation pour T3 et T4 . Base de T4 • Sols fins (limons) : * Viabilité : . Remblais massifs (exceptionnellement) . Couche de forme • Construction * Briques et parpaings	Traitement à la chaux + ciment ---> Traitement à la chaux —> Traitement au ciment - Traitement au ciment	
SABLES DE CONCASSAGE DE ROCHES MASSIVES DE BASSE-NORMANDIE	* Viabilité : . Couches de fondation pour T . Base pour T2 et T3 . Renforcement sous circulation	- Bitume - Liants hydrauliques (ciment, laitiers, cendres volantes + chaux , laitier + gypse + soude, phospho-ciment) - Pas de correction granulométrique nécessaire	- Compactage - Protection superficielle - Drainage de la Chaussée - Mise en oeuvre et fabrication aisées

T : Trafic mesuré par le nombre de poids lourds par jour sur la voie la plus chargée
T3 : < 150 poids lourds par jour
T4 : < 50 poids lourds par jour

Tableau 29 - Exemples d'utilisation des roches tendres ou meubles et de déchets de carrière

7.3. CALCAIRES TENDRES

Dans le Nord, le Nord-Est et le Sud-Est de la France certaines formations calcaires d'âge primaire ou secondaire présentent des caractéristiques mécaniques (LA entre 18 et 30, MDE entre 15 et 30) qui classent ces roches parmi les granulats traditionnels et sont largement utilisés en couches de chaussées et pour la confection du béton.

Il existe par ailleurs un ensemble de formations géologiques carbonatées présentant des caractéristiques mécaniques inférieures (LA < 40, MDE < 35) mais correspondent à des gisements hétérogènes discontinus ou difficiles à exploiter en particulier pour des raisons de faiblesse de puissance de gisement malgré des étendues géographiques parfois considérables.

Il s'agit en particulier de certains calcaires de l'auréole jurassique du bassin de Paris (calcaires du Barrois, du Berry, des Charentes, ...) et de calcaires tertiaires du centre du bassin de Paris (calcaires de Beauce, Champigny, Chateau-Landon). Des calcaires tendres de ce type existent également dans le Sud-Est, les Alpes ou le Jura, mais leur étude ne présente qu'un intérêt limite, dans la mesure où ils voisinent des calcaires durs, ou des roches éruptives de bonne qualité, alors que ceux énumérés précédemment constituent les meilleures roches massives de leur région.

Certains calcaires de substitution sont en outre gélifs. Ils posent par ailleurs des problèmes de maniabilité propres à toutes roches concassées (teneur en fines pour des utilisations correctes dans les bétons).

7.4. SABLES FINS

La Région parisienne, déficitaire en granulats traditionnels dispose de ressources géologiques considérables en sables fins (sables de Fontainebleau, sables d'Auvers, etc.). Ils sont siliceux, propres, fins à très fins (0 - 200 µm) et mal gradués.

Ils peuvent être utilisés en technique routière comme couche de base ou de forme par traitement (apport de fillers, liants et adjuvants de prise). Leur mise en oeuvre nécessite un matériel adapté et un compactage énergique.

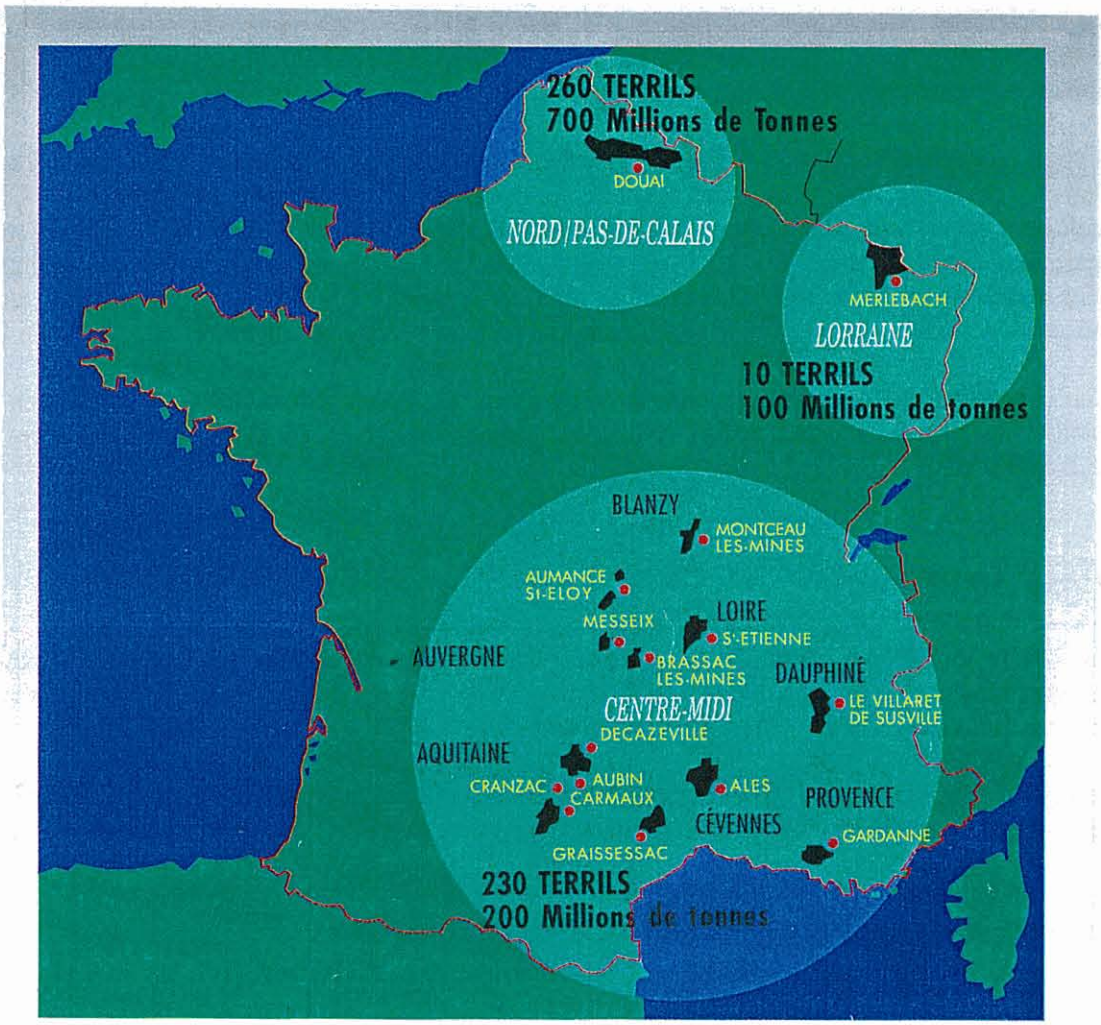
Le tableau 29 fournit quelques exemples d'utilisation de ces produits.

7.5. GRANULATS DE LAITIERS

Ces produits sont obtenus par concassage de scories des hauts fourneaux de la sidérurgie. Ils sont utilisés en bâtiment et travaux publics au même titre que les matériaux naturels et plus particulièrement pour les couches de forme et de fondation, pour le ballast ferroviaire et dans une moindre mesure, pour le béton car la composition chimique de certains laitiers génère des réactions avec le ciment.

Ces matériaux sont élaborés dansles grands bassins sidérurgiques (Lorraine, Dunkerque, Fos). L'un des flux principaux a lieu vers la Région parisienne.

Le laitier permet par ailleurs de confectionner par bouletage un granulat léger industriel appelé laitier bouleté présentant d'intéressantes propriétés d'isolation thermique en utilisation dans le bâtiment (blocs, panneaux, chappes,...).



Carte 5 - France métropolitaine : Répartition géographique des gisements de schistes
Source : Société SURSCHISTES S.A.

7.6. SCHISTES HOUILLERS

Les schistes houillers correspondent aux stériles provenant de l'exploitation des mines de charbon en France métropolitaine. La carte 5 montre la répartition géographique des gisements de schistes en France métropolitaine.

L'ensemble des cinq cents stériles de schistes houillers, conséquence de plus de deux siècles d'exploitation de veines de charbon, représente un stock d'environ 1 000 Mt dont :
- 70 % se trouvent dans le Nord - Pas-de-Calais ;
- 20 % dans le Centre - Midi ;
- 10 % en Lorraine.

Au cours des trente dernières années, notre pays a utilisé près de 150 Mt de ce matériau. Ces stériles qui correspondent aux couches de schistes séparant les veines de charbon d'épaisseurs variables, ont des couleurs variables, noir ou rouge.

Les schistes noirs sont utilisés soit :
- comme matière première et appoint énergétique ;
  - en cimenterie où ils permettent un meilleur ajustement des teneurs en alumine et en fer,
  - dans la fabrication des briques par le procédé surschistes.
- pour la constitution de remblais ou de plates-formes industrielles.

Les schistes rouges sont utilisés pour la constitution de :
- remblais ;
- plates-formes industrielles ;
- pistes, chemins de halage, etc. ;
- "couches de forme" de chaussées permettant la circulation d'engins de chantier.

Le FORMOSCHISTE, obtenu par criblage de schistes tout-venant noirs est un matériau utilisé en substitut des schistes rouges dans la constitution de "couches de forme" de chaussées ou de plates-formes industrielles.

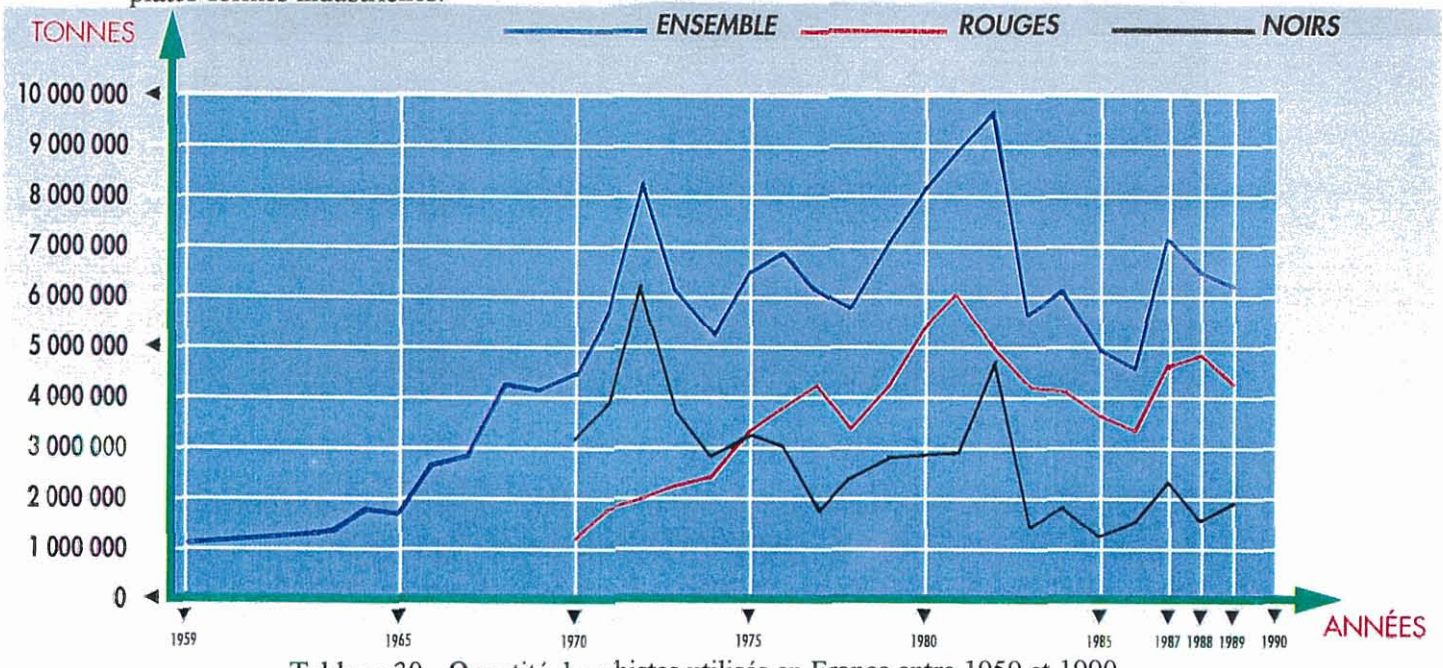
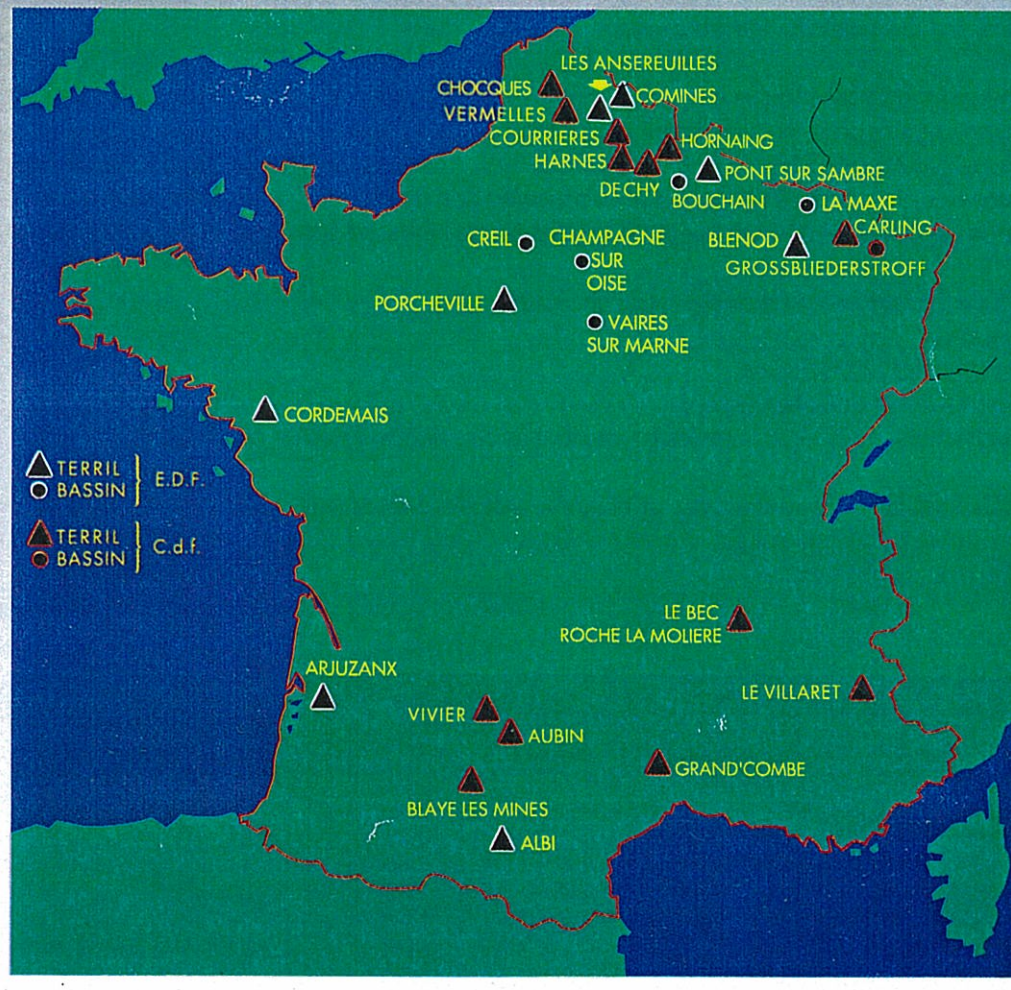
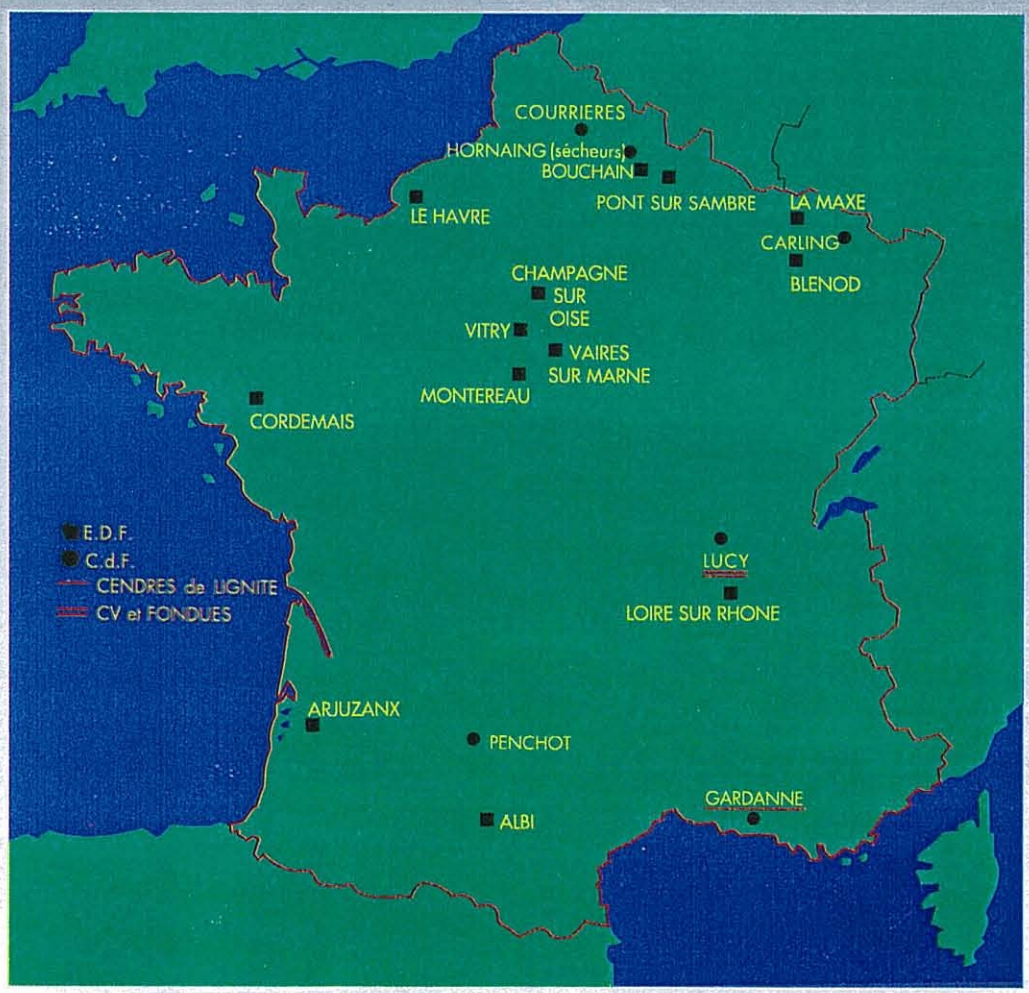


Tableau 30 - Quantité de schistes utilisés en France entre 1959 et 1990
Source : Société SURSCHISTES S.A.



