



Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie

DOCUMENT PUBLIC

Recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution aux graves alluvionnaires

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-G-207

janvier 1998
R 39881





Ministère de l'Economie,
des Finances et
de l'Industrie

DOCUMENT PUBLIC

Recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution aux graves alluvionnaires

Etude réalisée dans le cadre des actions de Service public du BRGM 97-G-207

janvier 1998
R 39881



Mots clés : Grave alluvionnaire, Matériaux substitution, Inventaire bibliographique, Carte géologique, France.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

BRGM (1998) - Recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution aux graves alluvionnaires. Rap. BRGM R 39881, 91 p., 1 tabl.

© BRGM, 1998, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Dans le cadre de sa mission de Service public, le BRGM a été chargé par le ministère de l'Industrie, d'un inventaire des formations géologiques pouvant être utilisées comme sources pour la production de matériaux de substitution aux graves alluvionnaires.

En 1996, cette étude a porté en premier lieu sur l'évolution de la structure de la production de granulats en France. On constate une baisse régulière du poids des granulats alluvionnaires, de l'ordre de 1 % par an, dans la production totale de granulats naturels. Cette baisse est variable selon les départements, certains ne produisant aucun granulats concassé. Dans une deuxième partie, un inventaire bibliographique de toutes les études réalisées au titre de la Taxe Parafiscale sur les Granulats ou dans le cadre du projet Materloc - Calcaires et traitant de la substitution aux granulats alluvionnaires a été réalisé pour la moitié nord de la France. Toutes les formations géologiques concernées ont été recensées. Cet inventaire a été complété par une étude des cartes géologiques et de leur notice, permettant de préciser les informations précédemment obtenues.

En 1997, cet inventaire des études Taxe Parafiscale sur les Granulats s'est poursuivie sur la moitié sud de la France et a permis de mettre en évidence des formations géologiques susceptibles de pouvoir être exploitées en vue de la production de matériaux de substitution aux granulats alluvionnaires. En 1997, cette étude a été complétée par la recherche de données relatives aux caractéristiques géotechniques de certaines des formations retenues. Cette recherche devrait être poursuivie en 1998.

Sommaire

Introduction	7
1. Généralités	9
1.1. Matériaux de substitution mais substitution à quoi ?	9
1.2. Matériaux de substitution ou matériaux locaux.....	12
2. Recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution	15
2.1. Synthèse des données disponibles	15
2.1.1. Etudes thématiques nationales.....	16
2.1.2. Etudes régionales.....	20
2.2. Etude des cartes géologiques et notice	51
3. Sélection des formations susceptibles de receler des nouveaux matériaux de substitution	57
4. Caractéristiques géomécaniques des formations retenues	61
4.1. Rappel.....	61
4.2. Caractéristiques géotechniques des principales formations géologiques retenues...63	
5. Cas des matériaux locaux	87
Conclusion	89
Bibliographie	91
Tabl. 1 - Production en granulats par département.....	11

Introduction

Dans le cadre de sa mission de Service public 97-G-207, le BRGM a été chargé par le ministère de l'Industrie, de la recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution. En 1996, cette étude a porté sur la moitié nord de la France, elle s'est poursuivie, en 1997, sur la moitié sud et une recherche des principales caractéristiques géomécaniques des formations inventoriées a été engagée.

Le marché français des granulats naturels est actuellement approvisionné à partir de carrières ouvertes dans :

- des alluvions de rivière (sables et graviers roulés) auxquelles s'ajoutent des granulats d'origine marine ;
- des roches massives dures, calcaires ou éruptives.

Les roches massives se substituent déjà partiellement aux granulats alluvionnaires et ce phénomène ira en s'amplifiant dans l'avenir. Actuellement, seules les roches massives permettant d'obtenir des granulats de bonne qualité et satisfaisant aux exigences des normes en vigueur, sont prises en compte dans les schémas départementaux de carrière. Cependant, il existe de nombreuses formations géologiques non prises en compte mais qui pourraient être utilisées en substitution aux alluvionnaires, après un traitement approprié. Il s'agit :

- des roches massives tendres ou moyennement dures ;
- des roches meubles comme les argiles à silex, les matériaux fluvio-glaciaires,...

Le but de cette étude est de réaliser un inventaire de ces formations dont l'exploitation permettra de favoriser la baisse de consommation en granulats alluvionnaires et de diminuer le coût des granulats en abaissant leur coût de transport.

1. Généralités

Tout d'abord, il semble nécessaire de définir la notion de matériaux de substitution. S'agira-t-il d'une substitution aux granulats alluvionnaires ou à tous les granulats naturels traditionnels actuellement produits (alluvionnaires, concassés calcaires et éruptifs) ? Dans un deuxième temps, il sera nécessaire d'établir la différence entre matériaux de substitution et matériaux locaux.

1.1. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION MAIS SUBSTITUTION À QUOI ?

Lorsque l'on parle de matériaux de substitution, on pense automatiquement à une substitution par rapport aux granulats actuellement produits sans obligatoirement préciser de quel type de granulats il est question : alluvionnaires ou concassés. La notion de substitution est apparue conjointement à la prise en compte des problèmes liés à l'appauvrissement des réserves en granulats alluvionnaires ainsi qu'aux impacts négatifs engendrés par leur exploitation sur l'environnement. Aussi nous retiendrons cette précision, à savoir que l'expression "matériaux de substitution" sous-entend "substitution aux granulats alluvionnaires".

En 1994, la production de granulats naturels a été, en France, de 367.10^6 t, dont 186.10^6 t d'origine alluvionnaire (soit environ 50 %) ; la production totale de granulats, incluant les granulats de recyclage (11.10^6 t) étant de 378.10^6 t. Pour certains départements, le pourcentage d'alluvionnaires peut atteindre 100 % (Aisne, Eure). Le tableau 1 donne, par département, la production en granulats ainsi que le pourcentage représenté par les seuls granulats alluvionnaires. Il permet de déterminer les départements pour lesquels la recherche et l'étude de nouvelles ressources en substitution aux granulats alluvionnaires est impérative et urgente. Dans son rapport de juin 1993 (rapport à M. le ministre de l'Environnement relatif aux schémas départementaux des carrières), F. Barthélémy précise :

"On constate que de 1970 à 1991 la part des granulats alluvionnaires est passée de 71 à 54 % de la production totale des granulats, ce qui correspond à une baisse de près de 1 % par an en moyenne sur 20 ans. Je propose que pour les 10 ans à venir, de 1993 à 2003, on se fixe comme objectif une réduction de l'ordre de 2 % de la part des alluvionnaires dans le total de la production de granulats, ce qui ramènerait cette part à environ un tiers du total des granulats".

La production totale de granulats en 1991 a été de $401,6.10^6$ t dont 219.10^6 t d'alluvionnaires (54,5 %) ; en 1996, elle a été de $347,7.10^6$ t dont 164.10^6 t d'alluvionnaires (47,2 %). On peut constater que de 1991 à 1996 ce pourcentage a continué à décroître au rythme de 1 % l'an. Toutefois, cette recherche de matériaux de substitution aux granulats alluvionnaires ne pourra être circonscrite à un département donné et devra être élargie également aux départements limitrophes. Cette remarque est d'autant plus vraie si le département producteur exporte la plus grande partie de sa production (cas de l'Eure, par exemple, qui a exporté en 1991, 6 040 000 t sur 11 900 000 t produites pour approvisionner Paris).

Matériaux de substitution aux graves alluvionnaires

N°	Départements	Prod. en Mt	Prod. en Mt	Prod. en Mt	% allu.	% allu.	% allu.
		1991	1994	1996	1991	1994	1996
1	AIN	6,4	6,1	4,8	92	86	87
2	AISNE	4,4	2,9	2,7	100	100	100
3	ALLIER	3,3	3,3	2,8	40	39	35
4	ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE	1,7	1,7	1,1	84	58	
5	HAUTES-ALPES	1	1,4	1,6	89	93	
6	ALPES-MARITIMES	7,7	4,7	3,6	20	19	17
7	ARDÈCHE	0,9	1,2	1,5	4	0	
8	ARDENNES	2,2	2,6	2,6	22	39	39
9	ARIÈGE	1,3	1,1	0,9	84	78	76
10	AUBE	3,9	2,6	2,5	60	62	61
11	AUDE	2	1,8	1,8	42	46	36
12	AVEYRON	2,3	2,7	2,2	7	8	9
13	BOUCHES-DU-RHONE.	11,4	10,4	10,7	37	32	33
14	CALVADOS	6,3	7,1	5,3	18	13	
15	CANTAL	2,1	1,7	1,6	23	22	22
16	CHARENTE	4,1	4,1	4,1	23	16	16
17	CHARENTE-MARITIME	2,5	3,8	3,6	59	67	66
18	CHER	2,7	2,2	2	61	59	56
19	CORRÈZE	1,2	1,7	1,5	36	25	27
20	CORSE	1,5	1,5	1,4	72	74	71
21	CÔTE-D'OR	4,3	4,2	4	33	34	32
22	CÔTES-D'ARMOR	5,2	5,9	5,3	2	3	
23	CREUSE	0,8	0,9	1	3	0	
24	DORDOGNE	2,7	3,1	2,9	28	26	27
25	DOUBS	4,1	4,8	4,3	14	9	9
26	DRÔME	5,9	4,2	4,1	96	91	89
27	EURE	11,9	9,2	6,5	99	100	100
28	EURE-ET-LOIR	4,2	3,4	2,9	49	43	39
29	FINISTÈRE	5,4	5,5	5,4	13	12	12
30	GARD	4,5	4,3	4,8	41	37	32
31	HAUTE-GARONNE	7,2	7,9	6,6	98	96	
32	GERS	0,8	0,7	0,7	69	59	
33	GIRONDE	4,7	4,3	4,2	97	98	
34	HÉRAULT	8,4	7,2	6,8	22	20	25
35	ILE-ET-VILAINE	6,9	7,3	7	16	14	15
36	INDRE	1,5	1,7	2	16	15	16
37	INDRE-ET-LOIRE	1,9	1,8	1,9	86	84	
38	ISÈRE	7,8	4,9	5,6	96	96	88
39	JURA	2,4	2,2	3,6	38	32	28
40	LANDES	3	3,2	2,5	84	81	81
41	LOIR-ET-CHER	2,2	2,2	1,9	76	56	56
42	LOIRE	2,9	2,8	2,6	36	35	35
43	HAUTE- LOIRE	1,7	1,5	1,5	27	18	16
44	LOIRE - ATLANTIQUE	10,1	9,3	8,7	26	19	17
45	LOIRET.	5,5	4,4	3,8	80	85	85
46	LOT	1,1	1,4	1,3	14	0	