Carte 6 - France métropolitaine : répartition géographique des gisements de cendres
Source : Société SURCHISTES S.A.



Carte 7 - France métopolitaine : répartition géographique des centrales thermiques productrices de cendres
Source : Société SURCHISTES S.A.

7.7. CENDRES VOLANTES

Les cendres volantes de houille sont un produit pulvérulent provenant de la combustion du charbon pulvérisé dans les chaudières des centrales thermo-électriques. Elles sont captées dans des dépoussiéreurs électrostatiques. Le schéma 1 indique, de manière simplifiée, le mode de production de cendres de houille. La carte 6 montre la répartition géographique des gisements de cendres. La carte 7 fournit une répartition géographique des centrales thermiques productrices de cendres.

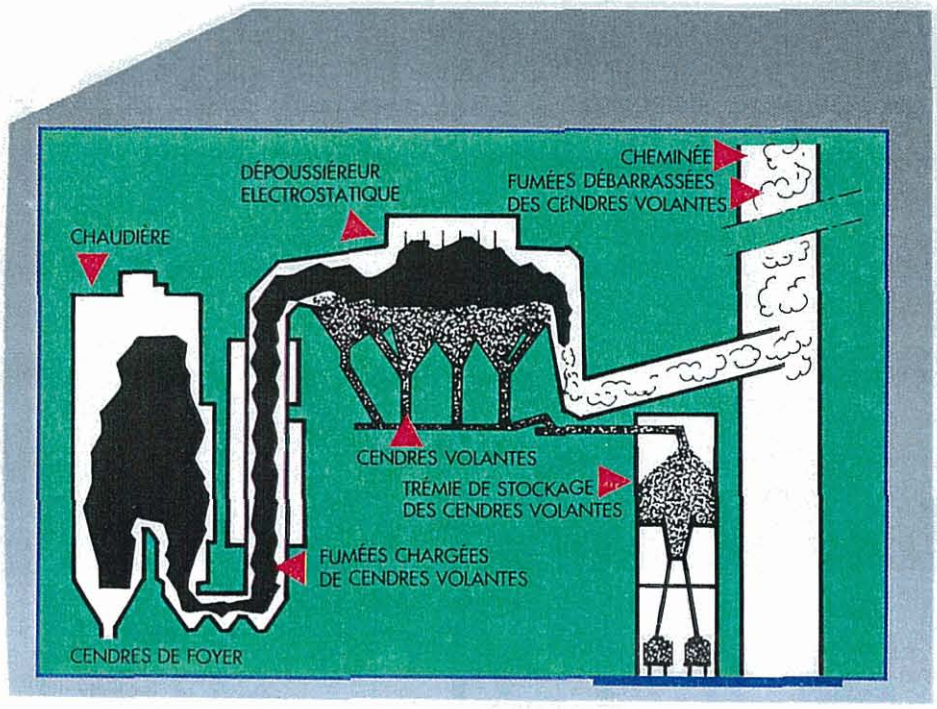


Schéma 1 - Schéma simplifié de production de cendres volantes de houille
Source : Société SURSCHISTES S.A.

Ces stériles du charbon sont principalement constitués de silice et d'alumine sous forme de minéraux phylliteux comportant une petite proportion de quartz mais dont la composition physico-chimique s'apparente à celle des argiles.Ces caractérisitiques sont indiquées dans le tableau 31.

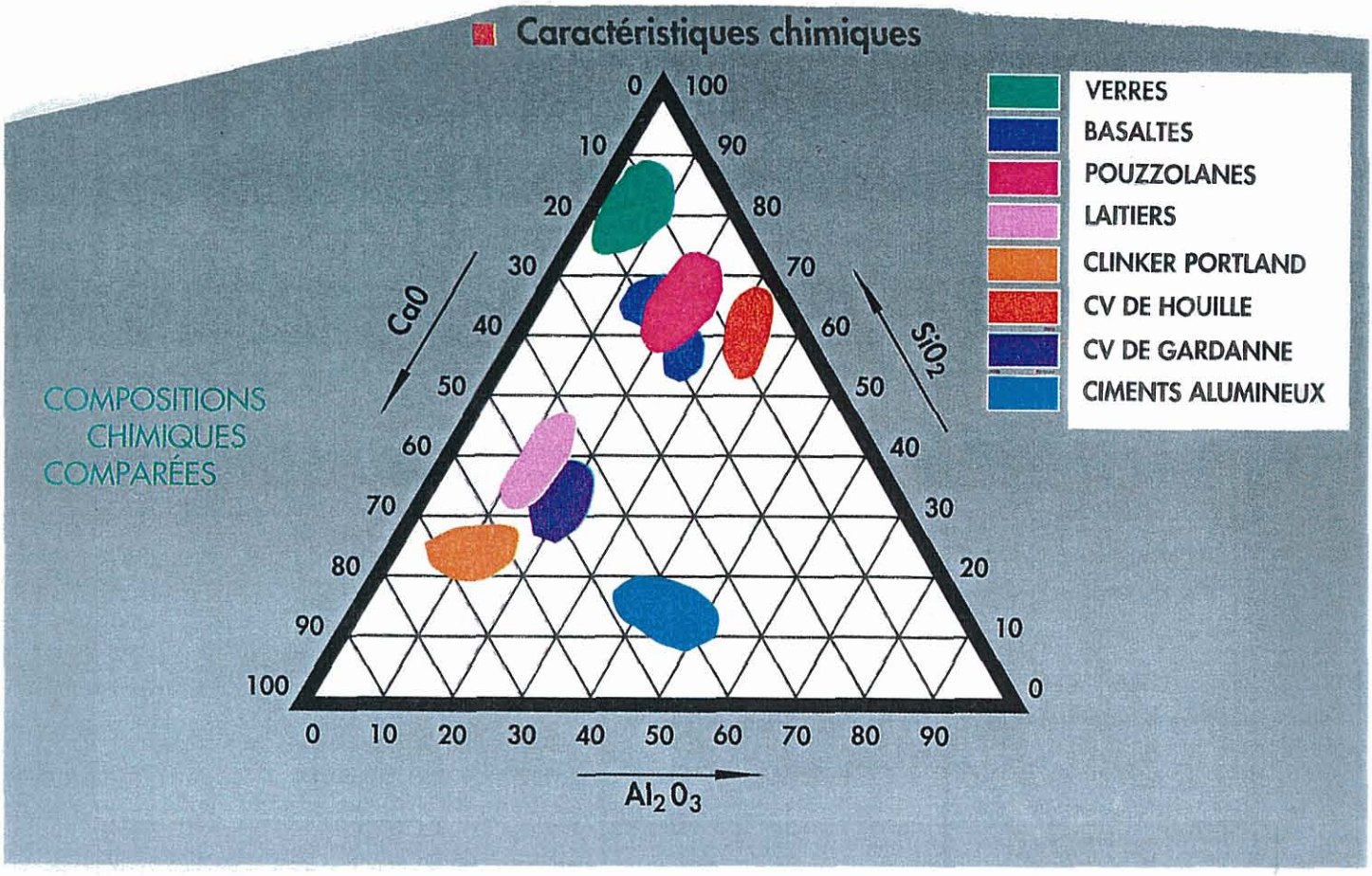


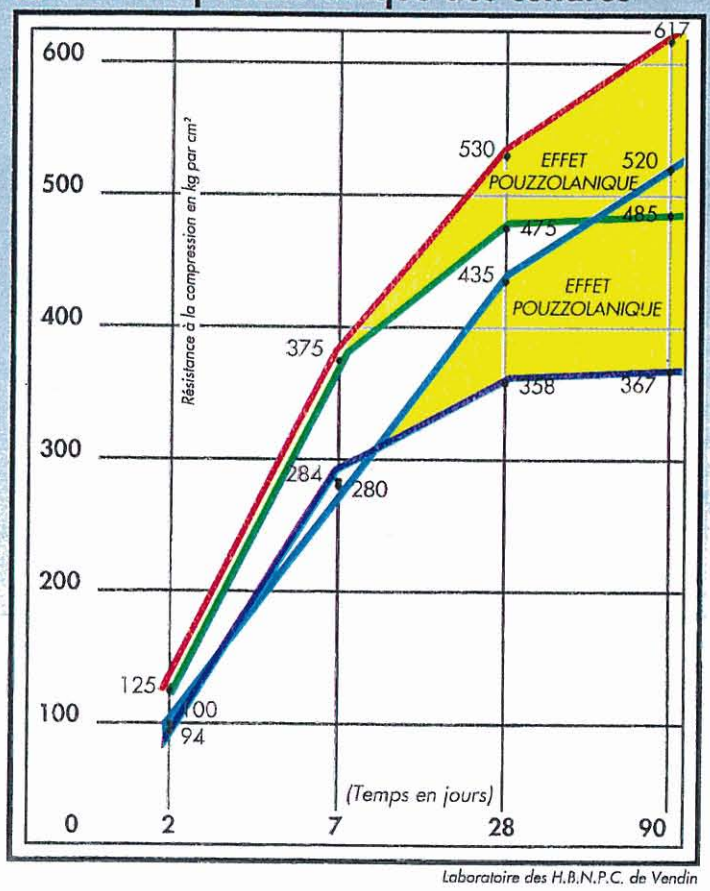
Tableau 31 - Caractéristiques chimiques des cendres volantes de houille comparées à d'autres produits minéraux naturels.
Source : Société SURCHISTES S.A.

La composition des stériles subit toutefois des modifications structurelles en raison des températures atteintes dans la flamme d'une part et de la finesse du broyage d'autre part.

La silice se trouve sous forme de cristobalite ou de tridymite. Les autres minéraux se transforment en une phase vitreuse où la faible partie restant cristallisée correspond à de la mullite.

Tab. 32

Pouvoir pouzzolanique des cendres



Laboratoire des H.B.N.P.C. de Vendin

En présence d'eau et à la température ordinaire, les cendres volantes fixent la chaux pour donner des composés stables ayant des propriétés hydrauliques, c'est-à-dire capables de faire prise sous l'eau.
Il y a simultanéité entre la fixation de la chaux par les cendres et l'augmentation des résistances à la compression et à la traction.

MANIFESTATION DE L'EFFET POUZZOLANIQUE DES CENDRES VOLANTES

Comparaison des résistances mécaniques observées sur des éprouvettes de MORTIER CEMBUREAU-RILEM.

- 100 % CIMENT
- 100 % CIMENT + 20 % CENDRES VOLANTES (qui remplacent le même volume de sable)
- 80 % CIMENT + 20 % MATIÈRE INERTE (sable broyé)
- 80 % CIMENT + 20 % CENDRES VOLANTES
- EFFET POUZZOLANIQUE

Tableau 32 - Pouvoir pouzzolanique des cendres
Source : Société SURCHISTES S.A.

En présence d'eau et à la température ordinaire, les cendres volantes fixent la chaux : elles donnent alors naissance à des composés chimiques stables présentant des propriétés hydrauliques et ayant en particulier la capacité de faire prise à l'eau.

Une partie des tonnages produits est utilisée en technique routière pour les usages suivants :
- remblais, stabilisation des sols ;
- sous-couche anticontaminante ;
- liant en couches de chaussée après addition de chaux (fondation et base) ;
- filler dans les enrobés ;
- dans les bétons routiers.

L'utilisation de cendres volantes de houille dans l'industrie du béton met à profit les propriétés physiques et chimiques de ce type de matériau. Il est ainsi possible de :
- remplacer une partie du sable, dans une proportion de 10 à 30%, par des cendre ;
- supprimer les creux induits par l'utilisation des sables dans les bétons. En effet, grâce à la finesse de leurs éléments, les cendres remplissent mieux les vides entre les grains, améliorant ainsi la capacité du béton ;
- remplacer une partie du ciment par des cendres volantes, utilisant alors l'effet pouzzolaniques de ces derniers.

Le tableau 32 donne un aperçu du pouvoir pouzzolanique des cendres.

Les dosages en cendres varient entre 20 et 130 Kg/m3 suivant la granulométrie des sables et la destination des bétons. Les cendres volantes ont une influence positive sur les bétons dont, entre autres, elles :
- améliorent l'ouvrabilité ;
- augmentent la plasticité ;
- diminuent la perméabilité ;
- améliorent l'aspect de surface après décoffrage ;
- réduisent le retrait hydraulique par absorption dans le temps des alcalis solubles dans les ciments ;
- accroissent la résistance aux eaux pures ou sulfatées ;
- assurent une meilleure résistance au feu et aux chocs thermiques.

Les cendres volantes hydrauliques de Gardanne proviennent de la combustion, dans la centrale de Provence, appartient aux H.B.C.M., de flambant sec à gangue calcaire issu du gisement de Faveau dans les Bouches du Rhône. La production annuelle est de l'ordre de 300 000 tonnes.
Ces cendres sont principalement utilisées comme :
- liant hydraulique ;
- activant du laitier granulé où 1 % de cendres de Gardanne remplace 1 % de chaux de façon économiquement rentable ;
- traitement de sol fin en place.

Les principaux avantages des cendres résident dans leur coût relativement peu élevé, leurs propriétés pouzzolaniques ainsi que leur souplesse et leur facilité de mise en oeuvre.

MATERIAU	ORIGINE OU MODE D'OBTENTION	CENTRE DE PRODUCTION	MASSE VOLUMIQUE APPARENTE MOYENNE (état sec) Kg/m3
Matériaux naturels			
PONCE	Naturelle, volcanique, très cellulaire, très légère à base de silice Couleur : blanche-grise	Iles éoliennes (Italie) Massif Central Massif de l'Eifel (Rhénanie)	500/900
POUZZOLANE	Naturelle, volcanique. Les cellules sont irrégulières et plus grandes que dans la ponce Couleur : noire ou rouge	Massif Central U.S.A. U.R.S.S.	650/950
Matériaux naturels ayant subi un traitement thermique			
ARGILE EXPANSEE	* Naturelle + traitement thermique dans les fours rotatifs ou sur des grilles de frittage	Tous pays	300:900
BALLE DE RIZ FRITTEE	* Naturelle Frittage des cendres de balles de riz aprè combustion	Essais éffectués en France	
LIEGE EXPANSE	* Naturelle, chênes-lièges, traitement par torréfaction	France, Portugal	100
PERLITE EXPANSEE	* Naturelle + traitement thermique dans des fours spéciaux	U.S.A., Canada, U.R.S.S., Japon	50/250
SCHISTE EXPANSE	* Naturelle + traitement thermique dans les fours rotatifs ou sur des grilles de frittage	U.S.A.,U.R.S.S.	500/800
VERMICULITE EXFOLIEE	* Naturelle + traitement thermique entraînant l'exfoliation Silicates du genre mica cuits puis refroidis brusquement	R.F.A.,France U.S.A., Brésil, U.R.S.S., Afrique du Sud	60/250
Matériaux artificiels ne subissant pas de traitements spéciaux			
BRIQUAILLONS	Artificielle : déchets de démolition ou déchets de l'industrie de la terre cuite	Tous pays	900/1 300
MACHEFER	Artificielle : résidus des combustions de charbons	Tous pays	550/800
Matériaux artificiels obtenus après traitements spéciaux			
BILLE DE VERRE EXPANSE	* Artificielle + gonflement		350/1 200
CENDRE VOLANTE FRITTEE	* Artificielle. Cendres volantes thermiques frittées sur plateuax granulateurs rotatifs	Cendres thermiques	700/950
GRANULATS VEGETAUX	* Déchets de l'industrie du bois + traitement de minéralisation	Pays européens (pins, sapins, peupliers)	500/ 1 000 ou 500/600
LAITIER EXPANSE	* Artificielle + traitement. Laitier de haut fourneau expansé par injection d'eau et refroidissement brusque à la coulée	Centres sidérurgiques	800/1 000 ou 1 400/1600
POLYSTYRENE EXPANSE EN BILLES OU PASTILLES PRE-ENROBEES OU NON	* Particules de polystyrène recevant ou non une couche protectrice à base de résine de farines minérales et de ciment	Allemagne	

Tableau 33 - Les différents granulats légers
Source : revue LE GRANULAT

7.8. GRANULATS LEGERS OU MATERIAUX EXPANSES

A la différence des schistes et des cendres volantes qui sont des sous produits, il s'agit ici de matériaux nobles et coûteux. Un traitement approprié de matières premières communes (schistes-argiles-ardoises) permet de fabriquer des granulats de faible densité, de bonne résistance avec lesquels on peut produire des bétons allégés. Ces bétons légers présentent par ailleurs de très intéressantes qualités de résistance mécanique, d'isolation phonique et thermique. Les principaux types de granulats légers figurent dans le tableau 33.

7.9. GRANULATS DE MATERIAUX DE DEMOLITION

Sous l'acception retenue, on entend par matériaux de démolition, ceux issus de la démolition d'une part d'ouvrages de génie civil à ossature de béton (cimenteries, installations minières, ouvrages d'art, pistes, etc.) et d'autre part bâtiments (logements, maisons individuelles, usines, etc.). Ces matériaux sont soit mis en décharge, soit recyclés en granulats dans des centres équipés pour ce type de fabrication.

Le recyclage sur site des différentes couches de chaussées se pratique également. Le premier essai de ce type a été effectué en 1976 sur l'autoroute A1. Dans ce cas, le matériau d'origine (béton de ciment de douze ans d'âge) a permis la préparation du béton maigre, du béton poreux de la couche de fondation de la nouvelle chaussée. De nos jours, les granulats de béton concassé sont couramment employés

L'élaboration des granulats à partir de déchets de démolition doit au préalable résoudre divers problèmes technico-économiques et notamment la gestion quantitative et qualitative de la ressource : caractère épisodique des chantiers de démolition, caractère hétérogène de la nature des déchets. Les chaînes de traitement des bétons de démolition doivent en outre comporter des unités de déferraillage et d'élimination des éléments indésirables (bois, matières plastiques, matériaux d'isolation, métaux non ferreux, etc.).

Les producteurs pratiquent généralement les essais suivants en vue de caractériser leurs produits :
- granulométrie ;
- équivalent de sable ou valeur au bleu ;
- teneur en eau ;
- Los Angelès ;
- Micro-Deval en présence d'eau ;
- teneur en sulfate.

En général, les caractéristiques mécaniques des bétons réalisés à l'aide de granulats recyclés sont plus faibles que les bétons originels. Sur les installations actuelles, les valeurs des coefficients Los Angeles et Deval des granulats produits sont les suivantes :

- LA : 28 à 43
- MDE : 15 à 24.

Le coût d'élaboration des granulats de béton de démolition est près de 2 fois plus élevé que pour les granulats traditionnels soit de l'ordre de 100 F/t.

Ces matériaux recyclés sont principalement utilisables en assise de chaussée à faible trafic.

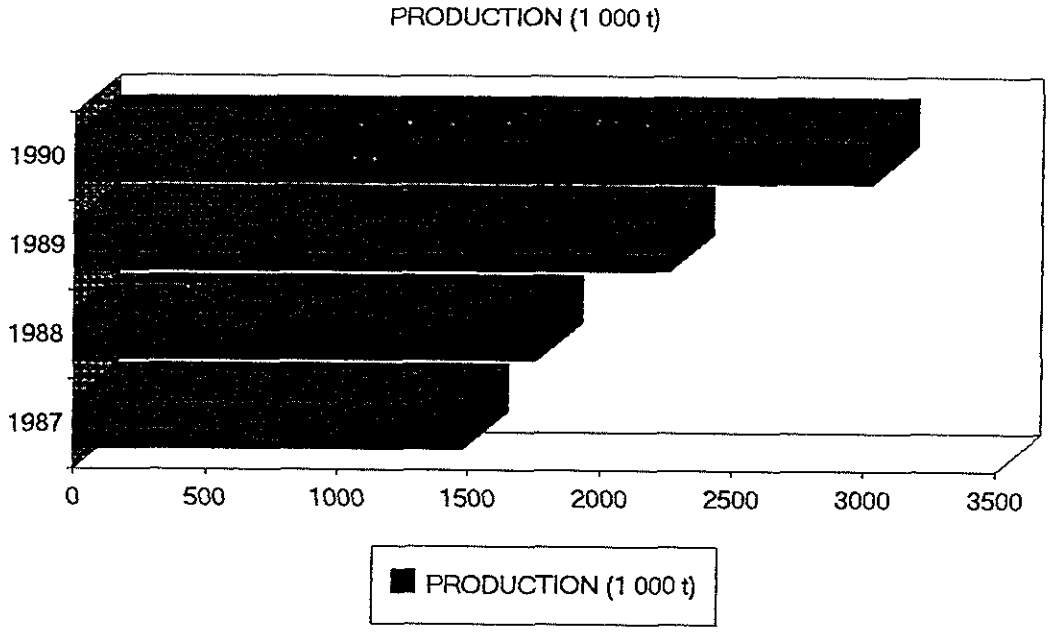


Tableau 34 - Evolution de la production française de granulats issus de matériaux de démolition entre 1987 et 1990

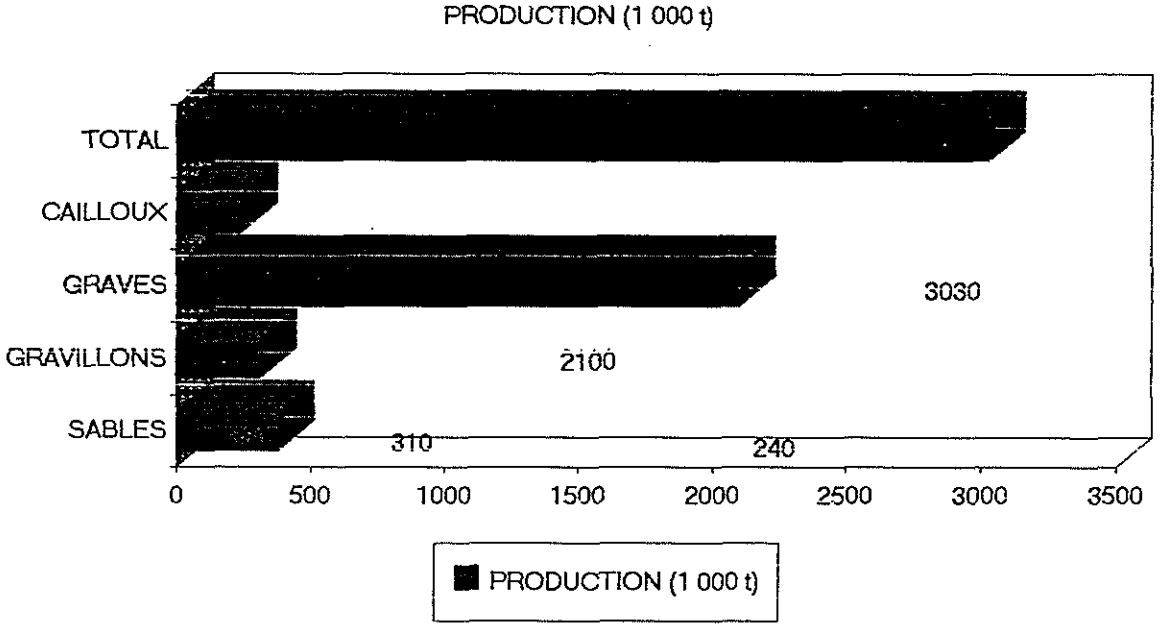


Tableau 35 - Répartition de la production française de granulats issus de matériaux de démolition en 1991

En 1991, une vingtaine de sociétés réparties sur le territoire français produisaient des granulats de recyclage à partir de matériaux de démolition. Ces sociétés appartiennent à plusieurs catégories :
- entreprises issues du secteur des utilisateurs de granulats, en particulier le secteur des travaux routiers ;
- entreprises issues du secteur de la démolition ;
- entreprises exercant d'autres professions, opérant par exemple dans les secteurs de la décharge, de la production de granulats naturels, du transport, etc.).

Les régions à forte concentration de population voient se développer cette activité plus qu'ailleurs : tel est le cas des régions Alsace, Ile-de-France et Rhône-Alpes.

Bien que le "gisement" des matériaux de démolition soit important (entre 20 et 25 Mt de gravats disponibles), seule une partie de ces matériaux, comprise entre 10 et 15 Mt, peut servir de matières premières pour la confection de granulats de recyclage, le reliquat étant, en effet, constitué de plâtre, bois, ferrailles, matières plastiques, etc. Deux facteurs au moins limitent à environ 3 Mt par an la production de ces matériaux : le délai moyen de réalisation d'un chantier de démolition (= facteur temps) et le lieu d'évacuation des matériaux récupérés (= facteur distance).

La production n'a cessé d'augmenter depuis 1987, passant de 1,48 Mt à plus de 3 Mt en 1990. Le tableau 34 montre l'évolution de cette production entre 1987 et 1990.

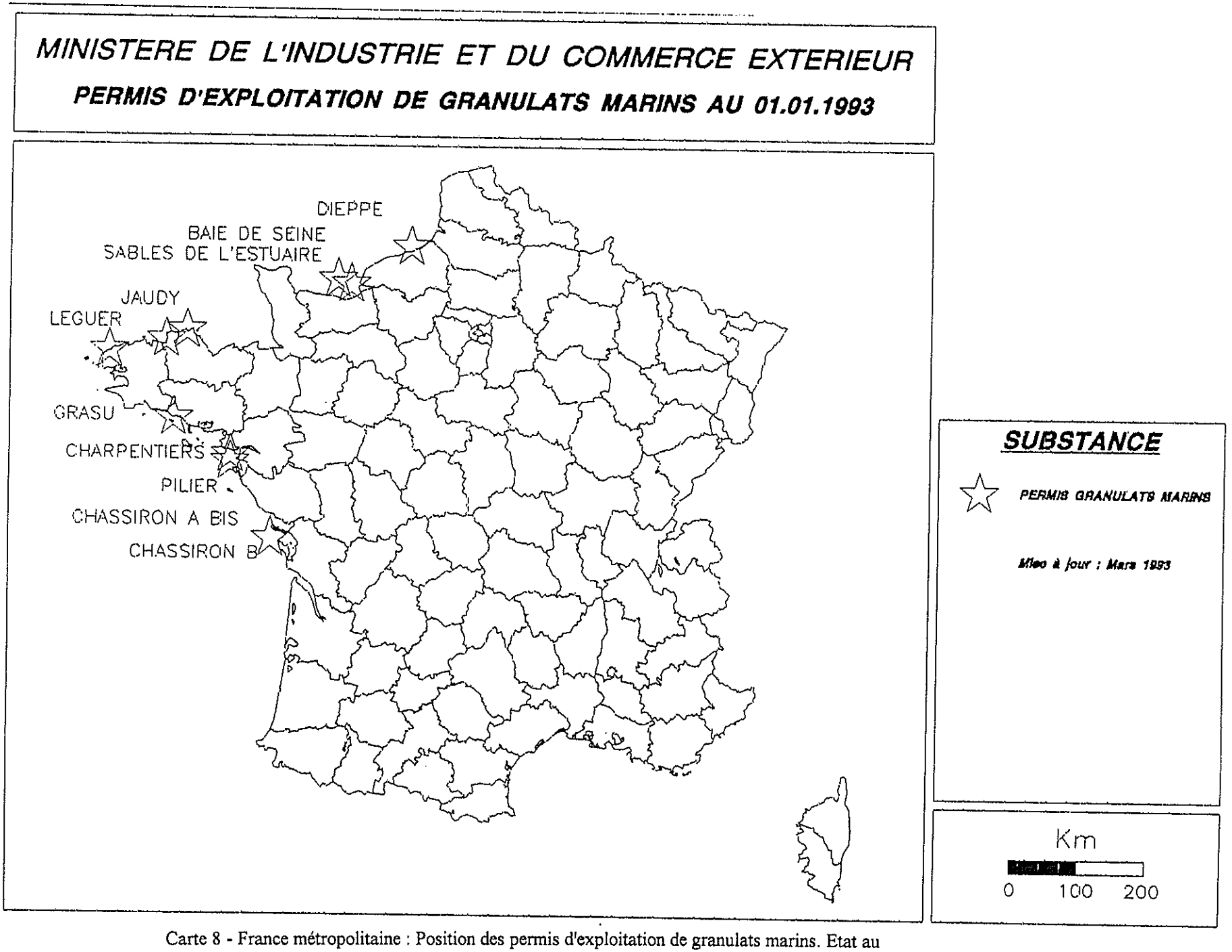
La répartition de la production se fait entre sables, gravillons, graves et cailloux où les graves représentent autour de 70% de cette dernière. Lechoix entre les différents produits sont parfois liés à des problèmes de demande où le rapport qualité - prix correspond davantage à la préférence de l'utilisateur. Le tableau 35 indique la répartition de la production entre sables, gravillons, graves et cailloux.

La première installation mobile fut mise en service, en 1976, en région parisienne. La première installation fixe a été utilisée lors de la démolition des abattoirs de La Villette en 1981. Le démarrage réel de ce type d'activité se situe toutefois en 1985, date à partir de laquelle, plusieurs unités ont été mises en place chaque année.

D'une manière générale, la taille des installations demeure toujours modeste : elle est comprise entre 30 000 et 300 000 tonnes avec une moyenne annuelle de production de 100 000 tonnes.
Les installations comprennent le plus souvent qu'un concassage primaire : seules, les plus grosses unités disposent d'un concassage secondaire.

Les emplois des matériaux de recyclage relèvent de deux catégories :
- emploi des granulats en l'état, c'est à dire sous forme de sables, gravillons, graves ou cailloux. Ils représentent environ 75 % du tonnage total ;
- emploi de sables, gravillons et graves 0/20 dans la fabrication de graves traitées au liant hydraulique. Cet emploi utilise près de 25 % du tonnage total.

Toute unité de recyclage de matériaux de démolition relève de la législation des installations classées pour la protection d l'environnement, en particulier de la loi du 19 juillet 1976 et de son décret d'application du 21 Septembre 1977.



Carte 8 - France métropolitaine : Position des permis d'exploitation de granulats marins. Etat au 30 juin 1993

7.10. GRANULATS MARINS

La perspective d'un arrêt progressif des extraction de granulats alluvionnaires, en particulier en lit mineur, et la nécéssité de trouver des substituts conduit à prendre en compte les granulats marins. Les granulats marins apportent une contribution très variable suivants les zones concernées, régions françaises d'une part et autres pays du globe d'autre part, tant pour les activités du bâtiment que du génie civil. En France, les granulats marins font l'objet d'un regain d'intérêt, tant comme substituts ou compléments, tout particulièrement dans les zones côtières à habitat concentré ou à forte industrialisation.

L'exploitation y est d'ailleurs effective depuis de très nombreuses années, principalement en Bretagne où le déficit en matériaux alluvionnaire demeure toujours très important. Initialement, cette activité était conçue comme une activité d'appoint par les pêcheurs locaux. Par la suite, l'extraction s'est rapidement développée en faisant appel de surcroît à des moyens d'exploitation de plus en plus performants : hier, bennes preneuses, aujourd'hui, dragues suceuses porteuses à élinde traînante. De nos jours, l'activité extractive s'est étendue à de nombeuses régions maritimes de notre métropole et au delà : Haute-Normandie, Pays de Loire, Poitou-Charentes, Gironde, Guadeloupe. En outre, les granulats marins ou provenant de lagons pourraient à court terme couvrir des besoins indentifiés en Nouvelle Calédonie ou à Saint Pierre et Miquelon.

7.10.1. Etat des demandes de permis d'exploitation

Au cours de la dernière décennie, vingt trois demandes de permis d'exploitation de granulats marins, au moins, portant sur l'ensemble du territoire métropolitain, ont été déposées auprès de l'Administration centrale. Ces demandes intéressent 13 départements de notre façade maritime mer du Nord - Manche et Atlantique.

Les superficies demandées varient dans une échelle de 1 à 100 (19,4 km^2 pour le permis de Wiissant, 1,6 km^2 pour le permis de Ker Tourmentin). Globalement parlant, les demandes précédemment citées représentent une superficie cumulée de près de 70 km^2.

7.10.2. Octroi de permis d'exploitation de granulats marins

Les permis de granulats marins accordés au cours de la dernière décennie et en cours de validité sont trois fois moins nombreux. Les onze permis concernent six départements : Seine Maritime, Côtes d'Armor, Finistère, Morbihan, Loire Atlantique, Charente Maritime.

Les superficies concédées sont très faibles, de l'ordre du Km^2. Elles varient dans une fourchette de 1 à 5 (0,38 km^2 pour le permis du Leguer-Baie de Lannion, 2 km^2 pour le permis des Charpentiers). L'ensemble des permis d'exploitation couvre une superficie de l'ordre de 7 km^2.
La carte 8 situe les différents permis autour de notre façade maritime métropolitaine.

ANNEE	PRODUCTION ANNUELLE (tonnes)
1975	1 700 000
1977	3 400 000
1979	3 200 000
1981	4 200 000
1982	4 600 000
1987	3 300 000
1988	3 600 000
1991	3 870 000

Tableau 36 - Production française de granulats marins entre 1975 et 1991

REGION	NOMBRE D'ENTREPRISES	EFFECTIFS	TONNAGE PRODUIT (t/an)	OBSERVATIONS
PROVENCE - ALPES - COTE D'AZUR	1	5	100 000	Féjus-Etang de Villerey
LANGUEDOC-ROUSSILLON	0	0	0	Pas d'exploitation en cours ou projetée
BRETAGNE	7	47	290 000	
HAUTE-NORMANDIE	4	50	600 000	Prévision : 1 000 000 t/an en 1992, 5 Mt entre 1992 et 1996, puis 7 Mt vers l'an 2 000
PAYS DE LOIRE	6	150	1 600 000	2 demandes en cours : 2 500 000 t
NORD-PAS-DE-CALAIS	0	0	0	1 000 000 de t sont importées de Grande Bretagne et de Belgique 1 demande en cours pour plus de 600 000 t/an
PICARDIE	3	100	60 000	Galets de mer
BASSE-NORMANDIE	0	0	0	1 demande en cours portant sur 400 000 t/an
POITOU-CHARENTES	4		320 000	Pour pallier la diminution des matériaux terrestres
AQUITAINE	7	60	900 000	1 Mt en instruction
TOTAUX	32	412	3 870 000	

Nota : L'ensemble des matériaux extraits sur la zone littorale peut être estimé à environ 7 millions de tonnes

Tableau 37 - Extraction de granulats marins sur le domaine public maritime en 1991
Source : Document DATAR - L'Aménagement du Littoral, 1993

7.10.3. Marché français des granulats marins

La production française de granulats marins n'a que peu variéé au cours des deux dernières décennies. Cette production ne représente jamais, addition faite des importations de matériaux anglais, belges, etc. qu'un à deux pour cent de la production nationale de granulats. Le tableau 36 donne cette production pour les années 1975 à 1991.