Matériaux de substitution aux graves alluvionnaires

N°	Départements	Prod. en Mt	Prod. en Mt	Prod. en Mt	% allu.	% allu.	% allu.
		1991	1994	1996	1991	1994	1996
47	LOT-ET-GARONNE	2,3	2	1,8	86	85	85
48	LOZÈRE	0,7	0,8	0,9	41	48	30
49	MAINE-ET-LOIRE	6	6,7	6,1	33	30	29
50	MANCHE	3,5	4,8	4,2	9	9	10
51	MARNE	2,3	2,6	2,2	99	97	
52	HAUTE-MARNE	1,8	1,5	1,5	18	18	18
53	MAYENNE	3,7	3,3	3,8	12	0	
54	MEURTHE-ET-MOSELLE	5,6	5	5,6	88	64	60
55	MEUSE	0,7	0,8	0,9	83	58	52
56	MORBIHAN	4,5	4,4	4,3	28	26	27
57	MOSELLE	2,9	5,7	5,1	62	23	29
58	NIÈVRE	2,9	3,3	3,4	27	24	26
59	NORD	7	9,6	7,9	25	15	17
60	OISE	6,2	6	4,1	91	91	90
61	ORNE	3,3	3,3	2,9	17	16	18
62	PAS-DE-CALAIS	10,7	6,5	6,7	15	15	11
63	PUY-DE-DÔME	4,4	4,2	4,5	61	57	55
64	PYRÉNÉES-ATLANTIQUES	3,7	4,6	4,4	36	26	25
65	HAUTES-PYRÉNÉES	1,9	1,9	1,8	65	59	57
66	PYRÉNÉES-ORIENTALES	3,3	3	2,5	52	42	30
67	BAS-RHIN	17,8	16,8	15,3	97	95	94
68	HAUT-RHIN	9,3	10	7,9	98	96	95
69	RHÔNE	10,9	8,2	7,5	80	78	73
70	HAUTE-SAÔNE	3,1	3,2	3	54	48	37
71	SAÔNE-ET-LOIRE	5,4	4,9	4,1	37	34	37
72	SARTHE	3,5	3,1	3,6	55	58	52
73	SAVOIE	3,6	2,8	3,3	64	62	52
74	HAUTE-SAVOIE	5	3,9	3,8	72	67	58
75	PARIS	0	0	0	0	0	0
76	SEINE-MARITIME	5,5	5,6	4,2	100	94	91
77	SEINE-ET-MARNE	14	11,9	8,1	89	82	82
78	YVELINES	3,9	3,2	2,4	100	95	89
79	DEUX-SÈVRES	8,3	7,9	7,9	0	0	0
80	SOMME	3,1	2,9	3,1	100	95	
81	TARN	3,2	3,2	2,6	40	31	28
82	TARN-ET-GARONNE	2,4	2	2,2	73	62	54
83	VAR	9,3	7,7	6,3	12	19	17
84	VAUCLUSE	2,8	2,8	2,8	88	86	81
85	VENDÉE	7,4	8,2	7,7	10	8	
86	VIENNE	2,5	2,6	2,7	56	60	53
87	HAUTE-VIENNE	2,6	2,4	2,4	6	0	
88	VOSGES	5,3	3,9	4,1	54	55	50
89	YONNE	4,2	3,6	2,9	78	71	70

N°	Départements	Prod. en Mt	Prod. en Mt	Prod. en Mt	% allu.	% allu.	% allu.
		1991	1994	1996	1991	1994	1996
90	TERRITOIRE DE-BELFORT	1,5	1,2	1,2	12	0	
91	ESSONNE	1,4	0,9	1,1	100	85	60
92	HAUTS-DE-SEINE	0	0,2	0,2	0	0	
93	SEINE-St-DENIS	0	0	0,1	0	0	
94	VAL-DE-MARNE	0	0,5	0,3	0	0	0
95	VAL-D'OISE	2,2	1,4	2,1	100	85	83
		401,6	377,9	347,7			

Tabl. 1 - Production en granulats par département.

Sources : Statistiques de l'UNICEM 1991 - 1994 et 1996

La production 1994 telle qu'elle ressort du tableau 1 est de 377,9 Mt, c'est-à-dire de 10,9 Mt supérieure au chiffre annoncé en début de paragraphe. La différence provient du fait que le premier chiffre (367.10⁶ t) ne prend en compte que les granulats naturels, alors que le second (377,9.10⁶ t) y ajoute les granulats de recyclage (comprenant les schistes, les laitiers et les matériaux de démolition).

Ce tableau montre que, si au niveau national la baisse du pourcentage d'alluvionnaires dans la production globale de granulats est bien réelle : 47,2 % en 1996 contre 54,48 % en 1991 (et 68 % en 1970), la situation est très différente selon les départements. Tous les cas existent depuis une baisse de 39 % (cas de la Moselle) jusqu'à une augmentation de 17 % (cas des Ardennes). Ces variations peuvent s'expliquer par des particularités locales telles que : ouverture ou fermeture de carrières importantes, grands travaux,...

1.2. MATÉRIAUX DE SUBSTITUTION OU MATÉRIAUX LOCAUX

Dans la bibliographie ainsi que dans de nombreuses réunions, on emploie indifféremment les expressions "matériaux de substitution", "matériaux locaux" et parfois même "matériaux locaux de substitution". Très souvent sous ces différentes formules se cache la même signification. Aussi, il nous a paru nécessaire de bien définir et différencier ces trois concepts.

Matériaux de substitution

Nous rappellerons qu'il s'agit des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires. D'après le Petit Robert la substitution est "*l'action de mettre quelque chose ou quelqu'un à la place de quelque chose ou quelqu'un pour lui faire jouer le même rôle*". Dans le cas des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires, il s'agira de trouver des gisements permettant de fournir des granulats capables de remplacer ces graves

alluvionnaires dans leurs différents domaines d'utilisation. C'est le cas, actuellement, des granulats concassés d'origine calcaire ou éruptive.

Nous y rajouterons les matériaux qui, bien que ne présentant pas des caractéristiques géomécaniques suffisantes, peuvent après traitement remplacer les graves alluvionnaires dans certaines de leurs utilisations. C'est le cas de certains calcaires "tendres" ou "moyennement durs", qui après traitement (aux liants hydrauliques par exemple) sont utilisés pour la confection de certains bétons ou en technique routière. Ces matériaux, avec ou sans traitement, doivent pouvoir subir un certain transport, tout en restant économiquement compétitifs.

Matériaux locaux

Il s'agit de matériaux que l'on trouve au niveau d'un lieu correspondant le plus souvent à celui d'utilisation ou situé à très faibles distances. C'est le cas, par exemple, des matériaux de déblais, des limons ainsi que de certains matériaux calcaires tendres comme la craie. Ces matériaux ne peuvent, le plus souvent, être utilisés qu'après traitement (chaux, ciment,...) et dans des cas très limités (remblais, couches de forme,...), les caractéristiques du produit mis en oeuvre ne satisfaisant pas toujours aux normes en vigueur. Ils ne peuvent donc supporter, de façon économique, de transports importants et doivent être mis en oeuvre sur place. Ces matériaux sont parfois appelés "matériaux sub-normaux".

On peut ranger dans cette catégorie les stériles de découverte des exploitations actuelles ainsi que les matériaux de pré-criblage et les fines provenant du lavage.

Matériaux locaux de substitution

En se basant sur les définitions données plus haut, les termes de cette expression sont contradictoires. En effet, le concept de matériaux locaux sous-entend "ne pouvant supporter de transport", alors que celui de matériaux de substitution sous-entend exactement le contraire. Eventuellement, cette expression pourrait signifier "matériaux de substitution aux graves alluvionnaires produits et utilisés localement" mais comme cela demeure ambigu, il vaut mieux ne pas l'employer.

2. Recherche de nouvelles sources de matériaux de substitution

Le programme prévoit :

- une synthèse des données disponibles : études réalisées dans le cadre de la taxe parafiscale sur les granulats et du plan Materloc ;
- étude des cartes géologiques et de leurs notices ;
- sélection des formations susceptibles de receler des nouveaux matériaux de substitution.

2.1. SYNTHÈSE DES DONNÉES DISPONIBLES

La notion de matériaux de substitution aux graves alluvionnaires sous-entend le remplacement de ces graves alluvionnaires mais également l'économie de celles-ci ainsi que leur judicieuse utilisation. F. Barthélémy du Conseil général des Ponts et Chaussées¹ faisait remarquer dans son rapport à M. le ministre de l'Environnement: "*...on peut, par contre, agir sur le choix des matériaux pour ne pas gaspiller certains types de matériaux et, en particulier, les matériaux alluvionnaires. Ces matériaux ne devraient pas être utilisés comme simple remblai lorsque l'on peut utiliser d'autres types de matériaux.*"

Dans la synthèse bibliographique, nous nous sommes donc intéressés à ces deux aspects à savoir la recherche de nouveaux matériaux et la valorisation de matériaux hors normes.

Rapport de la Taxe Parafiscale sur les Granulats

A partir du catalogue des études financées par la Taxe Parafiscale sur les Granulats (édition 1990), nous avons sélectionné les opérations concernant les matériaux de substitution. Ces études sont de deux types, soit national soit régional. Pour chaque étude, nous donnerons le titre, la référence et un cours résumé lorsque cela paraîtra pertinent.

¹ Rapport de François Barthélémy à M. le ministre de l'Environnement, relatif aux schémas départementaux des carrières (1 vol.), éd. Min. Equip., Transp., Tour., Cons. gén. des Ponts-et-Ch., Mission d'Inspect. spéc. de l'Env., affaire n° 92-281, 17 juin 1993.

2.1.1. Études thématiques nationales

Granulats calcaires pour bétons hydrauliques. Etude bibliographique - 010.EG.036

Cette étude documentaire comprend quatre parties :

- bibliographie générale ;
- recueil des spécifications ;
- ressources françaises en granulats calcaires autres que les calcaires durs ;
- compte rendu d'expertise d'ouvrages d'art réalisés avec des bétons de granulats calcaires de résistance moyenne.

Les bétons de granulats légers en France - 018.EG.054

L'essentiel du document porte sur les bétons légers les plus utilisés en France, c'est-à-dire ceux confectionnés avec des liants hydrauliques et des granulats d'argiles ou de schistes expansés, de laitier expansé et de verre expansé. L'étude comprend deux parties principales : une brève synthèse technique et une série de feuillets documentaires correspondant à des applications choisies parmi les plus représentatives.

Bilan des inventaires des ressources en granulats réalisés au 31 mars 1980 avec l'aide des crédits C.A.P.I. et de la Taxe Parafiscale sur les Granulats - 028.EG.066

Ce dossier constitue la synthèse de 64 rapports (réalisés entre 1971 et 1980) dont 13 concernent les matériaux de substitution. Sur 8 940 km² prospectés 3 160 ont été retenus comme favorables ; 9 735 Mm³ de matériaux ont été reconnus dont 4 825 millions exploitables hors contraintes.

Recherche pour le développement de l'emploi des granulats calcaires dans les bétons hydrauliques - 029.EG.067

Cette étude a été réalisée en trois phases :

- la 1ère phase a mis en évidence que la teneur en fines (< 0,5 mm) du béton pouvait être tolérable jusqu'à des valeurs importantes (10 à 15 %) traditionnellement considérées comme réhilitaires ;
- la 2ème phase étudie l'influence du calcaire constituant les granulats sur les principales propriétés des bétons (essais sur 8 calcaires) ;
- une 3ème phase a été réalisée sur 3 bétons afin de déterminer les critères d'aptitude des calcaires à l'emploi dans les bétons de bâtiment.

Essai de valorisation des arènes granitiques - 034.EG.083

20 sites ont été sélectionnés pour des prélèvements dans le Massif armoricain et dans le Massif central. Sur les échantillons prélevés ont été réalisés des essais d'identification géotechnique puis minéralogique.

Recherche pour développer l'emploi des sables de roches massives siliceuses et silicatées dans les bétons hydrauliques - 034.EG.090

Cette étude comprend deux phases :

- dans la première, des essais sur mortier ont été réalisés par les LRE (bétons pour ouvrages d'art) et le CEBTP (bétons pour bâtiments) pour divers échantillons représentatifs afin de déterminer les limites acceptables quant aux teneurs en fines et déterminer la résistance mécanique des mortiers ;
- dans un deuxième temps, le CEBTP a réalisé sur les différents échantillons des essais de réactivité potentielle alcali-silice et des essais de réactivité des combinaisons ciment-agrégat.

Synthèse des connaissances sur les bétons de sable - 052.EG.119

Cette étude comprend trois parties :

- l'étude économique montre, que compte tenu des faibles différences de prix entre graviers et sable, il est peu probable que les bétons de sable connaissent un développement important. L'utilisation de sablons (sables fins argileux), d'un coût peu élevé, pourrait être intéressante si cela est techniquement possible ;
- l'étude bibliographique apporte peu d'éléments sur les bétons de sablons ;
- l'expérience bordelaise montre qu'il est possible de réaliser des ouvrages avec des proportions de sable plus importantes et que l'introduction de fillers calcaires permet, à résistance égale, des économies en ciment.

Point des connaissances sur les bétons de calcaire - 052.EG.121

Cette étude comprend quatre parties :

- étude économique ;
- étude bibliographique ;
- caractéristiques des bétons avec granulats calcaires ;
- comptes rendus d'expertises d'ouvrages réalisés avec des bétons de granulats calcaires.

Elle met en évidence l'intérêt technique et économique de l'utilisation des granulats calcaires dans les bétons hydrauliques.

Elargissement des possibilités d'utilisation des sables dans les chaussées - 052.EG.122

L'objet de cette étude est de connaître l'influence de la teneur en argile sur les performances des graves ciment, graves bitumes et bétons bitumineux. Elle doit permettre de savoir, pour chaque type d'argile, les quantités admissibles pour ces techniques et de choisir les essais d'identification les plus appropriés. Elle est complétée par un bilan économique.

Etude des possibilités d'utilisation des granulats d'origine alluvionnaire roulés ou partiellement concassés dans les différentes couches de chaussée - 052.EG.123

Cette étude comprend deux parties :

- la première a deux objectifs : définir où se situe la limite raisonnable du concassage des alluvions et essayer de préciser la notion d'angularité ;
- la deuxième a pour but d'étudier l'influence du pourcentage de granulats roulés sur les caractéristiques mécaniques et le comportement des graves traitées aux liants hydrauliques.

Evaluation de l'aptitude d'un sable issu du concassage de roches massives siliceuses ou silicatées à entrer dans la constitution de bétons hydrauliques - 052.EG.124

Cette étude vient en complément de l'étude référencée 034.EG.090 et a pour but :

- d'améliorer les connaissances sur les phénomènes de réactivité ;
- de compléter les essais par une analyse qualitative et quantitative de l'état d'altération des sables ;
- de vérifier la bonne concordance entre le diagnostic d'évaluation et les résultats sur mortiers.

L'objectif final est de promouvoir l'utilisation des sables de roches massives siliceuses ou silicatées dans les bétons hydrauliques.

Valorisation et plein emploi des matériaux calcaires - 052.EG.125

Cette étude a pour but de répondre aux questions qui se posent pour les matériaux calcaires : quels calcaires, quelles fines, et quelles teneurs sont acceptables dans les bétons hydrauliques tout en conservant des garanties convenables de durabilité et de qualité. La première partie de l'étude porte sur l'influence de la teneur en fines des sables et sur leur friabilité ; la seconde sur une étude des bétons et de leur durabilité.

***Elargissement des possibilités d'utilisation des calcaires dans les assises de chaussées.
Incidence de la friabilité des sables - 052.EG.131***

Cette étude vient en complément des études référencées 052.EG.121 et 125. Elle confirme que les valeurs de l'indice de friabilité des sables n'influent pas d'une manière significative sur la résistance des chaussées réalisées en graves ciment.

Appréciation de la validité des exigences relatives à l'angularité des granulats pour enduits superficiels de chaussées - 059.EG.144

Certains matériaux alluvionnaires montrent des coefficients d'écoulement très favorables pour des indices de concassage (IC) ne dépassant pas 100 ou des rapports de concassage (RC) au plus égal à 2. Cette étude vise à vérifier, sur des planches expérimentales d'enduits superficiels, que le coefficient d'écoulement a plus de signification que les habituels définitions de IC et RC.

Caractérisation des ballasts pour voies ferrées - 060.EG.158

L'étude consiste à définir l'influence de l'angularité et des propriétés mécaniques des ballasts sur leur stabilité. Elle vise à mettre au point un essai d'angularité simple et rapide afin d'essayer d'augmenter la durée de vie des ballasts les plus sollicités.

Bilan de l'utilisation des calcaires hors spécification dans les chaussées - 059.EG.143

Un certain nombre de chantiers routiers ont été réalisés, en France, en dérogation aux spécifications tant en couche de fondation, qu'en couche de base. Cette étude réalise la synthèse des éléments disponibles :

- caractéristiques des calcaires utilisés ;
- spécificité de l'élaboration ;
- précaution de fabrication et de mise en oeuvre ;
- observations sur le comportement des chaussées, constatations in-situ avec prélèvement et essais.

Les chantiers étudiés ont utilisé des techniques variées :

- graves ciment ;
- graves laitier ;
- graves non traitées ;
- enrobés mixtes ;
- bétons.

2.1.2. Études régionales

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le département des Bouches-du-Rhône - 002.013.001

Cette étude d'approvisionnement en granulats dresse un inventaire très complet des problèmes économiques, des gisements potentiels et des contraintes de tous ordres. Elle devrait faciliter, aussi bien pour la profession que pour la collectivité, la recherche de meilleurs sites d'extraction tant aux plans de l'économie que de l'environnement. L'inventaire des contraintes devrait conduire à des études d'impact plus complètes et à des programmes d'exploitation mieux adaptés.

Inventaire des formations meubles à granulats du département de la Charente - 002.016.001

Cette étude a pour but de localiser les sites où les formations meubles des granulats sont les plus favorables à l'exploitation et de vérifier par sondages mécaniques l'importance de certains gisements. Une étude documentaire, photogéologique et cartographique ainsi que la réalisation de 41 sondages à la tarière et une analyse des contraintes ont permis de dresser une carte au 1/100 000 des principales formations du département et de sélectionner les zones de plus grand intérêt. Deux études de détail ont été entreprises dans les vallées de la Tardoire et de la Charente où des recherches détaillées devraient permettre de localiser de nouvelles et intéressantes ressources susceptibles de pallier la relative pauvreté du département en granulats.

Les formations géologiques susceptibles de contenir des gisements sont essentiellement :

- les grèzes (débris anguleux de calcaire emballés dans une gangue argileuse) ;
- les sables et graviers d'alluvions (vallée de la Charente, de la Tardoire, du Bandiat, de la Trouve et de Né) ;
- les dépôts du Sidérolithique (matériaux grossiers dans des sables argileux) ;
- les formations sableuses du Coniacien inférieur et du Cénomaniens.

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le Vaucluse - 002.084.001

Cette opération fait l'objet d'un rapport commun avec l'opération 035.084.012.

Aptitude de la région de Limoges à l'exploitation de roches massives pour concassés - 002.087.001

Ce document analyse les caractères pétrographiques ainsi que la position morphologique des différentes formations géologiques représentées sur un rayon de 30 km autour de

Limoges. L'occupation du sol est prise en compte en ce qui concerne les sites, l'habitat, les captages d'eau potable et autres équipements collectifs. Des essais de qualité sont effectués en laboratoire et déterminent une classification d'emploi des matériaux. Cette étude se termine par un exposé de la situation actuelle des extractions et de la situation prévisible à court terme. Si les besoins restent stables (2 200 000 tonnes/an), on peut par contre prévoir une augmentation des contraintes, une plus grande exigence des consommateurs quant à la qualité des granulats et enfin un déficit certain en sables naturels pour bétons.

Les formations géologiques concernées comprennent :

- des roches métamorphiques : leptynites, gneiss à quartz, gneiss d'anatexie, micaschistes, amphibolites, serpentines ;
- des roches éruptives plutoniques : granites, diorites, microgranites ou porphyres.