En 1991, les extractions de granulats marins sur le domaine public maritime métrpolitain ont représenté un tonnage de 3 870 000 tonnes. Cette activité concernait 32 entreprises, employant 312 personnes, réparties sur 10 régions. Le tableau 37 en fournit le détail.

Aujourd'hui, l'arrêt programmé d'exploitations alluvionnaires, principalement dans la vallée de la Seine et en Loire redonne de l'intérêt au domaine maritime et à ses potentialités minérales.

Une mission d'Inspecteurs généraux représentant trois Ministères - Environnement, Industrie et Mer, s'est penchée en 1992 sur "l'exploitation des granulats marins et la cohabitation avec la pêche professionnelle". Outre, une revue détaillée de la production et de l'impact e celle-ci sur l'environnement marin, tout particulièrement de la pêche, une synthèse du cadre réglementaire a conduit les radacteurs du rapport -MM. HAMON, Inspecteur général des transports et des travaux publics, LEYNAUD, Ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts et PERTUS, Ingénieur général des mines, à formuler quelques propositions visant à faciliter l'action de l'Adminsitration, à réoganiser la concertation, à alléger les procédures et à garantir le respect des conditions d'exploitation. La notion de schémas d' utilisation de la mer est évoquée comme un des moyens préalables pour faciliter la concertation. Le rapport précise enfin que "l'appel aux granulats marins, en tant que ressource de substition, ne saurait être massif". Le doublement de la production actuelle, voire son quadruplement, paraît envisageable à moyen terme. Le niveau souhaité est de produire 15 millions de tonnes en substitution des matériaux alluvionnaires extraits dans les lits mineurs qui prennent fin en 1993 (Loire) et pour partie aux extractions en lits majeurs (Garonne, Seine). Celle-ci sera plus facilement confiée à des groupements soit bien implantés régionalement, soit dont la compétence en la matière est reconnue au plan national, si ce n'est au plan européen.

7.10.4. GRANULATS MARINS EN EUROPE

7.10.4.1. Grande Bretagne

Premier producteur de granulats marins (23,3 Mt dont 2,6 exporteés en 1989, 17, 2 Mt en 1990 dont 3,8 exportées), la Grande Bretagne extrait de son territoire marin environ 15 % de ses besoins en granulats.

L'activité extractive dans ce pays est fort bien structurée avec de gros opérateurs (ARC MARINE, RMC/SOUTH COAST SHIPPING, CIVIL AND MARINE Ltd., BRITISH DREDGING, UNITED MARINE DREDGING, etc.) bien équipés gérant une flotte d'une cinquantaine de dragues. Les principales zones d'exploitation sesituent au large des côtes méridionales et en mer du Nord.

7.10.4.2. Belgique

En Belgique, où le dragage en mer est sous le contôle du ministère des Affaires Economiques et du Service des Mines. Les zones exploitées font l'objet d'une délimitation précise et d'un contrôle rigoureux de la part des autorités compétentes. Les bancs de sables exploités ont pour nom : KWINTE, BUITENRATEL, OOSTDIJK.

L'exploitant est tenu de fournir un tableau de bord à jour dans lequel sont consignées les localisations de dragage.

La production belge de matériaux marins est assurée par des compagnies belges, par exemple, DE VREESE AND SIMON) le plus souvent en association avec des groupes anglais. Celle-ci était évaluée à environ 1,5 Mt /an au cours de la dernière décennie.

7.10.4.3. Pays-Bas

L'exploitation de sables marins est peu développée aux Pays Bas, même si, à terre, les sites actuels d'extraction sont de plus en plus contestés.

Le gouvernement néerlandais a l'intention d'encourager les activités marines en matière d'extraction de matériaux et, pour ce faire un plan d'exploitation de sables marins a été mis sur pied ainsi qu'une procédure d'évaluation de l'impact sur l'environnement.

A l'heure actuelle, les seules exploitations marines existantes sont directement liées à la nécessité de maintenir les chenaux d'accès aux ports (IJMUIDE, ROTTERDAM, etc.). Cette activité entraîne la production annuelle de près de 7 Mm3 à la quelle il convient d'ajouter 1 Mm3 provenant du secteur d'EURO-MAAS GEUL et 1 Mm3 d'autres secteurs marins. L'activité extractive en mer représentait en 1990 environ 9 Mm3, en très nette augmentation par rapport aux années précédentes : 4,7 Mm3 en 1987, 2 Mm3 en 1986.

7.10.4.4. Danemark

Au Danemark, le Ministère de l'Environnement gère, au travers de l'Agence Nationale pour la Forêt et la Nature, les activités de recherche et d'exploitation de matériaux marins dans les eaux danoises. Dans ce pays, les extractions de granulats sont principalement concentrées par des tranches d'eau de 10, voire de 20 mètres. L'extraction se fait à l'aide de dragues suceuses porteuses stationnaires très âgées (parfois 40 ans) et peu performantes. Seules, quelques concessions sont accordées à des dragues suceuses porteuses à élinde traînante, appartenant à des pavillons étrangers

La production danoise de granulats marins est cependant importante : entre 9 et 15 % de la production nationale de granulats , soit 3,2 Mm3 sur 33,7 en 1987, 5,6 Mm3 sur 35,9 en 1989, 3,6 Mm3 sur 31,9 en 1990.

7.10.4.5. Islande

L'exploitation de sables coquilliers se pratique au large de FAXA BAY, au sud-ouest d'AKRANES. Les dépôts dont l'épaisseur peut atteindre 4 mètres sont exploités par drague suceuse à élinde traînante. La production annuelle avoisine 200 000 tonnes.

7.10.5. GRANULATS MARINS HORS EUROPE

7.10.5.1. Etats-Unis

La production globale de sables et graviers, réalisée à partir de 5 600 centres d'extraction, s'est élevée à 707 Mt en 1991, en baisse de 14,3 % par rapport à celle de 1990. Celle de concassés, issue d'environ 3 400 carrières, a atteint 950 Mt en 1991, en diminution de 12,4 % par rapport à celle de 1990. Les concassés proviennent pour 71 % de roches calcaires et dolomitiques, 14 % de roches granitiques, 8 % de roches volcaniques, les 7 % restants de grès, quartzites, marbres, marnes calcaires, scories, etc.

Les ressources potentielles en matériaux marins sont considérées comme énormes par le service géologique américain. cependant, l'U.S. BUREAU OF MINES, tout en considérant les matériaux marins comme une alternative possible aux ressources terrestres, se montre réservé quant à une utilisation à grande échelle de ce type de produit. Le pays manque d'une législation appropriée visant à gérer au mieux la Zone Economique Exclusive (ZEE) et les ressources minérales qu'elle peut renfermer.

Actuellement, plusieurs états (NEW YORK, ALASKA, CALIFORNIE, HAWAI, WASHINGTON, etc.) sont le siège d'exploitations de granulats marins destinés à couvrir des besoins locaux bien identifiés. L'exploitation intensive de sables marins aux BAHAMAS permet une exportation en zone caraïbe, jusqu'aux Antilles françaises.

7.10.5.2. Japon

Le Japon demeure le plus important producteur de granulats marins du monde : 90 Mt en 1979, 69 Mt en 1984, 77 Mt en 1988. Environ 40 % de la demande nationale en granulats est couverte par l'approvisionnement marin. Ce production concerne principalement le sable et pour une part excessivement bien plus minime les graviers (800 000 tonnes en 1988).

Plusieurs secteurs de l'archipel font l'objet d'une exploitation intensive : OKAYAMA, HIROSHIMA, KAGAWA, EMIME, KOCHI, FUKUOKA, NAGASAKI, KAGOSHIMA, OKINAWA, CHIBA/IBARAKI. Les sites d'exploitation sont la plupart du temps situés :
- entre 4 et 10 km au large de FUKUOKA et NAGASAKI, première région productrice ;
- par des tranches d'eau de 20 à 40 mètres entre HIROSHIMA et l'île SHIKOKU ;
- entre 2 et 3 km de la côte et par des tranches d'eau comprises entre 20 et 50 mètres au large d'OKINAWA.

L'industrie japonaise des matériaux marins constitue une secteur très fragmenté. On compte, en effet, environ 300 exploitants qui opèrent avec des dragues porteuses dont le puits peut contenir plus de 500 tonnes, les plus récentes d'entre elles ont une capacité de 2 à 4 000 tonnes. Le parc de dragues va en diminuant, tout comme en France : 566 unités en 1985, 466 en 1988. Parallèlement, les sites d'extractions sont moins nombreux : 305 en 1984, 254 en 1988.

La demande en matériaux d'origine marine devrait s'accentuer compte tenu des besoins toujours croissants des grandes agglomérations.

7.10.5.2. Australie

En dépit de multiples tentatives exercées au cours de la dernière décennie par des groupes anglo-saxons, dont ARC MARINE (groupe CONSOLIDATED GOLDFIELDS), le marché australien des granulats marins reste excessivement restreint, l'Administration australienne et les défenseurs de l'environnement s'étant montrés toujours très réticents. Aujourd'hui, l'évolution demeure fort modeste. Toutefois, les granulats marins ont pu faire une percée sur des marchés très localisés : tel est le cas de la société HOOKER INDUSTRIAL SANDS AND MINERALS à Botany Bay, dans la région de SYDNEY, en Nouvelles galles du Sud.

7.10.5.3. Nouvelle Zelande

Deux compagnies exploitent les granulats marins dans la baie de PAKIRI, au droit des côtes orientales et septentrionales d'AUCKLAND.

La production cumulée, faisant référence aux 25 dernières années, atteindrait 1,5 Mm3 de sables. La société Mc CALLUM'S BROS Ltd. dispose d'un permis d'exploitation en mer sur lequel elle peut extraire annuellement 52 000 tonnes de matériaux.

8. CADRE JURIDIQUE

8.1. SITUATION ANTERIEURE

8.1.1. Carrières terrestres

Suivant le code minier français et plus particulièrement ses articles 2, 3 et 4, les granulats appartiennent à la classe des carrières. Depuis la réforme du code miner stipulée par la loi du 2 janvier 1970, la réglementation en matière d'exploitation des carrières n'a cessé de devenir progressivement plus contraignante.

Ainsi, la loi précédemment citée a subordonné toute mise en exploitation de carrière à une autorisation préalable délivrée par le préfet alors qu'auparavant elle n'était soumise qu'à une simple déclaration. De plus, la loi du 2 janvier 1970 a placé toutes les carrières sous la surveillance de l'administration des Mines.

Par la suite, d'autres textes législatifs sont venus compléter et augmenter la pression sur l'exploitations des carrières, parmi lesquels :

- la loi du 10 juillet 1973, reproduite par l'article L.130.1 du Code de l'urbanisme, prévoyant que les plans d'occupations des sols pourraient classer comme boisés tous bois, forêts, et parcs à conserver, à protéger ou à créer en interdisant tout changement d'affectation des bois ainsi classés ;

- la loi du 10 juillet 1976 relative à la proetction de la nature et son décret d'application du 12 octobre 1977 prévoyant la réalisation d'une étude d'impact permettant d'évaluer l'ensemble des conséquences d'un projet d'exploitation de carrière sur l'environnement ;

- la loi du 19 juillet 1976 relative aux installations classées visant à la protection de l'environnement et ses décrets d'application datés du 21 septembre 1977, étendant, entre autres, aux exploitations de carrières la réglementation sur les établissements classés alors que jusqu'alors seules les installations de traitement de matériaux au nombre desquels le broyage, le concassage, le criblage, etc. étaient soumises.

Cependant, le décret du 20 décembre 1979 qui fixe dans le détail le régime des autorisations à exploiter réunit sous un même document, tout à la fois cohérent et homogène, les conditions d'application de ces textes législatifs au domaine des carrières.

8.1.2. Exploitations en mer

Jusqu'à aujourd'hui, la réglementation française en matière d'exploration et d'exploitation de substances minérales en mer tenait compte du droit minier français et du droit de la mer.

Le droit de la mer définit les différents espaces maritimes. Pour ce qui concerne le sol et le sous-sol, la distinction porte, entre autres, sur :

- la mer territoriale qui, suivant les termes de l'article 1 de la loi du 24 décembre 1971 relative à la délimitation des eaux territoriales, s'étend sur une largeur de 12 milles marins, (soit environ 22 km) à partir des lignes de basses eaux constituées par la laisse de basse mer et la ligne de

fermeture des baies. Par ailleurs, la loi du 28 novembre 1963, relative au domaine public maritime, pose le principe de l'incorporation du sol et du sous-sol de la mer territoriale au domaine public maritime ;

- le plateau continental qui, suivant la loi du 30 décembre 1968 relative à l'exploration du plateau continental et à l'exploitation de ses ressources naturelles modifiée par la loi du 11 mai 1977 laquelle définit le plateau continental par référence à la Convention de Genève, précise dans l'article 1 de cette dernière que "la limite interne du plateau continental coïncide avec la limite externe du lit de la mer territoriale et que le plateau continental s'étend, en dehors de la mer territoriale, jusqu'à une profondeur de 200 mètres ou, au-delà de cette limite jusqu'au point où la profondeur des eaux sur-jacentes permet l'exploitation des ressources naturelles...".

On notera que :

- la limite externe, telle qu'elle résulte des texets précédemment cités, apparaît comme très évolutive, liée tout particulièrement à l'évoulution des technologies de reconnaissance et d'exploitation des substances minérales naturelles océaniques ;

- suivant la Convention sur le droit de la mer, laquelle résulte des travaux de la 3ème Conférence des Nations Unies sur le droit de la mer, propose dans son article 76 une nouvelle définition de la limite externe du plateau continental, lequel s'étend jusqu'à 200 milles marins (360 km) des côtes et peut aller jusqu'à 350 milles marins (648 km) si le rebord externe de la marge continentale et les roches sédimentaires vont jusqu'à cette distance. La convention va jusqu'à prévoir l'extension du plateau continental à 100 milles marins au-delà de l'isobathe 2 500 mètres si cette isobathe ne concerne pas une dorsale océanique.

La loi du 30 décembre 1958 relative à l'exploitation et à l'exploration des ressources naturelles du plateau continental, modifiée par la loi du 11 mai 1977, prévoit que la République française exerce des droits souverains en la matière.

Les substances des mines et celles des carrières sont également régies par les dispositions de la loi et de ses décrets d'application en date du 6 mai 1971 qui soumettent à autorisation l'ensemble des activités sus-mentionnées. Cette autorisation se caractérise d'une part pour les activités de prospection par une Autorisation de Prospection Préalable (A.P.P.) délivrée par le ministre chargé des mines et d'autre part pour les activités de recherche et d'exploitation par la délivrance des titres miniers prévus par le code minier français.

La loi du 30 décembre 1968 adapte les opérations minières aux impératifs du milieu marin en prévoyant que les travaux exécutés sur le plateau continental doivent être protégés par un périmètre de sécurité et ne doivent pas, par contre, porter atteinte à la liberté de navigation , à la pêche, etc.

La loi du 16 juillet 1976 relative à la prospection, à la recherche et à l'exploitation des substances minérales non visées à l'article 2 du Code minier et contenues dans les fonds marins du domaine public métropolitain vise les activités de carrières.

En termes géographiques, son champ d'application se limite à la mer territoriale, seul domaine où le sol et le sous-sol présentent le caractère de dépendance vis à vis du domaine public. Cette loi régit les activités de prospection et d'exloitation des carrières qui, toutes, doivent donner lieu à la délivrance d'un titre. Ainsi, sur le plateau continental en mer territoriale, les travaux d'exploration et d'exploitation de produits de carrières font l'objet d'un titre de recherche et et d'un titre

d'exploitation comme le prévoit le code minier. En mer, les titres miniers obéissent à des dispositions spécifiques intéressant tout à la fois :

- l'institution du titre, pour lequel l'article 2 du décret du 11 mars 1980 prévoit que la demande est soumise en cours d'instruction à l'avis de l'IFREMER, puis, au niveau de l'Administration centrale, à l'avis d'une conférence interministérielle, composée des ministres chargés des Affaires Etrangères, du Budget, de la Défense nationale, de l'Environnement, des pêches maritimes, des ports maritimes et des Télécommunications, réunie sous la présidence du ministre de l'Industrie ;

- l'ouverture des travaux miniers, pour lesquels l'article 10 du décret du 7 mai 1980, relatif à la police des mines et des carrières, demande la réalisation d'une étude d'impact dès lors qu'il s'agit de travaux d'exploitation.

8.2. SITUATION ACTUELLE

8.2.1. Carrières terrestres

La gestion des carrières sur un plan juridique répond aujourd'hui à la loi N° 93-3 du 4 janvier 1993 relative aux carrières. Publiée au Journal Officiel de la République française le 5 janvier 1993, cette loi dite "loi Saumade" a été adoptée par les deux assemblées selon les mêmes termes. Les principaux points de cette loi sont précisés dans les articles suivants :

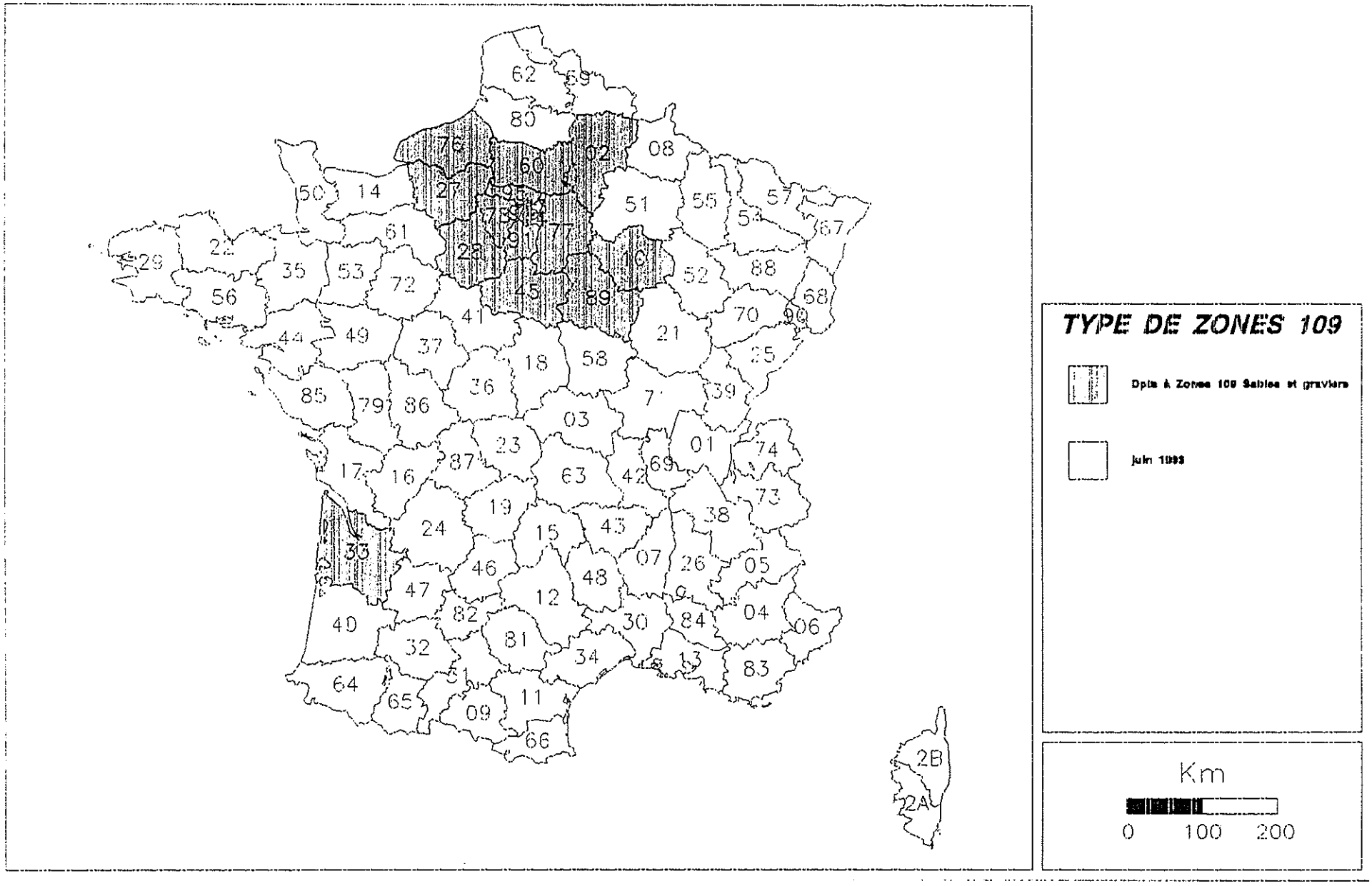
- Article 1, qui précise que les carrières dépendent désormais de la loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées et non plus du Code minier.

- Article 2, qui indique que tant lors d'une demande d'autorisation d'exploitation que lors d'une demande de changement d'exploitant, les exploitants seront tenus de mettre en place les garanties financières, la nature et le montant desquelles seront fixés par décret, pour entre autres permettre le réaménagement des sites. Une telle obligation est d'ailleurs étendue aux carrières existantes pour lesquelles la loi prévoit un délai de cinq ans afin d'y satisfaire.

- Article 6, qui fixe à 6 mois, au lieu de quatre ans, le délai de recours de tiers contre les arrêtés préfectoraux d'autorisation d'exploitation de carrière.

- Article 8, qui insère dans la loi du 19 juillet 1976 un titre IV bis précisant les éléments suivants :
  - toutes les exploitations de carrières sont soumises à autorisation avec étude d'impact et enquête publique préalable ;
  - les commissions départementales des carrières restent des instances consultatives ;
  - seront élaborés des schémas départementaux des carrières par la commission du même nom et que ces derniers seront approuvés par les préfets après avis du Conseil général.

- Article 12, qui modifie l'article 107 du Code minier confirmant la compétence du service des Mines pour ce qui touche les questions d'hygiène et de sécurité du personnel dans les carrières. Par contre, les questions relatives à la protection de l'environnement et à la sécurité publique restent de la compétence du ministère de l'Environnement.



Carte 9 - Département de la France métropolitaine concernés par les zone 109 appliquées aux sables et graviers

- Article 14, qui modifie le texte de l'article 109 du Code minier en y apportant deux restrictions dans la procédure d'attribution de permis d'exploitation. Ainsi, cet article ne peut plus être applicable qu'"en raison de l'insuffisance des ressources connues d'une substance". En outre, des permis d'occupation temporaire, dont les modalités seront précisées par décret, devront être obtenus avec autorisation d'exploiter délivrée dans le cadre de la législation sur les installations classées. Les décrets d'application de cette nouvelle loi ne sont pas encore publiés.

- Article 16-3 précise que le schéma départemental des carrières a pour objet de définir ce que doivent être les conditions générales d'implantation des carrières dans le département. Pour ce faire, il doit obligatoirement prendre en compte tout à la fois la ressource, les besoins en matériaux, la protection des paysages et des milieux naturels sensibles, la gestion équilibrée de l'espace tout en favorisant une utilisation économe des matières premières.
  Son élaboration est dévolue à la commission départementale des carrières. Il doit être par la suite approuvé, après avis du Conseil Général, par le représentant d l'Etat dans le département.

Le texte intégral de cette loi est fourni en annexe 3.

Le principe de pouvoir instituer des zones spéciales d'exploitation de carrières sur le territoire français (articles 109 et 109-1 du code minier) est également pris en compte dans cette nouvelle loi.

Actuellement, 13 zones spéciales de recherches et d'exploitation de carrières sont en cours de validité : 3 d'entre elles concernent les sables et graviers. Ce sont les zones 11 (zone de Moisson), 13 (zone de Nemours), 14 (zone du bassin de la Seine) et 16 (zone de la Gironde). Elles représentent une superficie de 3 227,72 km^2 répartie sur 13 départements français.

La carte 9 indique les départements de la France métropolitaine concernés par les zones 109 appliquées aux sables et graviers.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME (1977) - Compte rendu Séminaire Granulats Marins, Orléans, 22-23 novembre 1977. BRGM Rapport N° 78 DRE 001, 1978, 118 p.

ANONYME (1978) - GERMINAL. Comptes rendus Séminaire International sur les ressources Minérales Sous-Marines, Orléans, 23-27 octobre 1978. BRGM - Document N° 7, 1979, 585 p. dont 80 consacrées aux granulats marins.

ANONYME (1982) - Groupe de travail "Extraction et production de granulats". Rapport du sous-groupe "Matériaux de substitution" Conseil Général des Ponts et Chaussées, 10 février 1982, 33 p.

ANONYME (1984) - GERMINAL - Comptes rendus 2ème Séminaire International sur les Ressources Minérales Sous-Marines, Brest, Centre océanologique de Bretagne, 19-23 mars 1984 GERMINAL, 1984, 735 p. dont 100 consacrées aux granulats marins.

ANONYME (1987) - Le transport des granulats : moyens, coûts et choix. 1ère partie. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 69, juillet 1987, p. 384-400.

ANONYME (1987) - Le transport des granulats : moyens, coûts et choix. 2ème partie. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 69, juillet 1987, p. 439-456.

ANONYME (1991) - L'industrie de la pierre en Corse. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 73, juin 1991, p. 31-45.

ANONYME (1991) - Les matériaux de démolition en France. Le recyclage de la fraction inerte. UNPG/ANRED, Décembre 1991, 30 p.

ANONYME (1992) - Catalogue des Rapprts d' Opérations de la Taxe Parafiscale sur les Granulats. Edition 1990. Ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire - Comité de gestion de la Taxe Parafiscale sur les Granulats, 1992, 365 p.

ANONYME (1992) - Annuaire officiel de l'UNICEM 1992-1993. Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction 1992, pagination multiple.

ANONYME (1992) - Voie d'eau et matériaux de construction : une chance pour l'aménagement du Bassin parisien. UNICEM ILE-DE-FRANCE, 23 octobre 1992, 43 p.

ANONYME (1992) - Recyclage des matériaux de démolition. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 74, novembre 1992, p. 29-59.

ARCHIMBAUD C., BENABEN J.P. (1985) - Caractérisation et spécifications des granulats : application aux techniques routières. Gestion de la qualité. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 67, novembre 1988, p. 610-613.

ARQUIE G. *et al.* (1980) - Granulats. Edition Anciens ENPC, Septembre 1980, 462 p. ISBN 2-85978-023-8, ISSN 0240-2114.

AUGRIS C., CRESSARD A.P. (1984) - Les granulats marins. CNEXO - rapports Scientifiques et techniques N° 51, 1984, 89 p.

BATAIL J., LEFRANC H. (1987) - Pour le génie civil : une étude de matériaux de substitution en Alsace. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 69, février 1987, p. 83-87.

BERNE S., WEBER O. (1985) - Utilisation d'un nouveau type de sonar latéral pour la reconnaissance des ressources minérales du plateau continental. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES
Vol. 67, décembre 1985, p. 703-706.

BERTON Y., LE BERRE P. (1980) - Méthodologie de la prospection des matériaux de carrière. BRGM Rapport 80 SGN 923 MTX, décembre 1980, 130 p.

BERTON Y., LE BERRE P. (1983) - Guide de prospection des matériaux de carrière. BRGM Collection Manuels et Méthodes, N° 5, 1983, 160 p.

BERTON Y., PRIMEL L. (1979) - Méthodologie des études de ressources en granulats. Taxe Parafiscale sur les Granulats. Rapport n° 14.EG.45, 1979, 21 p.

BERTRANDY R., COQUILLAT G., GIORDANO R. (1993) - Valorisation de l'emploi des granulats calcaires dans les bétons hydrauliques. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 75, août-septembre 1993, p. 147-150.

BOLEN W.P. (1990) - Industrial sand and gravel. USA - WASHINGTON - BUREAU OF MINES 1990, p. 833-843.

CHARLIER R.H., CHARLIER C.C. (1992) - Environmental, economic and social aspects of marine aggregates exploitation. ENVIRONMENTAL CONSERVATION, Vol. 19, N° 1, printemps 1992, p. 29-38.

COLLECTIF (1977) - Granulats. Ressources et prospection de gisements. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, Numéro spécial IV, juin 1977, 242 p. ISSN 0458-5860.

COLLECTIF (1984) - Granulats. Contribution des laboratoires des Ponts et chaussées au premier symposium international sur les granulals, NICE, 21-23 Mai 1984. Bulletin de Liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées, Numéro spécial XIV, décembre 1984, 183 p. ISSN 0458-5860.

CRUICKSHANK M.J. (1988) - Marine sand and gravel mining and processing technologies. MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 149-163.

DEHAIS J.A., WALLACE W.A. (1988) - Economic aspects of offshore sand and gravel mining MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 35-48.

DUPONT P., CAMUS A. (1988) - Le marché des granulats en France. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 70, avril 1988, p. 69-73.

ENCEM (1986) - Architecture du paysage et carrières. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 68, février 1986, p. 113-116.

FRANCONI A. (1990) - Les matériaux de carrières d'Ile-de-France. Eléments pour un schéma régional d'exploitation, IAURIF, décembre 1990, 116 p., 1 carte H.T. ISBN 2.7371.0298.7.

GARDENT P. (1988) - Les carrières en france et leur régime juridique. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 70, décembre 1988, p. 29-33.

GUIBERT P. (1991) - Matériaux et transport fluviaux. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 73, Janvier 1991, p. 72-79.

GUIZOL C. (1985) - Aperçu général du marché national des granulats. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 67, novembre 1985, p. 605-607.

HURME A.K., PULLEN E.J. (1988) - Biological effects of marine sand mining and fill placement for beach replenishement : lessons for other uses, MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 123-136.

LACOTE B. (1993) - La gestion des ressources naturelles dans l'aménagement du territoire. ECOMINE, N° 13, 1993, p. 29-34.

LESAGE R., LE ROUX A., MERRIEN P. (1988) - Possibilités d'emploi des sables issus de roches calcaires tendres dans les bétons. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES Vol. 70, janvier 1988, p. 51-54.

LOUIS M.(1991) - Les fines de lavage des sablières et gravières de Lorraine : utilisation en supports de culture. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 73, février 1991, p. 60-63.

MALDONADO A., MEDINA P., MISHELLANY A. (1986) - Aspect énergétique de l'élaboration des granulats de roches massives. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 68, juillet 1986, p. 423-427.

MALDONADO A. (1991) - L'automatisation des carrières et ses effets sur la qualité des granulats. BULL. LIAISON LABO. P. et CH., N° 174, juillet-août 1991, p. 39-45.

MAUBERT F. (1989) - Mémento Roches et Minéraux Industriels - Les Granulats. Rapport BRGM R30157 GEO SGN 89, 1989, 94 p.

MOORE G.W., LUKEN M.D. (1979) - Offshore sand and gravel resources of the Pacific Northwest. OREGON GEOLOGY, Vol. 41, N° 9, septembre 1979, p. 143-151.

NORMAN D.K., LINGLEY W.S. (1992) - Reclamation of sand and gravel mines. WASHINGTON GEOLOGY, Vol. 20, N° 3, 1992, p. 20-31.

OULASVIRTA P., LEHTONEN H. (1988) - Effects of sand extraction on herring spawning and finshing in the gulf of Finland. MARINE POLLUTION BULLETIN, Vol. 19, N° 8, août 1988, p. 383-386.

PACALIN Ch. (1992) - Le transport fluvial par voie d'eau. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 74, juillet 1992, p. 36-39 .

PRAX A. (1979) - Mémento substances utiles. Granulats. BRGM Rapport 79 SGN 149 MTX, Novembre 1979, 52 p.

PRAX A. (1985) - Exploitation des granulats en sites alluvionnaires. Inventaire des moyens d'extraction. INDUSTRIE MINERALE -MINES ET CARRIERES, Vol. 67, décembre 1985, p. 686-696.

PRIMEL L., TOURENQ C. (1976) - Les granulats de remplacement. Annales des Mines décembre 1976.

RAY M., GUERIN M., DUPONT P. (1986) - La politique de la Direction des Routes en matière de granulats. Industrie Minérale - Mines et Carrières, Vol. 68, février 1986, p.109-112

ROUSSEL M.J. (1987) - L'analyse des coûts : une nécessité pour assurer une bonne gestion des carrières. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 69, Avril 1987, p. 221-223.

SIONNEAU J.M. (1985) - Le reboisement des carrières. Situation actuelle et perspectives. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 67, juin 1985, p. 391-397.

SIONNEAU J.M. (1987) - Les potentialités écologiques des carrières. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 69, avril 1987, p. 224-232.

STUBBLEFIELD W.L., DUANE D.B. (1988) -Process producing north america's east coast sand and gravel resources : a review. MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 89-122.

TOURENQ C., DENIS A. (1982) - Les essais de granulats. LCPC. Rapport de recherche N° 114, juillet 1982, 92 p. ISSN 0222-8394.

TSURUSAKI K., IWASAKI T., ARITA M. (1988) - Seabed sand mining in Japan. MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 49-67.

UREN J.M. (1988) - The marine sand and gravel dredging industry of the United Kingdom MARINE MINING. Vol. 7, 1988, p. 69-88.

VIGNAL A. (1991) - L'industrie des granulats en France et en Europe. INDUSTRIE MINERALE - MINES ET CARRIERES, Vol. 73, mars 1991, p. 80-82.

WISE W.M., DUANE D.B. (1988) - An introduction to the sand and gravel workshop proceedings. MARINE MINING, Vol. 7, 1988, p. 1-6.

ANNEXE 1

Norme NF P 18-301

NORME FRANÇAISE

HOMOLOGUÉE

GRANULATS (1)
GRANULATS NATURELS (2)
POUR BÉTONS HYDRAULIQUES

NF
P 18-301
Décembre 1983

éditée par l'association française de normalisation (afnor) — tour europe cedex 7 92080 paris la défense — tél. (1) 778-13-26

SOMMAIRE

		Page
1	**Objet**	1
2	**Domaine d'application**	2
3	**Références**	2
4	**Modalités d'application**	3
5	**Propriétés normalisées**	3
5.1	Granularité	3
5.2	Propriétés physiques	4
5.3	Propriétés physico-chimiques	5
5.4	Éléments coquilliers	6
	Commentaire non homologué	7
	Annexe non homologuée	8

1 OBJET

La présente norme a pour objet de fixer les spécifications auxquelles doivent répondre les granulats naturels pour bétons hydrauliques tels que définis dans la norme NF P 18-101. Les valeurs correspondantes sont données en caractères gras.