Synthèse et interaction des ressources en granulats et eaux souterraines dans la vallée du Cher et sur la zone granitique de Montluçon - 004.003.001

L'objet de cette étude est la présentation sous forme cartographique simplifiée des connaissances acquises, d'une part sur les alluvions du Val de Cher entre Montluçon et Meaulne en ce qui concerne l'hydrogéologie et les caractéristiques géotechniques des granulats, d'autre part sur les roches massives à l'entour de Montluçon, considérées en tant que matériaux possibles de remplacement. Les études bibliographiques, photogéologiques, géophysiques (32 sondages électriques), géologiques (25 sondages mécaniques), hydrogéologiques et géotechniques ont abouti à une cartographie simplifiée au 1/50 000 des alluvions et du toit du substratum, de l'épaisseur des alluvions, du toit de la nappe en hautes et basses eaux, de l'épaisseur de la nappe en moyennes eaux, de synthèses géotechniques des alluvions et de synthèse hydrogéologique.

Etude des ressources et étude économique relatives aux matériaux alluvionnaires des vallées de la Moselle et de la Meurthe en Meurthe-et-Moselle - 004.054.001

Cette étude comprend :

- une étude rétrospective (1970 à 1976) avec analyse de la production, des lieux d'extraction et des surfaces exploitées, de la consommation et reconstitution du schéma d'approvisionnement du département ;
- une étude prospective avec cartographie du gisement, estimation des ressources en granulats et en matériaux de substitution, et analyse des besoins à l'horizon 1985.

Recherches de roches dures à concasser dans le Morvan - 004.089.003

Cette étude a pour but de rechercher des conditions géologiques et économiques d'exploitabilité des matériaux rocheux du Morvan et de sa bordure en vue d'étudier les possibilités d'approvisionnement de la région parisienne. Elle comprend 3 phases :

- étude générale de la géologie du Morvan, situation des différents ensembles, recherche et synthèse de données existantes et cartographie de la zone ;
- étude des contraintes sur les transports : infrastructures existantes, besoin de la région parisienne estimée pour 1980-1985, étude de l'environnement ;
- étude de terrain, recherche d'affleurements des zones retenues, définition des conditions de gisements, prélèvements et essais géotechniques.

Les critères géologiques ont conduit surtout à examiner les roches volcaniques et les tufs. D'un point de vue économique, on s'est attaché à rester au plus près des voies de transport.

Les formations reconnues comprennent des tufs, des rhyolites, des granites et des gneiss.

Etude des sables fins (de Fontainebleau et de Beauchamp) de la région Ile-de-France - 005.091.001

Il s'agit d'une synthèse générale des connaissances acquises sur ces sables en région Ile-de-France. Elle comprend :

- une étude de la qualité des sables fins auversiens et stampiens ;
- une méthode d'intégration des contraintes d'urbanisme et d'environnement ;
- une synthèse des études de traitement et des applications en technique routière ;
- un inventaire et une identification des ressources ;
- une étude de l'influence de la pétrographie sur la compactibilité et la portance des sables fins traités ;
- une prévision des performances des sables fins de la région parisienne ;
- les fiches des 152 carrières en activité et 92 cartes des zones d'exploitation envisageables.

Définitions de nouvelles zones d'exploitation de granulats (rocheux ou alluvionnaires) dans la région bastiaise - 007.020.002

A la suite des dommages provoqués par l'extraction des matériaux dans le lit mineur du Golo au sud de Bastia, une étude prospective des ressources en granulats a été entreprise pour définir de nouvelles zones d'exploitation. L'étude géologique a montré l'existence

d'une série de gisements en roches massives de natures lithologiques variées (cipolins, calcaires, gabbros) et de volumes très inégaux. Cependant le coût du transport est, dans la plupart des cas, prohibitif. En ce qui concerne les plaines alluviales, le coût du transport est tolérable, mais les contraintes hydrogéologiques bloquent 50 % de la surface totale, les réserves restant toutefois importantes. En conclusion, les exploitations de roches massives ne sont pas envisageables dans l'immédiat et les problèmes d'approvisionnement ne commenceront à se poser que dans 10 ou 15 ans.

Inventaire des ressources en matériaux dans les départements du Nord et du Pas-de-Calais -007.059.001 et 007.059.002

Cet inventaire exhaustif basé sur la documentation existante vise à recenser l'ensemble des matériaux naturels ou artificiels utilisables pour la viabilité, le génie civil et la construction. Il apparaît que la région est riche en matériaux calcaires, sables fins, matériaux meubles ou tendres et matériaux artificiels. Par contre, il existe un déficit en graves et matériaux siliceux :

- calcaires viséens du Boulonnais : $R \cong 500.10^6 \text{ m}^3$;
- calcaires viséens de l'Avesnois : $R = 465.10^6 \text{ m}^3$ à l'affleurement + 655.10^6 m^3 sous découverte ;
- calcaires givétiens du Boulonnais : Réserves $\cong 250.10^6 \text{ m}^3$;
- calcaires givétiens de l'Avesnois : Réserves $\cong 760.10^6 \text{ m}^3$ à l'affleurement + 370.10^6 m^3 sous découverte $\cong 0$ à 20 m ;
- dolomies du Boulonnais : $R \cong 100.10^6 \text{ m}^3$ + dolomies de l'Avesnois ;
- quartzites du Faménien de l'Avesnois : $R \cong 50$ à 60.10^6 m^3 ;
- grès d'Anor (sud du département du Nord - feuille Hirson) ;
- sable ;
- Albo-Aptien: hétérogénéité - recouvrement du Gault ;
- Landénien sup. : sables d'Ostricourt : gisements importants sous couverture yprésienne ;
- Flandrien moyen : sable fin mais problème lié à la présence d'une nappe aquifère très importante - sable utilisé en technique routière ;
- dune : exploitation interdite ;
- graves de silex : anciens cordons littoraux - découverte importante sur le littoral de la Manche ;
- craies : réserves inépuisables ;
- limons : épaisseur entre 2 et 15 m.

Etude des calcaires lacustres de la région parisienne - 007.077.003

Les deux principaux horizons calcaires de Seine-et-Marne sont le calcaire de Château-Landon et celui de Champigny. En conclusion, le calcaire de Château-Landon a des conditions de gisement plus faciles mais des caractéristiques plus faibles que le second.

Inventaire des ressources en granulats du nord de l'Ile-et-Vilaine - 008.035.001

L'objet de cette étude est de répondre à une augmentation de la demande en granulats dans le nord de l'Ile-et-Vilaine. Cette étude a comporté deux phases :

- une reconnaissance de surface avec prise en compte des contraintes ;
- une reconnaissance par géophysique et sondages sur 4 sites sélectionnés.

Les matériaux concernés étaient des roches éruptives et métamorphiques.

Ressources en matériaux rocheux du département de la Savoie ; bilan des réserves en matériaux rocheux - 008.073.001

Après examen des potentialités d'utilisation des formations géologiques du département de la Savoie comme granulats, les auteurs se sont attachés à caractériser 41 sites possibles d'extraction répartis sur les 8 zones du découpage administratif. Chaque site fait l'objet d'une fiche précisant : la localisation, le gisement (description du site, qualité des matériaux, quantité), le foncier, l'environnement, l'accès, les avantages et les inconvénients. Une carte au 1/100 000 synthétise les informations recueillies.

Les formations retenues comprennent des calcaires (Jurassique supérieur et Crétacé inférieur), des granites, des gneiss, des quartzites, des roches vertes et des faciès gréseux ou quartzeux.

Sables pliocènes de la région du Lac-de-Grand-Lieu : étude préliminaire - 009.044.001

Cette étude porte sur les placages de sables et de graviers pliocènes. Elle a pour but d'étudier l'existence de gisements exploitables pouvant se substituer aux sables de Loire. Elle comprend deux phases :

- reconnaissance de 28 secteurs avec détermination des zones les plus prometteuses ;
- reconnaissance par sondages mécaniques et géophysiques afin de préciser l'épaisseur et la qualité des gisements.

Le volume brut de matériaux exploitables est estimé à 220 Mm³ sur une superficie d'environ 40 km².

Réutilisation des sables de lavage des ballastières du Bas-Rhin, en technique routière - 009.067.001

L'identification géotechnique des sables permet de définir deux grandes catégories : les sables fins propres et les sables fins pollués. La technique routière exigeant, pour le béton des ouvrages d'art, des sables très propres, l'étude s'est orientée sur une analyse détaillée de leurs qualités naturelles et de leurs possibilités de traitement.

Les gisements de roches calcaires dans le centre du département du Lot - 010.046.003

Le but de cette étude est de mettre en évidence des massifs de roches calcaires susceptibles de constituer un gisement exploitable pour le marché des granulats du centre du département du Lot. La zone d'étude est centrée sur Cahors et s'étend dans un rayon de 10 à 25 km. 19 panneaux hors contraintes ont été prospectés, ce qui a permis un zonage des sites à réaménager, des estimations quantitatives et qualitatives sur les gisements à rechercher. Les formations calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur ont été jugées favorables pour une exploitation, celles du Kimmeridgien supérieur et du Portlandien sont proposées également. L'examen économique montre que la demande en granulats est de 300 à 400 000 t par an dans le secteur, où elle se concentre sur la vallée du Lot (à l'ouest immédiat de Cahors). Une carte au 1/50 000 permet de situer les gisements.

Etude des ressources en granulats du Trias et inventaire des contraintes d'exploitation. Région Montebourg et Valognes - 010.050.002

La décision de ne plus exploiter les gisements dunaires a nécessité de trouver, à l'intérieur des terres, des matériaux de substitution. L'étude a porté sur les ressources possibles en sables et graviers d'âge triasique situées dans le nord du département. Des zones hors contraintes ont été localisées par sondages mécaniques, analyse de la documentation existante et photographies aériennes. En conclusion, le Trias pourrait fournir un matériau très hétérogène qui nécessitera un traitement par lavage avant utilisation.

Ressources en matériaux fluvi-glaciaires (au sens large) du département des Vosges - 011.088.003

Cette étude fait l'inventaire des dépôts fluvi-glaciaires, au sens large, susceptibles d'être exploités. Trois zones de dépôts ont fait l'objet d'une étude détaillée :

- la bordure sud de la vallée de la Cleurie entre le Tholy et la Forge ;
- le secteur de Gerbamont ;
- le secteur de Saint-Dié.

Les reconnaissances ont mis en évidence des puissances de gisements intéressantes sous de faibles découvertes.