Pour certains produits ou types d'ouvrages, il peut être nécessaire — exceptionnellement pour certaines utilisations — d'adopter des valeurs différentes pour une ou plusieurs de ces spécifications. Ces valeurs sont données en italique.

La commande peut se référer seulement à une partie des spécifications de la présente norme, celles-ci devant être désignées nominativement. À défaut de telles indications, la totalité des spécifications est visée.

Sauf précisions particulières à la commande, les valeurs retenues sont celles figurant en caractères gras.

---

(1) Lorsque le terme « granulat » est utilisé seul, il concerne aussi bien les sables que les gravillons et cailloux.

(2) Conformément à la norme NF P 18-101, un granulat est dit « naturel » s'il n'a subi aucune opération de transformation autre que mécanique (concassage, criblage).

Homologuée par arrêté du 1983-11-16 effet le 1983-12-16

La présente norme remplace la norme de même indice homologuée par arrêté du 1960-09-30

© afnor 1983
Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays

afnor 83306

NF P 18-301 1er tirage 83-12

Aggregates — Natural aggregates for hydraulic concretes

Zuschläge — Natürliche Zuschläge für hydraulischen Beton

2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme s'applique aux granulats naturels courants, de masse volumique réelle comprise entre 2 et 3 g/cm^3, utilisés comme constituants des bétons hydrauliques pour tout type de construction.

Note : Certaines normes de produits actuellement en vigueur font référence à la norme NF P 18-301 (septembre 1960) annulée par la présente norme. Il est admis qu'il convient de se référer au texte périmé jusqu'aux mises à jour de ces normes de produits.

3 RÉFÉRENCES

NF P 15-401	Liants hydrauliques — Technique des essais — Prescriptions générales.
NF P 15-451	Liants hydrauliques — Technique des essais — Essais mécaniques — Flexion et compression.
NF P 18-101	Granulats — Vocabulaire — Définitions — Classification.
P 18-203	DTU 21.4 — Prescriptions techniques concernant l'utilisation du chlorure de calcium et des adjuvants contenant des chlorures dans la confection des coulis, mortiers et bétons.
NF P 18-304	Granulométrie des granulats.
NF P 18-400	Bétons — Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques.
NF P 18-404	Bétons — Essais d'étude, de convenance et de contrôle — Confection et conservation des éprouvettes.
NF P 18-406	Bétons — Essai de compression.
NF P 18-407	Bétons — Essai de flexion.
NF P 18-554	Granulats — Mesures des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux.
NF P 18-555	Granulats — Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
NF P 18-556	Granulats — Détermination de l'indice de continuité.
P 18-557	Granulats — Éléments pour l'identification des granulats.
NF P 18-561	Granulats — Mesure du coefficient d'aplatissement.
NF P 18-571	Granulats — Détermination de l'homogénéité des granulats ($d \geqslant 4$ mm).
NF P 18-572	Granulats — Essai d'usure Micro-Deval.
NF P 18-573	Granulats — Essai Los Angeles.
NF P 18-576	Granulats — Mesure du coefficient de friabilité des sables.
NF P 18-582	Granulats — Détermination de la teneur en soufre total.
NF P 18-583	Granulats — Mesure de la teneur en chlore — Méthode par dissolution.
P 18-584	Granulats — Réactivité potentielle de type alcali-silice.
P 18-585	Granulats — Essai de stabilité dimensionnelle en milieu alcalin.
NF P 18-586	Granulats — Mise en évidence de matières organiques par colorimétrie.
P 18-587	Granulats — Éléments coquilliers (à l'étude).
NF P 18-591	Granulats — Détermination de la propreté superficielle.
P 18-592	Granulats — Essai au bleu de méthylène.
NF P 18-593	Granulats — Sensibilité au gel.
P 18-595	Granulats — Valeur de bleu de méthylène — Méthode turbidimétrique.
NF P 18-598	Granulats — Équivalent de sable.

4 MODALITÉS D'APPLICATION

Le producteur qui, pour la vente de ses granulats, s'est référé à la présente norme ou à un texte qui fait référence à certains de ses articles, doit être en mesure de faire la preuve que les prescriptions énumérées sont respectées, et en particulier, que les vérifications correspondantes ont été effectuées.

5 PROPRIÉTÉS NORMALISÉES

5.1 Granularité

La granularité des granulats naturels pour bétons hydrauliques est définie par la norme NF P 18-304.

5.1.1 Sables

Les sables sont caractérisés par :

— la dimension D de leur plus gros grain ;

— leur teneur en fines définie comme le passant à 0,08 mm :

Ce passant doit être inférieur à 10 % ..... **< 10 %**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, ce passant peut être limité à 6 %.

Cette limite ne s'applique pas à un sable très fin (sable de correction < 0,63 mm).

— pour une fourniture donnée (1) la tolérance maximale sur le Module de Finesse (MF) annoncé est de ± 20 % ..... **Tolérance ± 20 %**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette tolérance est limitée à ± 0,3 en valeur absolue.

— la continuité de la courbe granulométrique :

Le pourcentage retenu en masse entre deux tamis successifs de la série :
0,16 — 0,315 — 0,63 — 1,25 — 2,5 — 5

ne doit pas dépasser 40 % ..... **< 40 %**

Cette limite ne s'applique pas à un sable très fin (sable de correction < 0,63 mm).

---

(1) Commentaire explicatif

Dans la plupart des cas, la qualité des bétons (maniabilité, résistance ...) justifie l'emploi d'un sable dont la granularité s'inscrit dans le fuseau ci-après :

Tamis (mm)	Passant (%)
0,16	5 à 20
0,315	15 à 40
0,63	30 à 70
1,25	55 à 90
2,5	80 à 100
5	95 à 100

Ce fuseau correspond à un Module de Finesse MF compris entre 1,8 et 3,2. Dans ces cas, un sable spécialement élaboré peut résulter d'un mélange de plusieurs sables provenant, éventuellement, de lieux de production différents, le mélange étant effectué aussi bien par le producteur que par l'utilisateur pour l'obtention d'un matériau homogène.

5.1.2 Gravillons et cailloux

Les gravillons et cailloux sont caractérisés par les valeurs d et D conformément à la norme NF P 18-304.

Lorsque $D \geqslant 2{,}5\ d$, le passant à $\frac{d+D}{2}$ est compris entre $\frac{1}{3}$ et $\frac{2}{3}$.

5.2 Propriétés physiques

5.2.1 Absorption d'eau

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P 18-554 et NF P 18-555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à 5 % ..... **Ab < 5 %**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à 2 %.

5.2.2 Résistances mécaniques

Friabilité des sables

Déterminée selon la norme NF P 18-576, le seuil du coefficient de friabilité est fixé à 40 ..... **FS ⩽ 40**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette valeur peut être abaissée jusqu'à 20.

Résistance au choc et à l'usure des cailloux

Elle est déterminée par les deux modes opératoires suivants :

— « Essai Los Angeles »

Selon le mode opératoire défini par la norme NF P 18-573, le seuil est fixé à 40 ..... **LA ⩽ 40**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette valeur peut être abaissée jusqu'à 25.

— « Essai d'usure Micro-Deval en présence d'eau »

Selon le mode opératoire défini dans la norme NF P 18-572, le seuil est fixé à 35 ..... **MDE ⩽ 35**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette valeur peut être abaissée jusqu'à 20.

5.2.3 Coefficient d'aplatissement

La forme des granulats est appréciée par la mesure du coefficient d'aplatissement défini dans la norme NF P 18-561.

Le seuil correspondant est fixé à 30 % ..... **A ⩽ 30 %**

5.2.4 Homogénéité

Selon le mode opératoire défini dans la norme NF P 18-571, le coefficient d'homogénéité est supérieur à 90 % pour $\alpha = 0{,}4$. ..... **H ⩾ 90 %**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, cette valeur est portée à 97 %.

5.3 Propriétés physico-chimiques

5.3.1 Impuretés prohibées

Le granulat ne doit pas contenir de particules de bois (brindilles, racines), de charbon ou de résidus divers (coke, cendres, mâchefer, braise, etc...).

5.3.2 Nature de la roche

Les granulats doivent provenir de roches identifiées comme étant insensibles au milieu environnant et non nocives en ce qui concerne les autres éléments contenus dans les bétons.

Note : En général, les références d'emploi apportent une indication suffisante sur ces propriétés.

Actuellement certaines roches vitreuses ou à structure micro-cristalline ou encore contenant des substances carbonatées magnésiennes sont susceptibles, dans certaines conditions hygrothermiques et avec des ciments riches en alcalis, de provoquer des gonflements (réaction alcali-granulat). En l'absence de référence d'emploi, il convient de faire effectuer une étude préalable par un laboratoire spécialisé.

L'identification des roches est faite par analyse pétrographique (P 18-557) et détermination de l'indice de continuité (NF P 18-556).

L'insensibilité aux agents atmosphériques est estimée d'après les résultats :

— de l'essai d'usure Micro-Deval en présence d'eau (voir paragraphe 5.2.2) ;

— de l'essai de sensibilité au gel (NF P 18-593) : la baisse de résistance de l'échantillon soumis aux cycles de gel par rapport au témoin ne doit pas dépasser 50 % ;

— et des essais de réaction alcali-granulat (voir normes P 18-584 et P 18-585).

5.3.3 Propreté des sables

La propreté des sables est déterminée à vue selon la norme NF P 18-598 sur la fraction 0/5 mm.

— La limite inférieure sauf pour les sables de concassage ou de broyage, est fixée à 75 ..... **ESV ⩾ 75**

— Pour les sables de concassage ou de broyage, la limite est fixée à 65 ..... **ESV ⩾ 65**

Exceptionnellement pour certaines utilisations, ces valeurs peuvent être portées à 80.

Toutefois, les sables dont l'ESV est inférieur à ces valeurs sont conformes à la présente norme si la valeur de bleu selon la norme P 18-595 est ⩽ 1 g pour 100 g de fines.

5.3.4 Propreté des gravillons

La propreté des gravillons est déterminée selon la norme NF P 18-591. Le seuil fixé pour le passant à 0,5 mm est de 2 %. ..... **P ⩽ 2 %**

La valeur du passant à 0,5 mm peut être de 5 % pour un gravillon concassé mais le résultat de l'essai au bleu doit satisfaire aux conditions indiquées à l'article 5.3.3 (1).

---

(1) L'essai au bleu est effectué selon la norme P 18-592 mais en cas de litige ou de doute, la méthode de la norme P 18-595 est appliquée.

5.3.5 Sulfates et sulfures

Les granulats peuvent contenir de faibles quantités de sulfates et de sulfures, sous réserve que leur teneur en soufre total, exprimée en anhydride sulfurique SO_3 déterminée selon la norme NF P 18-582, ne dépasse pas 0,4 % en masse et que la répartition de ces impuretés soit uniforme (1). ..... **Teneur $SO_3 \leqslant 0{,}4$ %**

Note : La présence de pyrite ou de marcassite sous forme de grains de dimensions supérieures à 2 mm rend les granulats impropres à la confection de bétons pour lesquels on attache une importance à l'apparence. Dans ce cas, une clause à cet effet doit être précisée lors de la commande.

5.3.6 Matières organiques (sables)

La présence de matières organiques est déterminée selon la norme NF P 18-586. Elle ne doit être qu'en proportion suffisamment faible pour que l'essai colorimétrique donne une coloration moins foncée que la couleur type.

En cas de coloration plus intense que celle du témoin, des essais comparatifs sur mortier composé d'une partie de liant et trois parties de sable avec rapport eau/ciment = 0,5 en utilisant d'une part le sable concerné et d'autre part ce même matériau après élimination des matières organiques, doivent être effectués.

Les résistances mécaniques obtenues avec le sable concerné doivent atteindre, à deux jours d'âge, au moins 90 % de celles obtenues à partir du sable traité.

5.3.7 Teneur en chlorures

La teneur en ions-chlorure est déterminée conformément à la norme NF P 18-583.

Le fournisseur doit donner la teneur maximale en ions-chlorure des produits qu'il livre (2) lorsqu'elle dépasse 0,1 % et doit pouvoir la donner sur demande lorsque celle-ci est inférieure à 0,1 % .

5.4 Éléments coquilliers

5.4.1 Teneur en éléments coquilliers

Les teneurs en éléments coquilliers doivent être limitées et le mode opératoire est défini par la norme P 18-587 (à l'étude).

En attendant cette définition, on s'en tient aux valeurs suivantes (exprimées en masse) :

Sables

— fragments de coquillages ..... **$\leqslant 30$ %**

Gravillons et cailloux

— coquillages creux ..... **$\leqslant 5$ %**

— fragments de coquillages plats ..... **$\leqslant 10$ %**

5.4.2 Influence sur les résistances mécaniques

De plus, l'influence sur les résistances mécaniques des bétons est déterminée par des essais comparatifs.

---

(1) Si ces conditions ne sont pas respectées, certaines précautions doivent être prises, notamment en ce qui concerne le choix du ciment et la compatibilité des granulats avec les composants du béton qui est à vérifier.

(2) Il est rappelé que la teneur globale en chlorures de tous les constituants du béton ne doit pas dépasser les valeurs mentionnées dans le DTU 21.4 (P 18-203).

Pour les sables :

Les résistances doivent atteindre au moins 80 % de celles obtenues avec le mortier normal.

La préparation des éprouvettes d'essais et le contrôle des résistances mécaniques sont effectués selon les normes NF P 15-401 et NF P 15-451.

Pour les gravillons et cailloux :

Les essais doivent être effectués sur des éprouvettes de béton confectionnées à l'aide de sable de référence et des gravillons et cailloux à examiner :

— d'une part à l'état brut,

— d'autre part débarrassés par triage des éléments coquilliers.

Les résistances des éprouvettes confectionnées avec les granulats bruts doivent atteindre 85 % des résistances obtenues avec les granulats débarrassés des éléments coquilliers.

La réalisation des éprouvettes et le contrôle des résistances mécaniques sont effectués selon les normes NF P 18-400 — NF P 18-404 — NF P 18-406 — NF P 18-407.

COMMENTAIRE NON HOMOLOGUÉ

Désignation d'un granulat

La désignation d'un granulat comprend dans l'ordre les indications suivantes :

— granularité,

— masse volumique réelle,

— origine,

— mode de préparation,

— référence à la présente norme,

— dans certains cas particuliers, désignation de la ou des propriétés pour lesquelles une valeur déterminée est demandée .

Exemples de désignation

Sable 0/6,3 courant, marin, NF P 18-301.

Gravillon 6,3/20 courant, naturel, semi-concassé, NF P 18-301, (coefficient d'absorption d'eau < 2 %).

ANNEXE NON HOMOLOGUÉE

CONDITIONS DE RÉCEPTION APPLICABLES AUX FOURNITURES DE GRANULATS NATURELS POUR BÉTONS HYDRAULIQUES LIVRÉS EN VRAC

A.1 Objet

La présente annexe a pour objet de définir les règles applicables, sauf accord particulier entre l'acquéreur et le fournisseur, à la formation de lots de contrôle pour la réception d'une fourniture de granulats ainsi qu'à la constitution d'échantillons de ces granulats, aux fins de vérifications de leur conformité aux spécifications de la norme.

A.2 Généralités

A.2.1 Définitions

Ces définitions s'appliquent aux granulats répondant à une même désignation (voir commentaire non homologué à la fin de la présente norme).

— Fourniture : Quantité de granulats correspondant à une seule et même commande, constituée d'un certain nombre de lots.

— Lot : Quantité de granulats soumise éventuellement à une opération de contrôle de réception par échantillonnage.

— Prélèvement : Quantité de granulats extraite du lot en une seule fois.

— Échantillon global : Quantité de granulats constituée par l'ensemble des prélèvements.

— Échantillon d'essai : Quantité de granulats obtenue à partir de l'échantillon global et destinée aux essais.

A.2.2 Contrôle de réception

Les conditions de réception ne s'appliquent qu'aux lots homogènes provenant d'une même unité de production.

La réception porte couramment sur la granularité (article 5.1) et sur la propreté (articles 5.3.3 et 5.3.4).

L'acquéreur ne peut demander qu'il soit procédé à une réception systématique plus complète que la granularité et la propreté que s'il en a, au préalable, informé par écrit le fournisseur sur sa lettre de commande, en précisant également les modalités, la fréquence et les délais nécessaires à l'exécution des essais.

Toutefois, en cas de besoin, l'acquéreur peut demander, en cours de livraison, d'effectuer la vérification d'autres caractères définis dans la norme.

A.2.3 Date et lieu de réception

Sauf procédure particulière fixée lors de la commande, la réception est effectuée au moment de la prise en charge des lots par l'acheteur, c'est-à-dire, soit chez le fournisseur, soit sur le lieu de livraison lorsque le transport est assuré par le fournisseur.

Si elle est effectuée chez le fournisseur, la date en est fixée d'un commun accord, l'acquéreur y est présent ou représenté.

Si elle est effectuée sur le lieu de la livraison, le fournisseur doit être prévenu pour assister aux opérations de réception ou s'y faire représenter.

A.3 Réception

A.3.1 Constitution des lots et nombre d'essais

La constitution des lots soumis aux conditions de réception ainsi que le nombre d'essais à effectuer par lot relèvent d'un accord entre fournisseur et acquéreur.

A.3.2 Prélèvement dans les lots

A.3.2.1 *Nombre de prélèvements*

Le nombre de prélèvements constituant l'échantillon global est contractuel et est au minimum de 10.

Si les livraisons sont régulièrement espacées dans le temps, l'acquéreur et le fournisseur peuvent convenir de n'effectuer les prélèvements que tous les « n » lots, le nombre « n » étant fixé par l'acquéreur en fonction de l'organisation de l'unité de production et du contrôle exercé par le fournisseur.

A.3.2.2 *Points de prélèvements*

La règle générale à observer consiste à répartir aussi uniformément que possible les points de prélèvements dans l'ensemble du lot soumis au contrôle de réception.

Les prélèvements sur courant de granulats doivent être régulièrement répartis dans le temps. Ils doivent être effectués conformément aux indications de la norme NF P 18-552.

Un procédé de prélèvement à caractère automatique doit être utilisé de préférence.

A.3.2.3 *Constitution de l'échantillon global*

Exemple d'échantillons (voir norme NF P 18-552)

Dimensions nominales maximales des granulats (mm)	Masse approximative minimale de l'échantillon (kg)
2,5	10
5	10
10	20
20	40
40	80
63	120
80	200

A.3.2.4 *Constitution de l'échantillon d'essai*

Sur l'échantillon global dont la masse est indiquée dans le tableau au paragraphe A.3.2.3, procéder à l'opération du quartage telle que décrite dans la norme NF P 18-553 pour obtenir la masse de l'échantillon pour le ou les essai(s) prescrit(s) à la commande.

Les granulats non utilisés pour la constitution de l'échantillon d'essai peuvent être réintroduits dans l'échantillon global.

A.3.2.5 *Modes opératoires et nombre d'essais*

Les essais sont effectués conformément aux normes d'essais correspondantes.

A.3.3 Conditions de conformité

Tous les essais prescrits lors de la commande ou effectués en cas de besoin en cours de livraison proviennent d'un même échantillonnage et leurs résultats doivent être conformes aux prescriptions de la norme.

Si, pour l'un des caractères normalisés, le résultat d'un essai n'est pas conforme aux prescriptions de la norme, dans le cadre des spécifications de la commande, il pourra être procédé à deux contre-épreuves pour cet essai à partir de deux nouveaux échantillons prélevés dans le même lot.

Si le résultat d'une de ces contre-épreuves est encore défavorable, la livraison est réputée non conforme.

Si le résultat des deux contre-épreuves est favorable, la livraison entière est réputée conforme.

A.3.4 Choix du laboratoire

Les essais sont effectués, soit dans le laboratoire désigné à la commande, soit à défaut d'une telle désignation et en cas de nécessité, dans un laboratoire choisi d'un commun accord par le fournisseur et par l'acquéreur.

RÉFÉRENCES

NF P 18-552 Prélèvement de matériaux en cours d'écoulement.

NF P 18-553 Préparation d'un échantillon pour essai.

ANNEXE 2

Norme NF P 18-321

NORME FRANÇAISE

HOMOLOGUÉE

GRANULATS

CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS DESTINÉS AUX TRAVAUX ROUTIERS

NF

P 18-321

Mai 1982

édité par l'association française de normalisation (afnor) — tour europe cédex 7 92080 paris la défense — tél. (1) 778-13-26

SOMMAIRE

		Page
1	**Généralités**	1
1.1	Objet	1
1.2	Domaine d'application	1
1.3	Références	2
1.4	Définitions	2
2	**Caractéristiques des granulats**	2
2.1	Caractéristiques intrinsèques	2
2.2	Caractéristiques de fabrication	3
2.3	Caractéristiques complémentaires	3
3	**Catégories de gravillons**	3
4	**Catégories de sables**	4
5	**Granularité**	4
	Commentaires non homologués N° 1 et N° 2	5

1 GÉNÉRALITÉS

1.1 OBJET

La présente norme a pour objet de définir des catégories de granulats en fonction de leurs caractéristiques intrinsèques et de leurs caractéristiques de fabrication.

1.2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme s'applique à des granulats destinés aux travaux routiers et aéroportuaires, à l'exclusion des couches de chaussées en béton hydraulique (1).

---

(1) Les granulats pour chaussées en béton sont visés par la norme NF P 18-301 (en révision) : Granulats naturels pour bétons hydrauliques.

Homologuée par arrêté du 1982-04-05 (J.O. 1982-04-09) effet le 1982-05-05

© afnor 1982
Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays

Aggregates — Characteristics of aggregates intended for road works

Zuschlag für Beton — Eigenschaften von Zuschlägen für den Strassenbau

1.3 RÉFÉRENCES

NF P 18-101 (en préparation)	Termes, définitions, classification.
NF P 18-304 (décembre 1973)	Granulométrie des granulats.
NF P 18-552 (décembre 1981)	Prélèvements de matériaux en cours d'écoulement.
NF P 18-553 (octobre 1978)	Préparation d'un échantillon pour essai.
NF P 18-554 (décembre 1978)	Mesures des masses volumiques, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eau des gravillons et cailloux.
NF P 18-555 (avril 1980)	Mesures des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables.
NF P 18-556 (avril 1980)	Détermination de l'indice de continuité.
P 18-557 (décembre 1980)	Éléments pour l'identification des granulats.
NF P 18-560 (octobre 1978)	Analyse granulométrique par tamisage.
NF P 18-561 (octobre 1978)	Mesure du coefficient d'aplatissement.
NF P 18-562 (février 1981)	Détermination de l'épaisseur moyenne des gravillons.
P 18-563 (février 1981)	Détermination du coefficient d'écoulement des gravillons.
P 18-564 (février 1981)	Détermination du coefficient d'écoulement des sables.
NF P 18-565 (décembre 1981)	Détermination de l'indice des Vides Rigden.
NF P 18-571 (avril 1979)	Détermination de l'homogénéité des granulats ($d \geqslant 4$ mm).
NF P 18-572 (octobre 1978)	Essai d'usure micro-Deval.
NF P 18-573 (octobre 1978)	Essai Los Angeles.
NF P 18-574 (avril 1979)	Essai de fragmentation dynamique.
NF P 18-575 (décembre 1979)	Mesure du coefficient de polissage accéléré des gravillons.
NF P 18-576 (octobre 1978)	Mesure du coefficient de friabilité des sables.
NF P 18-578 (décembre 1979)	Mesure de la rugosité d'une surface à l'aide du pendule de frottement.
NF P 18-586 (février 1981)	Mise en évidence de matières organiques par colorimétrie.
NF P 18-591 (avril 1980)	Détermination de la propreté superficielle.
P 18-592 (juillet 1980)	Essai au bleu de méthylène.
NF P 18-593 (octobre 1978)	Sensibilité au gel.
NF P 18-597 (décembre 1979)	Détermination de la propreté des sables équivalent de sable à 10 % de fines.
X 11-680 (juin 1980)	Granulométrie — Tirage par fluides — Analyse granulométrique par sédimentation, par gravité dans un liquide.

1.4 DÉFINITIONS

Il convient, pour les définitions relatives aux granulats, de se référer aux normes NF P 18-101 et NF P 18-304. Néanmoins, certaines d'entres elles sont précisées ci-après.

Les éléments inférieurs ou égaux à 0,080 mm sont appelés « fines ».

Les « sables » sont les granulats d/D dont le d est compris entre 0 et 1 mm et le D est inférieur ou égal à 6,3 mm.

Les « gravillons » sont les granulats d/D dont le d est supérieur ou égal à 1 mm et le D inférieur ou égal à 31,5 mm.

Les « graves » sont les granulats 0/D à granularité continue dont le D est supérieur à 6,3 mm et inférieur ou égal à 80 mm.

Ces dimensions sont données par des tamis de contrôle à mailles carrées.

2 CARACTÉRISTIQUES DES GRANULATS

2.1 CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES

La norme retient comme caractéristiques intrinsèques des granulats celles dépendant principalement de la nature de la roche :

— le coefficient Los Angeles (LA)

— le coefficient micro-Deval en présence d'eau (MDE)

— le coefficient de polissage accéléré (CPA)

2.2 CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION

La norme retient comme caractéristiques liées à leur fabrication

— pour les gravillons :
  - la granularité (Gr),
  - le coefficient d'applatissement (A) ou l'épaisseur moyenne (EM),
  - la propreté superficielle (P) (voir NF P 18-591).

— pour les sables :
  - la granularité (Gr),
  - la propreté des sables : Équivalent de sable à 10 % de fines : ES 10 % et éventuellement la valeur de bleu (VB).

2.3 CARACTÉRISTIQUES COMPLÉMENTAIRES

D'autres caractéristiques d'essais normalisées ou de définitions telles que :

— sensibilité au gel, homogénéité, coefficient d'écoulement, coefficient de friabilité des sables, indice et rapport de concassage etc. peuvent, le cas échéant, faire l'objet de spécifications complémentaires.

3 CATÉGORIES DE GRAVILLONS

L'association des caractéristiques permet de ranger les gravillons dans l'une des catégories définies dans les tableaux ci-dessous.

3.1 TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES INTRINSÈQUES

Catégorie	LA	MDE
A	$\leqslant$ 15	$\leqslant$ 10
B	$\leqslant$ 20	$\leqslant$ 15
C	$\leqslant$ 25	$\leqslant$ 20
D	$\leqslant$ 30	$\leqslant$ 25
E	$\leqslant$ 40	$\leqslant$ 35

Une compensation entre LA et MDE est possible dans la limite de 5 unités.

Lorsque, pour certains cas, le CPA doit être pris en compte, sa valeur doit être :

$\geqslant$ 0,55 pour la catégorie A

$\geqslant$ 0,50 pour les autres catégories

Toutefois, si les valeurs du CPA sont inférieures de 0,01 à 0,05 à celles indiquées ci-dessus, une compensation limitée à 5 unités est admise entre LA + MDE et 100 CPA (1).

---

(1) Par exemple : « Un granulat ayant un CPA de 0,47 peut être accepté en catégorie B s'il a un LA de 19 et un MDE DE 13 ».

Inversement si LA + MDE est supérieur aux valeurs indiquées ci-dessus, on pourra admettre une compensation par 100 CPA dans la limite de 5 unités (1).

3.2 TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION

Catégorie	Gr	A (2) ou E_m		P
I	Voir chapitre 5	$\leqslant 10$	$\geqslant \frac{D+d}{3}$	$\leqslant 0{,}50$
I bis		$\leqslant 15$	$\geqslant \frac{D+d}{3{,}5}$	$\leqslant 1$
II		$\leqslant 20$		$\leqslant 2$
III		$\leqslant 30$		$\leqslant 3$

Dans certains cas, les spécifications des caractéristiques de fabrication peuvent être limitées à celle de la granularité.

4 CATÉGORIES DE SABLES

4.1 TABLEAU DES CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION

Catégorie	Gr	ES 10 %
a	Voir chapitre 5	$\geqslant 60$
b		$\geqslant 50$
c		$\geqslant 40$

Pour la propreté des sables, si ES 10 % est inférieur à la valeur spécifiée, la valeur de bleu VB doit être :

$\leqslant 1$ *pour que le sable soit classé en catégorie a,*

$\leqslant 1{,}5$ pour que le sable soit classé en catégorie b,

$\leqslant 2$ pour que le sable soit classé en catégorie c.

Ces caractéristiques sont applicables aux sables des graves.

5 GRANULARITÉ

Le fuseau de régularité doit :

5.1 Être situé dans la zone définie par la norme NF P 18-304 dont les dispositions principales sont rappelées ci-après :

— pour les gravillons :

- refus à 1,58 D nul,
- *refus à D et tamisat à d* : 1 à 15 %, cette valeur étant portée à 20 % si $D \geqslant 1{,}58\ d$,
- tamisat à $0{,}63\ d < 3$ % cette valeur sera portée à 5 % si $D \leqslant 5$ mm.

---

(1) En fonction des conditions locales, voir commentaire non homologué N° 1.

(2) Pour les granularités inférieures à 10 mm la valeur de A sera majorée de 5.

— pour les sables et les graves :

- refus à 1,58 D nul,
- refus à D : 1 à 15 %.

5.2 Satisfaire aux spécifications complémentaires suivantes :

— pour les gravillons :

- l'étendue maximale du fuseau de régularité doit être de 10 % à d et D et de 25 % à $\frac{D + d}{2}$
- Dans le cas où $D \geqslant 2{,}5\ d$, $\frac{D + d}{2}$ doit être compris entre 1/3 et 2/3.
- le refus à 1,25 D doit être nul pour les catégories I et I bis.

— pour les sables et les graves livrés en une seule fraction, l'étendue du fuseau de régularité doit être de :

- 10 % pour D et pour le tamis de 0,5 mm,
- 15 % aux tamis intermédiaires : 2 ; 4 ; 6,3 ; 8 ; 10 ; 14 ; 20 mm.
- 4 % à 0,080 mm si la teneur en fines est $<$ à 12 %,
- 6 % à 0,080 mm si la teneur en fines est $\geqslant$ à 12 %.

5.3 Les niveaux de teneur en fines des sables pourront être spécifiés en choisissant entre les niveaux suivants : 6 ; 12 ; 18 ; 24 ; 30.

COMMENTAIRES NON HOMOLOGUÉS

N° 1 Voir paragraphe 3.1

Cette rédaction a été introduite pour tenir compte des conditions de circulation avec des pneus à crampons.

N° 2 Modalités de désignation du granulat

— les gravillons sont désignés :

- par les valeurs de D et d,
- par deux symboles : BII par exemple, l'une (B) définissant ses caractéristiques intrinsèques, LA, MDE, et CPA s'il y a lieu et l'autre (II) ses caractéristiques de fabrications Gr et A, Em et P s'il y a lieu.

— les sables sont désignés :

- par la valeur de D. Il convient en plus de préciser le niveau de fines choisi et la position du fuseau de régularité à un ou plusieurs tamis intermédiaires,
- par un symbole : a par exemple définissant ses caractéristiques de fabrication Gr et ES 10 %.

— les graves sont désignées :

- par la valeur D,
- par les caractéristiques du sable et du gravillon qui les composent.

ANNEXE 3

Loi N° 93-8 du 4 janvier 1993 relative aux carrières

LOI n° 93-3 du 4 janvier 1993 relative aux carrières (1)

NOR : *HRUX9210596L*

L'Assemblée nationale et le Sénat ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Art. 1er. - I. - A l'article 1er de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, le mot : « carrières » est supprimé.

II. - Ce même article est complété par un alinéa ainsi rédigé :

« Les dispositions de la présente loi sont également applicables aux exploitations de carrières au sens des articles 1er et 4 du code minier. »

Art. 2. - I. - Il est inséré, après l'article 4-1 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, un article 4-2 ainsi rédigé :

« *Art. 4-2.* - La mise en activité, tant après l'autorisation initiale qu'après une autorisation de changement d'exploitant, des installations définies par décret en Conseil d'État présentant des risques importants de pollution ou d'accident, des carrières et des installations de stockage de déchets est subordonnée à la constitution de garanties financières.

« Ces garanties sont destinées à assurer, suivant la nature des dangers ou inconvénients de chaque catégorie d'installations, la surveillance du site et le maintien en sécurité de l'installation, les interventions éventuelles en cas d'accident avant ou après la fermeture, et la remise en état après fermeture. Elles ne couvrent pas les indemnisations dues par l'exploitant aux tiers qui pourraient subir un préjudice par fait de pollution ou d'accident causé par l'installation.

« Un décret en Conseil d'Etat détermine la nature des garanties et les règles de fixation de leur montant.

« Sans préjudice de la procédure d'amende administrative prévue à l'article 7-1 de la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux pour les installations de stockage de déchets, les manquements aux obligations de garanties financières donnent lieu à l'application de la procédure de consignation prévue à l'article 23 de la présente loi, indépendamment des poursuites pénales qui peuvent être exercées. »

II. - Le troisième alinéa de l'article 3 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée est complété par une phrase ainsi rédigée :

« Elle prend en compte les capacités techniques et financières dont dispose le demandeur, à même de lui permettre de conduire son projet dans le respect des intérêts visés à l'article 1er. »

Art. 3. - I. - La première phrase du premier alinéa de l'article 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée est remplacée par deux phrases ainsi rédigées :

« L'autorisation prévue à l'article 3 est accordée par le représentant de l'Etat dans le département, après enquête publique relative aux incidences éventuelles du projet sur les intérêts mentionnés à l'article 1er et après avis des conseils municipaux intéressés. Une commission départementale est également consultée ; elle peut varier selon la nature des installations concernées et sa composition, fixée par décret en Conseil d'Etat, inclut, notamment, des représentants de l'Etat, des collectivités territoriales, des professions concernées, des associations de défense de l'environnement et des personnalités compétentes. »

II. - Dans la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, les mots : « conseil départemental d'hygiène » sont remplacés par les mots : « commission départementale consultative compétente ».

Art. 4. - La première phrase du premier alinéa de l'article 7 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée est remplacée par deux phrases ainsi rédigées :

« Pour la protection des intérêts mentionnés à l'article 1er, le ministre chargé des installations classées peut fixer par arrêté, après consultation des ministres intéressés et du Conseil supérieur des installations classées, les règles générales et prescriptions techniques visant certaines catégories d'installations soumises aux dispositions de la présente loi. Ces règles et prescriptions déterminent les mesures propres à prévenir et à réduire les risques d'accident ou de pollution de toute nature susceptibles d'intervenir ainsi que les conditions d'insertion dans l'environnement de l'installation et de remise en état du site après arrêt de l'exploitation. »

Art. 5. - Dans la première phrase du premier alinéa de l'article 7-5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, les mots : « terrains pollués par l'exploitation d'une installation ainsi que sur les sites de stockage de déchets » sont remplacés par les mots : « terrains pollués par l'exploitation d'une installation ainsi que sur les sites de stockage de déchets ou d'anciennes carrières ».