Inventaire des gisements de matériaux alluvionnaires et de roches dures dans les Hautes-Alpes - 012.005.003

Cette étude procède à l'inventaire des secteurs susceptibles de fournir des granulats (rocheux et alluvionnaires), énonce les contraintes limitant ou interdisant les exploitations et livre les propositions concernant les futurs sites d'exploitation. Pour ce faire, les points suivants ont été analysés : inventaire des gisements alluvionnaires au 1/50 000 sur 240 km de cours d'eau, inventaire des gisements rocheux (calcaires essentiellement et quartzites), proximité des bassins versants des principales rivières (Drac, Durance, Petit et Grand Buech), recueil de données concernant les débits solides des cours d'eau, recherche et analyse des contraintes existantes ou factuelles, synthèse et propositions. Il ressort de ce dossier que la production des granulats dans les Hautes-Alpes sera encore principalement axée sur les alluvions dans les années à venir et que seules les formations au nord-ouest de Gap constituent une ressource économiquement exploitable à l'heure actuelle.

Protection de l'environnement et exploitation des faluns du bassin savignéen (Indre-et-Loire) - 012.037.001

Les faluns s'étendent sur une bande d'environ 3 km de large et 12 km de long. On y a recensé 125 carrières. Des campagnes de sondages électriques, associés à des forages, ont permis de préciser les variations de faciès et d'épaisseur. En général, ces faluns ont de bonnes qualités géotechniques. Un inventaire des contraintes a également été réalisé. La réserve en granulats exploitables est estimée entre 19 et 21,5 Mm³.

Recherche de matériaux de remplacement des matériaux alluvionnaires dans le département de l'Yonne - 013.089.004

Cette étude a été réalisée dans le département de l'Yonne à l'exclusion des zones alluviales, de la partie sud composée de roches éruptives et de la partie nord composée de craie. L'Yonne présente des possibilités d'exploitation de formations utilisables sans traitement (Bathonien, Oxfordien récifal), des formations utilisables après traitement (Portlandien) et des formations techniquement inutilisables :

- calcaires à entroques du Bajocien : épaisseur 10 à 15 m ;
- oolithe blanche du Bathonien : tendre, souvent inutilisable ;
- calcaires compacts du Bathonien : épaisseur 10 à 15 m, mais d'extension limitée ;
- calcaires grenus bicolores du Bathonien : extension limitée ;
- calcaires de la Dalle Nacrée du Callovien : extension limitée ;
- calcaires récifaux de l'Oxfordien supérieur : variations rapides de faciès mais pouvant être de bonne qualité ;
- calcaires de Vermenton supérieur : peu homogènes, pollués, à inter-bancs marneux. Utilisation possible avec des formulations spéciales ;

- calcaires de Cruzy-Crayant, Commissey et Bazornes : idem calcaires de Vermenton ;
- calcaires à astartes du Kimméridgien ;
- calcaires du Portlandien inférieur : qualité limite ;
- calcaires du Barrois du Portlandien supérieur : de bonne qualité mais souvent pollués ;
- sable fin (0/1) siliceux de l'Albien.

Ressources en matériaux rocheux de la zone périphérique des bassins de Saint-Etienne et du Forez - 015.042.005

Ce rapport qui est un inventaire des ressources disponibles en matériaux rocheux de la zone périphérique de la plaine du Forez et du bassin de Saint-Etienne a été réalisé en 3 phases :

- synthèse géologique, caractéristiques des matériaux et possibilités d'utilisations, recensement des exploitations anciennes ou actuelles et en conclusion localisation de 30 sites d'exploitations potentiels ;
- classement des sites proposés sur des critères de qualité, transport, impact permettant la sélection de 6 sites d'exploitation potentiels ;
- examen technique des 6 sites retenus (gisement, qualité et quantité des matériaux, possibilité d'exploitation, environnement, accès par rapport aux centres d'utilisation).

En conclusion, on compare les avantages et les inconvénients pour chacun des 6 sites étudiés.

Les terrains cristallins concernés sont constitués par 3 types de roches :

- des roches métamorphiques ;
- des roches granitiques : granites divers et anatexites ;
- des roches volcaniques.

Etude générale concernant l'extraction des granulats dans les Pyrénées Orientales - 015.066.002

Le but du travail est ici d'appréhender au niveau d'une étude générale le problème de l'approvisionnement en granulats durant la période 1980-1985 et dans 3 zones géographiques : la plaine du Roussillon, la Cerdagne, la vallée de la Têt entre Mont-Louis et Ille-sur-Têt. La demande et l'offre dans ces zones ont été examinées afin de préciser les besoins. Trois catégories de ressources ont été analysées : les alluvions modernes des abords de rivière dispersées le long de la Têt et du Tech et comprenant 2 millions de m³ exploitables à court terme, les alluvions récentes qui constituent la basse plaine et les alluvions anciennes de la basse terrasse qui ne sont pas exploitables directement (présence d'argile). En Cerdagne, les moraines constituent un gisement satisfaisant. Ces

solutions qui n'assureront de toute façon que le court terme, sont à mettre en balance avec le passage rapide à des matériaux de substitution. 4 cartes illustrent ce dossier.

Recherche de granulats de substitution (calcaires et ophites) pour l'approvisionnement de la région de Pau - 018.064.006

Après de brèves données générales sur la production et la consommation des granulats alluvionnaires dans la région de Pau, ainsi que sur l'évolution prévisible des besoins, les auteurs se sont intéressés dans un premier dossier à la recherche de gisements de granulats de substitution calcaires. Quatre sites potentiels exploitables ont été retenus dans les calcaires urgoniens de l'Aptien supérieur, en fonction des différents critères de sélection pris en compte (économie, géologie, géotechnique, environnement). Le deuxième dossier est l'équivalent du premier pour les roches éruptives de la région (lherzolites et roches basiques crétacées). Parmi les 4 sites retenus, seul le gisement de lherzolites de "Pernes" semble intéressant pour l'exploitation de granulats de substitution.

Besoins et ressources en granulats du département du Var - 018.083.005

La méthodologie retenue pour cette étude comprend : recueil des données économiques, définition de la ressource en granulats dans le Var fondée sur une cartographie des gisements au 1/50 000 avec pour chacun d'entre eux, la définition de l'intérêt géotechnique et un commentaire géologique par carte, analyse des facteurs limitant l'exploitation, analyse de l'incidence économique de la création de nouvelles carrières, synthèse (confrontation gisement-contrainte cartographique au 1/100 000). Gisements calcaires (Muschelkalk, Bathonien, Séquanien, Kimmeridgien, Portlandien, Urgonien et Turonien), roches éruptives et métamorphiques (basaltes, amphibolites, gneiss migmatitiques, rhyolites, diorites, granites, esterellite) et formations meubles (alluvions) présentent de grandes variations de potentialité. En conclusion, on peut considérer que les réserves actuellement autorisées ou en cours d'instruction seront probablement suffisantes pour couvrir les besoins pendant deux décennies dans les zones de Toulon-est et de Draguignan, mais qu'elles ne le seront pas dans les zones de Toulon-ouest, Fréjus, Saint-Raphël, Saint-Tropez, Le Luc et Brignoles-Saint-Maximin.

Les granulats dans le département de l'Ariège en 1981 - contraintes, ressources, carrières à réaménager - 019.009.005

Recueil et analyse des données concernant les granulats du département de l'Ariège, en ce qui concerne les contraintes, les ressources et l'extraction, les sites de carrières à réaménager. Une étude des différents types de contraintes a été réalisée à l'échelle du département. Les matériaux alluvionnaires représentent 84 % du tonnage extrait en 1979, les calcaires 16 %. Les vallées de l'Ariège et de l'Hers sont les principaux gisements alluvionnaires ; les calcaires sont abondants et économiquement bien placés dans le département ; ils comprennent des calcaires tertiaires, des calcaires massifs du Secondaire, des calcaires primaires et des calcaires métamorphisés autour des massifs

granitiques et gneissiques. Une carte de synthèse au 1/200 000 donne les principales contraintes, les ressources hors contraintes et les exploitations en activité. Un inventaire succinct des principaux points noirs constitués par d'anciennes carrières à réaménager a été effectué.

Les granulats dans les départements de l'Aveyron en 1980. Contraintes, ressources, carrières à réaménager - 019.012.003

Ce recueil analyse les données concernant les granulats du département de l'Aveyron (pour l'année 1980) en rapport avec les sites de carrières à réaménager, les contraintes, ressources et exploitations. Les roches massives (79 %) fournissent l'essentiel de la production, les alluvions de la vallée du Lot et du Tarn ne représentant qu'un faible pourcentage (21 % en 1979). Une carte synthétise les principales contraintes, les ressources hors contraintes et les exploitations en activité.

Les roches massives comprennent :

- des calcaires au niveau des Causses ;
- des roches volcaniques (basaltes essentiellement et andésites) ;
- des roches métamorphiques (amphibolites, quartzites, gneiss et schistes quartzeux) ;
- des roches granitiques.

Etude des réserves en matériaux pouzzolaniques à la périphérie nord-est de la chaîne des Puys - 019.063.006

L'objectif à atteindre était de trouver, en qualité et en quantité, des sites d'extraction de matériaux pouzzolaniques, dont l'exploitation ne porterait qu'une atteinte mineure à l'environnement, afin de sauvegarder le patrimoine exceptionnel que représente la chaîne des Puys. A cet effet, les investigations ont été réalisées par phases : une recherche bibliographique, des reconnaissances de terrain, des sondages géophysiques et mécaniques, des prélèvements de surface et des analyses géotechniques des matériaux. La deuxième phase de l'étude a consisté en une reconnaissance plus approfondie de 7 sites sélectionnés. Les ressources sont de l'ordre de 100 Mt pour ces sites mais la prise en compte des contraintes liées à l'eau, aux forêts ou à l'existence du parc des volcans d'Auvergne réduit fortement ce chiffre, les réserves hors contraintes restant toutefois suffisantes.

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le département des Bouches-du-Rhône - 020.013.001

Cette opération a fait l'objet d'un rapport commun avec l'opération 002.013.001, à laquelle il convient de se rapporter.

Etude des matériaux morainiques sablo-graveleux du sud du Cantal - 020.015.003

Cette étude concerne les dépôts glaciaires et limno-glaciaires répartis dans les vallées de l'Authre, de la Cère et de la Jordanne et sur les hauts plateaux du secteur : Lacapelle-Barrès-Narnhac. Elle fait appel à des méthodes combinant l'utilisation de la géologie de surface, des sondages mécaniques et géophysiques complétés par des identifications géotechniques sur prélèvements. Ces travaux ont été précédés d'une étude bibliographique, photogéologique et d'une enquête auprès des exploitants. Elle a permis de déterminer les zones *a priori* favorables à l'exploitation et de les classer par ordre d'intérêt. Une étude des contraintes a été menée parallèlement. Les formations glaciaires des vallées sont en général sans intérêt. Les dépôts glaciaires de versants et de plateaux sont par contre qualitativement et quantitativement intéressants. Les sables oligocènes de Nieudan représentent un potentiel important de matériaux pour bétons hydrauliques.

Etude des sables de Bresse - 020.071.008

L'étude des sables de Bresse, conduite à partir d'une recherche bibliographique, d'une recherche sur le terrain, et de sondages électriques et mécaniques, a pour but de localiser les meilleurs gisements, d'évaluer leurs réserves en tenant compte des contraintes d'environnement, de définir leur mode d'utilisation en technique routière et d'envisager le réaménagement après exploitation. Les gisements sont lenticulaires, les sables sont fins, propres et micacés, leur utilisation en technique routière est possible après traitement et dans certaines conditions. Le réaménagement des carrières en zones agricoles est possible. Le deuxième fascicule correspond à une étude détaillée de 6 zones sélectionnées avec reconnaissance des gisements, caractérisation des sables, étude des modes de traitement et étude des impacts sur l'environnement.

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le Vaucluse - 020.084.007

Cette opération fait l'objet d'un rapport commun avec l'opération 035.084.012.

Etude des ressources en granulats et des contraintes d'environnement dans la moyenne vallée de l'Aude - 021.011.001

Cette étude est un bilan des ressources exploitables en granulats d'alluvions (moyenne vallée de l'Aude) et de roches (pour l'ensemble du département) compte tenu des contraintes majeures - d'environnement et administratives - affectant les gisements. La première partie est une étude géologique et géotechnique des granulats alluvionnaires. Ceux-ci représentent 166 millions de m³, dont 72 millions actuellement hors contraintes. La deuxième partie est une étude géologique et géotechnique des calcaires considérés comme matériaux de substitution des alluvions fluviales. Il s'agit de calcaires d'âges divers (Primaire, Jurassique, Crétacé et Tertiaire) assez bien répartis sur l'ensemble du département. La troisième partie est une étude économique présentant une

analyse de l'approvisionnement de la zone de Carcassonne en 1978 et une analyse de la production et de la consommation de granulats sur le département de l'Aude.

Etude des ressources en granulats de la région d'Annecy - 021.074.004

Ce rapport correspond à une étude géologique et méthodologique de 14 zones potentielles de granulats alluvionnaires. Des sondages électriques et mécaniques ont permis une évaluation quantitative et qualitative des ressources. Les auteurs se sont particulièrement axés sur l'environnement des sites. Ils ont étudié les orientations permettant de définir les premiers éléments nécessaires à l'élaboration :

- d'un cahier des charges d'exploitation et de remise en état ;
- d'hypothèses de réaménagement.

Etude des conditions d'exploitation des graviers dans le lit de la Gravona et définition des gisements rocheux de remplacement - 022.02A.001

L'analyse géologique et géophysique du remplissage alluvionnaire de la vallée de la Gravona a permis d'acquérir une connaissance complète du gisement et de calculer les réserves économiquement exploitables. Les incidences éventuelles de l'exploitation sur la nappe alluviale ont conduit à la réalisation d'un modèle mathématique afin de cerner au mieux les contraintes existantes et d'envisager les meilleures formes d'extraction. L'évaluation des prévisions de consommation en granulats a rendu possible la mise en place d'un calendrier d'exploitation. La substitution des granulats alluvionnaires par l'exploitation des roches massives, dont certains secteurs ont été définis, permettra d'envisager la reconversion progressive, en réservant les alluvions aux utilisations nobles et de prévoir une exploitation des roches massives qui assurerait la moitié des besoins dès 1980.

Valorisation des sables excédentaires de Basse-Normandie - 023.014.006

Une précédente enquête avait montré l'existence de sables excédentaires issus du concassage de roches massives. La présente étude avait pour but de leur trouver des possibilités d'utilisation. Dans un premier temps, l'étude est consacrée à l'identification de deux matériaux caractéristiques de la région. La deuxième partie est consacrée au traitement au bitume ; la troisième au traitement aux liants hydrauliques. La dernière partie est une étude économique traitant des techniques les plus intéressantes décrites précédemment.

Ressources en granulats de la région de Morlaix - 023.029.003

Cette étude comprend trois parties :

- une étude des contraintes paysagères, écologiques et réglementaires dans un rayon de 25 km autour de Morlaix ;

- une étude générale présentant une estimation de la consommation et de la production de granulats, le contexte géologique et la description des formations exploitables (roches métamorphiques), la sélection de 4 sites ;
- une étude par prospection légère et essais géotechniques des 4 sites précédemment retenus.

Inventaire des ressources en matériaux meubles dans la région du Puy-en-Velay - 023.043.006

Cette étude, dans la région du Puy-en-Velay, menée en 4 phases a nécessité les travaux suivants :

- étude bibliographique aboutissant au choix de zones *a priori* favorables ;
- étude photogéologique, étude de terrain, prélèvements d'échantillons, essais géotechniques en laboratoire et relevés piézométriques sur les zones pré-sélectionnées ;
- étude de contraintes hydrogéologiques, d'occupation des sols et de protection du patrimoine culturel sur les sites sélectionnés ;
- synthèse des résultats obtenus confrontés aux contraintes.

On constate, grâce à cette étude, que les matériaux meubles ne peuvent à eux seuls se substituer valablement aux formations alluviales actuellement exploitées. Ils peuvent apporter un complément aux exploitations de roches massives qui représentent le potentiel futur pour l'industrie extractives de Haute-Loire.

Les matériaux meubles étudiés sont :

- les sédiments tertiaires (Eocène et Oligocène) comprenant des grès feldspathiques, des sables inférieurs (sables et argiles sableuses), des formations argilo-sableuses versicolores, des sables argileux rougeâtres ;
- les sédiments quaternaires comprenant des sédiments fluviolacustres, des formations superficielles (altérations du socle granitique, colluvions y compris les formations de versant, colluvions sablo-argileuses de bas-versants et fonds de vallées, alluvions).

Etude de valorisation de déchets résultant des exploitations de carrières dans le département du Nord - 023.059.009

Cette étude comporte quatre parties :

- une enquête auprès des carrières afin de quantifier les déchets (14 Mm³ de terres de découverte et 3,5 Mm³ de produits de pré-criblage) ;
- l'identification des matériaux (les terres de découverte sont de bonne qualité, les produits de pré-criblage sont d'utilisation difficile) ;

- une étude plus détaillée des produits de pré-criblage avec essais de mise en oeuvre sur un chantier routier ;
- les perspectives d'utilisation de ces matériaux.

Etude des calcaires de Beauce dans le département d'Eure-et-Loir - 024.028.004

Cette étude trouve son origine dans la raréfaction des matériaux alluvionnaires et le développement des contraintes urbanistiques et écologiques dans les vallées de l'Eure et du Loir. Il a donc fallu préciser les caractéristiques géotechniques des matériaux actuellement exploités ainsi que celles des matériaux pouvant se substituer aux graves alluvionnaires.

Exploitation des granulats dans le département du Tarn en 1979. Données actuelles et perspectives - 025.081.006

L'analyse de la production et de la consommation actuelle de granulats du département du Tarn, ainsi que la description des lieux d'extraction actuels, a permis de dégager 8 grands types de ressources, 4 concernent les alluvions et alimentent surtout le bâtiment, 4 sont des roches massives et alimentent en priorité le marché viabilité. Les exploitations actuelles sont limitées par les gisements, les contraintes et les marchés. Le réaménagement des exploitations actuelles ou futures est abordé pour 3 cas principaux : gravières en eau, gravières à sec et carrières en roches massives. Ce bilan montre que les granulats alluvionnaires poseront de plus en plus de problèmes d'exploitation (épuisement et contraintes) alors que le département est riche en ressources "roches massives". Quatre scénarios d'approvisionnement sont proposés avec indication des conditions actuelles, des atouts et handicaps, et des actions à entreprendre pour les mener à bien.

Etude économique de l'approvisionnement en granulats du département, étude de substitution aux matériaux alluvionnaires de l'Allier - 028.003.007

Le groupe de travail sur les extractions de matériaux dans les lits de la Loire et de l'Allier s'est fixé 2 orientations : limitation des extractions dans le lit mineur des deux rivières ; transfert progressif des extractions du lit à la plaine alluviale. L'étude technico-économique a pour but d'examiner les possibilités de ce transfert et vise à en déterminer l'impact sur le marché des entreprises extractives de matériaux. L'étude des matériaux de substitution, limitée à la vallée de l'Allier entre Vichy et Moulins, a pour but de fournir aux exploitants des données susceptibles de les aider dans leur transfert du lit mineur vers les terrasses alluviales, voire vers la roche massive. Trois zones ont été retenues, correspondant aux pôles de consommation. Pour ce qui est des roches massives, la substitution peut se faire au sein des formations granitiques de Tréban et des amas de microgranites associés et, éventuellement, au sein des grès associés aux quartzites de Meillers.

Etude des ressources en matériaux calcaires et silico-calcaires pour l'approvisionnement de Lons-le-Saunier - 028.039.005

Cette étude correspond à une campagne de prospection électrique sur un certain nombre de secteurs, situés dans les principales vallées de la région de Lons-le-Saunier et sélectionnés à l'issue de la phase documentaire de l'étude - 42 sondages électriques alignés en profils transversaux aux vallées ont été exécutés. Cette étude montre que les terrasses fluvio-glaciaires de la vallée de l'Ain sont susceptibles de receler des gisements de granulats calcaires. Des accumulations importantes de matériaux sablo-graveleux et sableux, silico-calcaires, plus ou moins argileux ont été mis en évidence dans les vallées de l'Orain et de la Brenne mais des travaux de reconnaissance complémentaires seraient indispensables. Il existe également des ressources très importantes en roches calcaires du Jurassique pouvant fournir des granulats concassés.