Art. 6. - Après le troisième alinéa de l'article 14 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, il est inséré un alinéa ainsi rédigé :

« Les dispositions de l'alinéa précédent ne sont pas applicables aux décisions concernant les autorisations d'exploitation de carrières pour lesquelles le délai de recours est fixé à six mois à compter de l'achèvement des formalités de publicité de la déclaration de début d'exploitation transmise par l'exploitant au représentant de l'Etat dans le département. »

Art. 7. - L'article 16 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée est ainsi rédigé :

« *Art. 16.* - Les installations qui, après avoir été régulièrement mises en service, sont soumises, en vertu d'un décret relatif à la Nomenclature des installations classées, à autorisation ou à déclaration peuvent continuer à fonctionner sans cette autorisation ou déclaration à la seule condition que l'exploitant se soit déjà fait connaître du représentant de l'Etat dans le département ou se fasse connaître de lui dans l'année suivant la publication du décret.

« Les renseignements que l'exploitant doit transmettre au représentant de l'Etat dans le département ainsi que les mesures que celui-ci peut imposer afin de sauvegarder les intérêts mentionnés à l'article 1er sont précisés par décret en Conseil d'Etat. »

Art. 8. - Il est inséré, dans la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, un titre IV *bis* ainsi rédigé :

« TITRE IV *BIS*

« Dispositions applicables aux exploitations de carrières

« *Art. 16-1.* - Les exploitations de carrières sont soumises à l'autorisation administrative prévue à l'article 3.

« L'autorisation administrative visée à l'alinéa précédent ne peut excéder trente ans.

« Cette autorisation ne peut excéder quinze ans pour les terrains dont le défrichement est autorisé en application des articles L. 311-1 ou L. 312-1 du code forestier. Toutefois, lorsque l'exploitation de ces terrains est associée à une industrie transformatrice nécessitant des investissements lourds, la durée de l'autorisation d'exploiter pourra être portée à trente ans, après avis conforme de la commission départementale des carrières.

« L'autorisation est renouvelable dans les formes prévues à l'article 5.

« Toute autorisation d'exploitation de carrières est soumise, dans les vignobles classés appellation d'origine contrôlée, vin délimité de qualité supérieure et dans les aires de production de vins de pays, à l'avis du ministre de l'agriculture, après avis de l'Institut national des appellations d'origine et de l'Office national interprofessionnel des vins.

« *Art. 16-2.* - Il est créé, dans chaque département, une commission départementale des carrières. Cette commission est présidée par le représentant de l'Etat dans le département. Elle est composée à parts égales :

« - de représentants des administrations publiques concernées ;

« - de représentants élus des collectivités territoriales ;

« - de représentants des professions d'exploitant de carrières et d'utilisateurs de matériaux de carrières ;

« - et de représentants des associations de protection de l'environnement et des professions agricoles.

« Le président du conseil général est membre de droit de la commission.

« La commission départementale des carrières examine les demandes d'autorisation d'exploitation de carrières prévues aux articles 3 et 5 et émet un avis motivé sur celles-ci.

« Les maires des communes sur le territoire desquelles une exploitation de carrière est projetée sont, en outre, membres de droit de la commission lorsque celle-ci examine la demande d'autorisation de cette exploitation.

« *Art. 16-3.* - Le schéma départemental des carrières définit les conditions générales d'implantation des carrières dans le département. Il prend en compte l'intérêt économique national, les ressources et les besoins en matériaux du département et des départements voisins, la protection des paysages, des sites et des milieux naturels sensibles, la nécessité d'une gestion équilibrée de l'espace, tout en favorisant une utilisation économe des matières premières. Il fixe les objectifs à atteindre en matière de remise en état et de réaménagement des sites.

« Le schéma départemental des carrières est élaboré par la commission départementale des carrières et approuvé, après avis du conseil général, par le représentant de l'Etat dans le département. Il est rendu public dans des conditions fixées par décret.

« Les autorisations d'exploitation de carrières délivrées au titre de la présente loi doivent être compatibles avec ce schéma.

« *Art. 16-4.* - Tout exploitant de carrière qui n'aura pas satisfait aux obligations de remise en état d'une carrière autorisée au titre des articles 3 et 5 peut se voir refuser une nouvelle autorisation d'exploiter.

« *Art. 16-5.* - Les exploitations de carrières existantes à la date du décret rangeant les carrières dans la nomenclature prévue à l'article 2 doivent être mises en conformité avec les obligations de garanties financières prévues à l'article 4-2, dans un délai de cinq ans à compter de l'entrée en vigueur de ce décret. »

Art. 9. - Il est inséré, au premier alinéa de l'article 14 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, après les mots : « articles 3, », les mots : « 4, 4-2, ».

Art. 10. - I. - Au premier alinéa de l'article 86 *bis* du code minier, les mots : « ou de carrières » sont supprimés.

II. - Le troisième alinéa de ce même article est supprimé.

Art. 11. - L'article 106 du code minier est abrogé.

Art. 12. - L'article 107 du code minier est ainsi rédigé :

« *Art. 107.* - L'exploitation des carrières qui ont fait l'objet d'une autorisation en vertu des articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement est soumise aux dispositions du dernier alinéa de l'article 83, des articles 87 et 90, ainsi qu'aux dispositions suivantes :

« Si les travaux de recherche ou d'exploitation d'une carrière sont de nature à compromettre sa conservation ou celle d'un autre établissement d'extraction de minerais, ou la sécurité et l'hygiène du personnel, il y est pourvu par le représentant de l'Etat dans le département, au besoin d'office et aux frais de l'explorateur ou de l'exploitant.

« Sans préjudice de l'application du titre X du livre Ier du présent code, le représentant de l'Etat dans le département peut, lors de l'exécution d'une suspension, d'une interdiction ou d'une action d'office, prononcer, en application des dispositions de l'alinéa précédent, la nécessité de recourir à la force publique.

« Des décrets déterminent en outre les mesures de tout ordre, visant tant le personnel que les installations ou travaux, destinées à sauvegarder ou améliorer les conditions de sécurité ou d'hygiène du personnel, à permettre l'exécution des recherches techniques nécessaires à ces améliorations et à assurer la bonne utilisation du gisement et la conservation des carrières. »

Art. 13. - Le dernier alinéa de l'article 108 du code minier est supprimé.

Art. 14. - L'article 109 du code minier est ainsi rédigé :

« *Art. 109.* - Lorsque la mise en valeur des gîtes d'une substance appartenant à la classe des carrières ne peut, en raison de l'insuffisance des ressources connues de cette substance, prendre ou garder le développement nécessaire pour satisfaire les besoins des consommateurs, l'intérêt économique national et celui de la région, des décrets en Conseil d'Etat peuvent, au vu d'une évaluation de l'impact sur l'environnement des activités envisagées et après consultation de la ou des commissions départementales des carrières concernées et enquête publique de deux mois, définir les zones où sont accordés :

« 1° Des autorisations de recherche à défaut du consentement du propriétaire du sol, le titulaire d'une telle autorisation bénéficiant des dispositions des articles 71 à 71-6 du présent code ;

« 2° Des permis d'occupation temporaire, conférant à leurs titulaires la possibilité d'obtenir l'autorisation d'exploiter, délivrée au titre de la législation des installations classées, au sein d'une aire déterminée, les gîtes de cette substance, à l'exclusion de toute personne, y compris les propriétaires du sol, et d'invoquer le bénéfice des articles 71 à 73 du présent code.

« Les modalités de délivrance et de retrait de ces autorisations et permis sont fixées par décret en Conseil d'Etat. »

Art. 15. - Le début de l'article 110 du code minier est ainsi rédigé :

« Les autorisations de recherche et les permis d'occupation temporaire prévus à l'article 109 sont accordés... » (Le reste sans changement.)

Art. 16. - Dans l'article 111 du code minier, les mots : « l'article 106 » sont remplacés par les mots : « les articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée ».

Art. 17. - L'article 112 du code minier est ainsi modifié :

I. - Les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire ».

II. - Les mots : « de l'article 106 » sont remplacés par les mots : « des articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 février 1976 précitée ».

Art. 18. - L'article 113 du code minier est ainsi modifié :

I. - Au premier alinéa, les mots : « l'article 106 » sont remplacés par les mots : « les articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée » et les mots : « permis d'exploitation » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire ».

II. - Au second alinéa, les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire » et les mots : « à l'article 106 » sont remplacés par les mots : « aux articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée ».

Art. 19. - Dans l'article 114 du code minier, les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire ».

Art. 20. - Dans la première phrase du premier alinéa de l'article 115 du code minier, les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire ».

Art. 21. - Dans l'article 116 du code minier, les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire ».

Art. 22. - L'article 119-1 du code minier est ainsi modifié :

I. - Le premier alinéa est ainsi rédigé :

« Tout titulaire d'un permis exclusif de recherches, d'une concession de mines, d'un permis d'exploitation de mines ou d'un permis prévu à l'article 109, ou d'une des autorisations prévues aux articles 98, 99 et 109, tout titulaire d'une autorisation d'amodiation de titre minier peut, après mise en demeure, se voir retirer son titre ou autorisation dans l'un des cas suivants : ».

II. - Dans le dernier alinéa, les mots : « , 99 et 106 » sont remplacés par les mots : « et 99 ».

Art. 23. - Dans l'article 119-5 du code minier, les mots : « permis d'exploitation de mines ou de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'exploitation de mines ou de permis d'occupation temporaire de carrières ».

Art. 24. - Dans l'article 119-9 du code minier, les mots : « permis d'exploitation de carrières » sont remplacés par les mots : « permis d'occupation temporaire de carrières ».

Art. 25. - L'article 130 du code minier est ainsi rédigé :

« *Art. 130.* - Sous réserve des cas fixés par décret en Conseil d'Etat, l'exploitation, en vue de leur utilisation, des masses constituées par des haldes et terrils de mines et par les déchets d'exploitation de carrières est soumise aux dispositions de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement pour ce qui concerne les carrières.

« Il en est de même pour les opérations de dragage des cours d'eau et les affouillements du sol portant sur une superficie ou une quantité de matériaux au moins égales à des seuils fixés par décret en Conseil d'Etat, lorsque les matériaux extraits sont commercialisés ou utilisés à des fins autres que la réalisation de l'ouvrage sur l'emprise duquel ils ont été extraits. »

Art. 26. - Dans le premier alinéa de l'article 142 du code minier, la référence : « 106 » est supprimée.

Art. 27. - Au troisième alinéa de l'article L. 123-5 du code de l'urbanisme, les mots : « établissements classés » sont remplacés par les mots : « installations classées appartenant aux catégories déterminées dans le plan. Lorsqu'un plan a été rendu public avant le classement des carrières dans la nomenclature des installations classées, seules sont opposables à l'ouverture des carrières les dispositions du plan les visant expressément ».

Art. 28. - Après le troisième alinéa de l'article L. 311-1 du code forestier, il est inséré un alinéa ainsi rédigé :

« La durée de l'autorisation peut être portée à quinze ans lorsque le défrichement a pour objet de permettre l'exploitation de carrières autorisées en application de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement. Toute autorisation de défrichement accordée à ce titre doit comporter un échéancier définissant les surfaces à défricher. Les termes de cet échéancier sont fixés en fonction du rythme prévu pour l'exploitation. L'autorisation de défrichement est suspendue, après mise en demeure restée sans effet, en cas de non-respect de cet échéancier. »

Art. 29. - L'article 7-1 de la loi n° 75-633 du 15 juillet 1975 relative à l'élimination des déchets et à la récupération des matériaux est ainsi modifié :

I. - Le premier alinéa est ainsi rédigé :

« Lorsqu'elle constate que les garanties financières exigées en application de l'article 4-2 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée ne sont plus constituées, l'autorité administrative compétente met en demeure l'exploitant de les reconstituer. Tout manquement constaté un mois après la mise en demeure peut donner lieu au prononcé d'une amende administrative par le ministre chargé de l'environnement. Le montant de l'amende est égal à trois fois la valeur de la différence entre le montant des garanties exigées et celui des garanties réellement constituées, dans la limite de 200 millons de francs. Le ministre ne peut infliger une amende plus d'un an après la mise en demeure. »

II. - Le troisième alinéa est ainsi rédigé :

« Un décret en Conseil d'Etat précise les garanties de procédure visant à assurer les droits de la défense lors du prononcé de l'amende. »

Art. 30. - I. - Un décret en Conseil d'Etat détermine les conditions particulières d'application aux exploitations des carrières des dispositions des articles 3 et 5 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée.

II. - Par dérogation aux dispositions de l'article 16 de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée, les carrières en situation régulière relativement aux dispositions des articles 106, 109 et 109-1 du code minier peuvent continuer à être exploitées dans le respect des prescriptions qui leur étaient applicables antérieurement à la date d'entrée en vigueur de la présente loi.

Les prescriptions visées à l'alinéa précédent sont, à cette date, soumises aux conditions et sanctions de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée et de ses textes d'application et régies par les dispositions de l'article 6 de ladite loi.

Les demandes d'autorisation et de permis ou les déclarations présentées antérieurement à la date d'entrée en vigueur de la présente loi sont instruites selon les dispositions applicables au titre du code minier. Les prescriptions imposées au terme de ces procédures sont régies par les dispositions de la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 précitée.

Les décisions relatives à l'ouverture et à l'exploitation de carrières, intervenues antérieurement à l'entrée en vigueur de la présente loi, ne peuvent être déférées à la juridiction administrative que dans le délai de deux mois à compter de leur notification ou de leur publication dans les conditions définies au titre des dispositions du code minier.

Art. 31. - Les dispositions de la présente loi entrent en vigueur au plus tard six mois après sa publication au *Journal officiel*.

La présente loi sera exécutée comme loi de l'Etat.

Fait à Paris, le 4 janvier 1993.

FRANÇOIS MITTERRAND

Par le Président de la République :

Le Premier ministre,
PIERRE BÉRÉGOVOY

Le ministre de l'intérieur et de la sécurité publique,
PAUL QUILÈS

Le ministre de l'agriculture et du développement rural,
JEAN-PIERRE SOISSON

Le ministre de l'environnement,
SÉGOLÈNE ROYAL

Le ministre de l'industrie et du commerce extérieur,
DOMINIQUE STRAUSS-KAHN

(1) Travaux préparatoires : loi n° 93-3.

Assemblée nationale :

Proposition de loi n° 1350 ;

Rapport de M. Gérard Saumade, au nom de la commission des lois, n° 2829 ;

Discussion et adoption le 29 juin 1992.

Sénat :

Proposition, adoptée par l'Assemblée nationale en première lecture, n° 480 (1991-1992) ;

Rapport de M. Philippe François, au nom de la commission des affaires économiques, n° 33 (1992-1993) ;

Discussion et adoption le 5 novembre 1992.

Assemblée nationale :

Proposition de loi, adoptée par le Sénat en première lecture, n° 3024 ;

Rapport de M. Gérard Saumade, au nom de la commission des lois, n° 3082 ;

Discussion et adoption le 3 décembre 1992.

Sénat :

Proposition de loi, adoptée avec modifications par l'Assemblée nationale en deuxième lecture, n° 84 (1992-1993) ;

Rapport de M. Philippe François, au nom de la commission des affaires économiques, n° 98 (1992-1993) ;

Discussion et adoption le 15 décembre 1992.

Assemblée nationale :

Projet de loi, modifié par le Sénat en deuxième lecture, n° 3145 ;

Rapport de M. Gérard Saumade, au nom de la commission des lois, n° 3147 ;

Discussion et adoption le 19 décembre 1992.

LOI n° 93-4 du 4 janvier 1993 modifiant certaines dispositions du code du service national relatives à la réserve du service militaire (1)

NOR : *DEFX9200211L*

L'Assemblée nationale et le Sénat ont adopté,

Le Président de la République promulgue la loi dont la teneur suit :

Art. 1er. - Le code du service national est modifié comme il est dit aux articles 2 à 8.

Art. 2. - Le *b* de l'article L. 2 est ainsi rédigé :

« *b)* Des périodes qui peuvent être effectuées au titre d'une forme de service national autre que celle dans laquelle a été accompli le service actif ; la durée totale de ces périodes ne peut excéder six mois et chacune d'elles ne peut dépasser un mois. Ces dispositions sont applicables sous réserve des dispositions du chapitre Ier du titre III. »

Art. 3. - I. - Les deuxième, troisième et quatrième alinéas du 1° de l'article L. 69 sont remplacés par un alinéa ainsi rédigé :

« Cette décision, révocable en fonction de ces besoins, ne peut avoir pour effet de maintenir dans les cadres les officiers et les sous-officiers de réserve au-delà de la limite d'âge, augmentée de cinq ans, des cadres d'active correspondants. »

II. - Au 2° du même article, les mots : « aux deux alinéas ci-dessus » sont remplacés par les mots : « à l'alinéa ci-dessus ».

Art. 4. - Le premier alinéa de l'article L. 80 est ainsi rédigé :

« Tout homme ou toute femme de la réserve, père ou mère d'au moins quatre enfants vivants, ou ayant à sa charge, du fait de son mariage, quatre enfants ou plus, est libéré de toute obligation du service militaire, sauf à accepter de poursuivre des activités de disponibilité et de réserve. »

Art. 5. - Le second alinéa de l'article L. 80 est abrogé.

Art. 6. - Au deuxième alinéa de l'article L. 82, après le mot : « périodes », les mots : « d'exercice » sont supprimés.

Art. 7. - Le premier alinéa de l'article L. 84 est remplacé par trois alinéas ainsi rédigés :

« Les hommes et les femmes appartenant à la disponibilité et à la réserve sont tenus de prendre part soit à des périodes d'exercice pour acquérir ou compléter une formation, soit à des périodes pour occuper une fonction dans les armées. Le ministre chargé des armées fixe le nombre et la durée de ces périodes conformément aux dispositions du *b* de l'article L. 2.