Etude économique sur l'approvisionnement en granulats du département de la Creuse - 029.023.003

Ce rapport comprend trois parties :

- l'analyse de la production et de la consommation : elle montre que le département de la Creuse est fortement excédentaire en matériaux éruptifs représentant une production annuelle (1980) de 1,1 Mt soit 95 % de la production totale de granulats et 111 % de la consommation. Par contre, le déficit en matériaux alluvionnaires est très important, la production étant de 55 000 t soit 41 % de la consommation ;
- l'emploi des granulats : ils sont utilisés pour 27 % dans la fabrication des bétons hydrauliques et pour 73 % en viabilité ;
- éléments pour le choix d'un schéma d'approvisionnement : les ressources en granulats éruptifs sont globalement considérables et les besoins seront largement couverts. Pour les matériaux alluvionnaires, la situation est plus critique et dépend des contraintes, des importations et des techniques d'utilisation des granites dans les bétons hydrauliques.

Inventaire des ressources en sables des bassins de la Sarthe et de la Mayenne dans le département du Maine-et-Loire - 029.049.010

Quatre types de gisements ont été mis en évidence :

- les gisements en terrasses des vallées de la Sarthe, de la Mayenne et de l'Oudon ;
- les gisements en butte de sables éocènes ;
- les gisements en placage de sables pliocènes ;
- les gisements en bassin de sables pliocènes.

Les meilleurs gisements sont ceux des terrasses de la Sarthe (128 Mm³ de réserves), les alluvions de la Mayenne présentent aussi des gisements intéressants (réserves :

64 Mm³). Le Pliocène de placage peut fournir un bon matériau (réserves de l'ordre de 120 Mm³). Des études complémentaires seront nécessaires en ce qui concerne le Pliocène de bassin dont les gisements semblent intéressants.

Etude des déchets de granite en vue de leur utilisation en tant que granulats dans le département des Vosges - 029.088.013

Deux utilisations possibles :

- matériaux pour voirie ;
- matière de base pour la réalisation de matériaux reconstitués (dallage et éléments de murs).

Etude d'orientation pour la recherche de gisements de calcaires destinés à se substituer aux granulats alluvionnaires dans les départements de la Vienne et de la Charente - 031.016.007

La recherche de gisements potentiels de calcaires durs destinés à se substituer aux granulats alluvionnaires a consisté dans un premier temps à sélectionner les étages géologiques (Hettangien, Pliensbachien, Aalénien, Bajocien, Callovien, Oxfordien supérieur, Kimméridgien inférieur, Portlandien inférieur et moyen, Cénomaniens, Turonien supérieur et Coniacien moyen) susceptibles de fournir des matériaux convenables. Les zones favorables à la recherche de gisements potentiels de calcaires durs ont été définies en tenant compte de l'incidence économique des distances de transport. Une étude des données préexistantes sur les carrières et les matériaux en zone favorable a été réalisée en seconde partie.

Incidences économiques des modifications prévisibles de l'approvisionnement en granulats dans le département du Loiret - 031.045.013

Les possibilités d'exploitation des gisements alluvionnaires dans le département du Loiret ont tendance à se réduire et il est nécessaire d'étudier les possibilités de substitution (gisements en terrasse et calcaires), l'évolution de la demande et les conséquences économiques de la substitution. Après une présentation de l'actuel schéma d'approvisionnement, une analyse de l'approvisionnement futur du département et des conséquences économiques est réalisée.

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le département des Bouches-du-Rhône - 033.013.027

Cette opération fait l'objet d'un rapport commun avec l'opération 002.012.001.

Inventaire des matériaux de substitution aux graviers rhénans utilisables en génie civil - 033.067.018

L'étude a consisté :

- en la réalisation d'une carte géologique à 1/250 000, puis d'une carte géotechnique situant les différentes familles de matériaux ;
- à regrouper sur un support informatique les caractéristiques géotechniques des sols meubles ;
- en l'exploitation statistique des données permettant de procéder à des regroupements en familles géotechniques homogènes.

L'inventaire a porté sur les sols meubles superficiels autres que les graviers rhénans, c'est-à-dire :

- les altérations des grès et granites ;
- les argiles, marnes, marno-calcaires et calcaires ;
- les principaux gisements de sables et de graviers d'origine vosgienne ;
- les limons loessiques.

L'étude a également porté sur l'inventaire des sous-produits et des déchets :

- les cendres volantes et les cendres de foyer EDF ;
- les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères de Strasbourg et Mulhouse ;
- les déchets de carrière (sable de schlammage et résidus de criblage des roches massives) ;
- les sables de fonderie ;
- les résidus stériles (non salés) des MPA (Mines et Potasse d'Alsace) ;
- les sulfates résiduels de Thann.

Recherche de sites de carrières de roches dures sur le versant alsacien des Vosges - 033.067.019

La première phase de cette étude abordait les conditions technico-économiques du marché alsacien et proposait un certain nombre de sites à prospector (4 dans le Bas-Rhin et 8 dans le Haut-Rhin). Ces sites ont ensuite été classés selon leur impact sur l'environnement. Il est alors resté 2 sites dans le Bas-Rhin et 5 sites dans le Haut-Rhin qui ont fait l'objet d'une analyse plus approfondie. L'étude a permis de mettre en évidence un certain nombre de sites où la roche est de bonne, voire très bonne qualité.

Les types de roche concernés sont :

- pour le Bas-Rhin : "porphyres", grauwackes, schistes, diabases ;
- pour le Haut-Rhin : quartzs, grauwackes, "porphyres", andésites, labradorites.

Inventaire des zones susceptibles de receler des matériaux de substitution dans le département d'Indre-et-Loire - 034.037.009

Cette étude consiste en un inventaire préalable devant mettre en évidence des secteurs où l'on pourrait entreprendre des études ultérieures. Les conclusions sont :

- la relative pauvreté du département ;
- un seul gisement ne peut remplacer à lui tout seul toutes les utilisations du sable de Loire.

Les formations reconnues sont :

- silex ;
- calcaires jurassiques, d'Anjou et de Touraine ;
- grès cénomaniens et miocènes ;
- craies sénoniennes et turoniennes ;
- sables cénomaniens, sénoniens, turoniens, éocènes ;
- sables et grès de Brenne ;
- faluns.

Etude d'orientation pour la recherche de calcaires durs de substitution en Lot-et-Garonne - 034.047.004

Cette étude consiste à localiser les gisements de calcaire du département (reconnaissance géologique des principaux gisements) et à apprécier les possibilités éventuelles de substitution de ces calcaires aux alluvions du Lot et de la Garonne, ainsi que les conditions technico-économiques de cette substitution (analyse du marché des granulats du département, qui situe notamment les tonnages en jeu pour les différents besoins et les conditions technico-économiques de substitution). L'aspect "bétons" fait l'objet d'un examen plus détaillé, concrétisé essentiellement par une étude de faisabilité des bétons à partir de ces calcaires.

Dans le département du Lot-et-Garonne, il existe trois formations géologiques susceptibles de fournir des granulats de substitution :

- le calcaire blanc de l'Agenais, de l'Aquitaniens supérieur (Miocène inférieur) ;
- le calcaire de Castillon, de l'Oligocène inférieur ;
- les calcaires du Coniacien moyen.

Schéma coordonné d'exploitation et de recherche de matériaux de substitution dans les départements de la Nièvre et de la Saône-et-Loire - 034.058.003

Cette étude, réalisée pour les départements de la Nièvre et de la Saône-et-Loire est limitée aux vallées de la Loire et de l'Allier et leurs bordures, jusqu'à une distance de 20 à 40 km. Elle a pour objet :

- d'établir le bilan économique comparé du marché actuel de matériaux d'origine fluviale et du marché prévisionnel, à la suite de mesures restrictives éventuelles portant sur les extractions dans le lit mineur de la Loire ;
- de déterminer les pôles de transfert d'exploitation envisageables, en fonction des ressources disponibles, des contraintes et de tous ordres et du marché accessible.

Les matériaux de substitution ont été classés en deux catégories : les matériaux meubles correspondant aux terrasses et les roches massives. Ces dernières comprennent des roches siliceuses (granites, microgranites, poudingues siliceux et roches volcaniques comme les rhyolites, dacites, tufs,...) et des roches calcaires (calcaires du Jurassique).

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans le Vaucluse - 035.084.012

Cette étude comprend :

- une analyse du contexte géographique et géologique ;
- un inventaire des gisements ;
- une analyse des contraintes réglementaires et d'environnement ;
- un bilan économique.

Elle a montré que l'approvisionnement du département était essentiellement assuré à partir des ressources en matériaux alluvionnaires du fait de la proximité des gisements par rapport aux centres de consommation, et des avantages techniques et économiques, inhérents à ce type d'exploitation par rapport aux carrières de roches massives. Parmi les nombreux gisements définis dans l'étude des matériaux et compte tenu des contraintes, il apparaît toutefois possible de dégager un certain nombre de propositions qui peuvent servir de point de départ à l'élaboration d'une politique générale des extractions.

Parmi les formations massives calcaires barrémiennes, seul le massif de Lampourdier présente des critères suffisants de réserves et de qualité, et, éventuellement le massif de Caumont.

Schéma départemental des possibilités d'extraction de granulats dans les Alpes-Maritimes - 023.006.004 et 036.006.006

Le département des Alpes-Maritimes recèle de nombreux gisements de matériaux rocheux et alluvionnaires. Ces gisements sont soumis à d'importantes contraintes liées à la sensibilité extrême de certains sites, la densité de l'urbanisation et la fréquentation de l'espace qui empêche leur exploitation. La confrontation des données des études économiques, géologiques et géotechniques, de l'analyse des contraintes et de l'incidence économique de la création de nouvelles carrières permet de définir les potentialités du département. L'étude servira de document de travail en vue d'établir la stratégie d'exploitation des carrières de granulats dans le département.

Les matériaux rocheux retenus concernent des calcaires (Jurassique, Trias inférieur), des roches éruptives ou métamorphiques (granites, gneiss, amphibolites, rhyolites, cinérites) et des poudingues.

Etude des ressources en granulats et définition des conditions d'approvisionnement futur de l'aire urbaine du SDAU de Belfort-Montbéliard - 036.025.008

L'objet de cette étude était :

- de définir les besoins actuels et futurs de l'aire urbaine Belfort-Montbéliard ;
- de rechercher des ressources en granulats de toutes origines susceptibles de concourir à l'approvisionnement de l'aire urbaine ;
- de définir les zones d'exploitation possibles ;
- d'évaluer les gisements économiquement exploitables ;
- de construire les schémas d'approvisionnement à moyen et long terme.

L'étude économique a montré que la région concernée consommait, en 1962, 2 Mt de granulats qu'elle produit à 90 %. L'approvisionnement est assuré jusqu'à l'an 2000 environ dans les conditions actuelles. L'étude des ressources montre que les gisements alluvionnaires exploitables sont peu nombreux et géographiquement mal répartis alors que les ressources potentielles en matériaux rocheux sont diversifiées et considérables. Le schéma d'ajustement "offre-demande" réalisé en 1982 et l'analyse des perspectives à moyen et long terme conduisent à envisager une modification des approvisionnements.

Inventaire général des ressources en matériaux de roches dures pour granulats en Saône-et-Loire - 036.071.014

Cette étude des ressources en matériaux de roches dures pour granulats en Saône-et-Loire comprend deux parties. La première est limitée au massif calcaire de "Vannière-la-Montagne" (ou Sennecey). Ce massif bien situé et inscrit dans les circuits de distribution correspond *a priori* à une réserve importante. L'étude géologique a montré en fait que sa réserve est relativement limitée et que sa structure induit des contraintes

d'exploitation. Le champ d'investigation a donc été élargi à l'ensemble des "Côtes" et "arrières Côtes" chalonnaises et mâconnaises ainsi qu'au versant oriental du massif éruptif qui s'élève entre les bassins de la Saône et de la Loire. La deuxième partie correspond à une cartographie des gisements potentiels de roches dures concassables comprenant les roches éruptives du socle hercynien (rhyolites, tufs et ignimbrites), les calcaires compacts et certains calcaires grenus du Jurassique, les grès durs et les grès silicifiés du Trias.

Tableau de bord de l'approvisionnement en granulats du département du Gard - 038.030.007

Cette étude a pour but :

- d'une part, de déterminer l'évolution prévisible de la consommation de granulats à moyen et à long terme (20 à 30 ans) ;
- d'autre part, d'établir un bilan des ressources du département en matériaux exploitables et des contraintes d'environnement à prendre en compte dans l'optique de l'ouverture de nouvelles carrières.

Il aboutit à la présentation de scénarios d'évolution de la production de granulats conditionnés par la variation du poids des facteurs économiques, géologiques (gisements) et environnementaux. Il prévoit l'arrêt ou la diminution progressive des extractions en lit mineur et en lit majeur du Gardon, l'ouverture de nouvelles carrières en roches massives et l'ouverture éventuelle de nouvelles gravières dans le vallée du Rhône. Les formations reconnues comme sources potentielles de matériaux de substitution sont de nature carbonatée (dolomies et calcaires dolomitiques primaires, dolomies hettangiennes, calcaires du Lias inférieur, calcaires et dolomies du Jurassique moyen, calcaires du Jurassique supérieur et Crétacé), sédimentaire siliceuse (sables siliceux du Cénomaniens inférieur et Turonien supérieur, quartzites du Cénomaniens inférieur), cristalline (gneiss, micaschistes, granites).

Etude des ressources en granulats et des contraintes d'exploitation dans le bassin de la Saône en Bourgogne - 040.021.011

L'étude économique a montré qu'actuellement les matériaux alluvionnaires extraits dans le Val-de-Saône en Bourgogne (2 800 000 t en 1983) sont extraits pour 53 % du lit de la Saône et sont utilisés principalement pour la fabrication des bétons hydrauliques. A l'inverse, le débouché essentiel des granulats de roches massives est le domaine routier. L'étude des ressources potentielles en granulats dans la région du Val-de-Saône fait apparaître des disparités suivant les secteurs, tant quantitatives que qualitatives. Les ressources potentielles en matériaux alluvionnaires de la basse plaine de la Saône sont concentrées (75 %) dans le tiers amont de la vallée (région de Dijon). En ce qui concerne les roches massives, le département de la Côte-d'Or est bien pourvu en matériaux de bonne qualité (Comblanchien). En Saône-et-Loire, la recherche de gisements exploitables est beaucoup plus aléatoire, les roches calcaires étant plus

diversifiées, mais plus hétérogènes et globalement de moindre qualité. Les granulats de roches éruptives, en dépit de leur bonne qualité peuvent difficilement se substituer aux granulats alluvionnaires pour des raisons économiques.

Ressources en sables du sud du Maine-et-Loire - 042.049.011

L'approvisionnement du Maine-et-Loire est assuré par des extractions de sables du lit de la Loire (\cong 55 %). Il est urgent de trouver des matériaux de substitution pouvant remédier à une baisse inéluctable de cette production. Les deux conclusions essentielles de cette étude sont :

- il n'y a pas, dans la région étudiée, de matériaux de substitution aux sables et graviers de Loire pour la fabrication des bétons ;
- il existe des réserves importantes de matériaux hors normes dont le traitement permettrait de respecter les normes d'utilisation (sables fins du Sénonien et faluns de Touraine).

Inventaire des sables anciens de plateaux en Haute-Vienne - 043.087.011

Le département de la Haute-Vienne est caractérisé par une production excédentaire en granulats de roches massives et un important déficit en graves alluvionnaires. L'agglomération de Limoges absorbe près de 60 % des granulats utilisés dans le département. Sur une superficie de 2 000 km² correspondant aux formations superficielles des plateaux, 75 sites ont été sélectionnés, 14 sites se sont révélés potentiellement intéressants et ont fait l'objet d'une étude plus fine. L'analyse des contraintes économiques, d'environnement ainsi que les essais géotechniques ont permis de hiérarchiser les possibilités d'exploitation des gisements retenus. Les formations superficielles des plateaux sont constituées de matériaux meubles le plus souvent remaniés. Les uns forment d'épais dépôts sablo-graveleux fréquemment argileux, provenant du démantèlement de la roche sous-jacente. Les autres sont constitués d'alluvions sablo-graveleuses, à nombreuses lentilles argileuses et, localement associés à des niveaux de galets interstratifiés. Ces alluvions, déposées au Miocène, proviennent du déblaiement des altérites produites depuis la fin du Primaire par une intense érosion subaérienne.

Schéma des possibilités d'exploitation de granulats dans le département des Alpes de Haute Provence - 047.004.004

Cette étude a pour but de dégager une vue d'ensemble des ressources et des besoins en granulats du département. La méthodologie retenue a permis d'examiner successivement les différents aspects du problème posé :

- données économiques du marché des granulats (production, consommation, transport) ;

- détermination de la ressource potentielle (réserves autorisées, gisements existants, intérêt géotechnique). En dehors des formations alluviales, il existe d'importantes ressources en matériaux de substitution : calcaires du Trias, du Jurassique et du Crétacé ; grès éocènes silico-calcaires ; poudingues de Valensole (puissants dépôts de galets glaciaires et siliceux fréquemment cimentés) ; quartzites du Trias ;
- définition et analyse des contraintes (caractéristiques de l'environnement, contraintes liées aux carrières, synthèse).

Etude sur les possibilités d'utilisation des matériaux de substitution en Indre-et-Loire - 049.037.014

Cette étude a permis d'analyser les potentialités d'utilisation de roches naturelles locales comme produit de substitution : calcaire de Touraine de Truyes, sables du Cénomaniens. L'hétérogénéité des gisements et les caractéristiques géotechniques des matériaux posent des problèmes d'élaboration des produits. Les performances du calcaire de Truyes sont, en général, supérieures à celles des sables cénomaniens mais loin d'égaliser celles des alluvions de la Loire.

Etude des ressources en matériaux calcaires du département de Seine-et-Marne et des contraintes susceptibles d'affecter leur exploitation - 050.077.011

Cette étude a pour objet de mieux connaître les ressources en matériaux calcaires du département en délimitant les zones les plus sensibles du point de vue de leur environnement et les parties de ces gisements qui ne seraient pas exploitables en raison de :

- leur puissance insuffisante ;
- d'un recouvrement ou d'intercalations marneuses trop importantes ;
- d'une qualité non satisfaisante.

Etude des ressources en granulats des formations alluviales et des matériaux de substitution de la région Aleria-Ghisonaccia - 052-02A-002

Le but de cette étude est de rechercher des gisements alluvionnaires hors contrainte en remplacement des exploitations actuelles en lit mineur. L'évaluation des gisements potentiels des différentes terrasses a été déterminée à partir des données existantes et d'une campagne géophysique complémentaire. Des études géotechniques ont permis de connaître la qualité du matériau analysé. Le gisement hors contrainte représente 160 millions de m³. Les recherches complémentaires au niveau des roches massives ont permis de découvrir un gisement potentiel de conglomérats de 30 millions de m³. Les formations de gabbros et diabases semblent aussi intéressantes. Les besoins de la région seront largement couverts par les nouvelles carrières.

Adaptation du potentiel de production des carrières lozériennes aux besoins départementaux en granulats - 054.048.002

Cette étude a pour objet :

- d'une part, d'évaluer l'adéquation entre la production de granulats et les besoins immédiats et à long terme ;
- d'autre part, de recueillir des éléments en vue d'infléchir éventuellement la gestion des ressources et l'emploi des matériaux. Compte tenu des perspectives pour l'extension des extractions sur les dépôts fluvio-glaciaires et des incertitudes sur la pérennité des exploitations de graves du Tarn et du Lot, la Lozère devrait connaître à long terme un problème d'approvisionnement en matériaux roulés.

En substitution, il existe un certain nombre de formations de roches dures : basaltes (sauf dans le Sud-Est), gneiss, quartzites, calcaires, alluvions glaciaires. Les conclusions restent réservées sur les possibilités d'ouverture de carrières.

Ressources en sables terrestres pour la construction (bâtiment, travaux publics) en Martinique - 054.972.002

L'étude des besoins et des ressources en sables de l'île de la Martinique s'est déroulée en 2 phases :

- collecte des données économiques (production, consommation, origine des sables) ;
- étude de terrain (visites des sites d'extraction existants, recherche de gisements potentiels, prélèvement d'échantillons et analyses de laboratoire).

En conclusion, si l'approvisionnement en sables semble assuré pour les 5 ans à venir à partir des carrières existantes généralement susceptibles d'extension, de nouveaux gisements pourraient être exploités. A terme, il conviendrait d'effectuer une étude exhaustive des ressources en sable marin et d'optimiser l'exploitation des gisements actuels qui donne naissance à un fort pourcentage de stériles.

Valorisation des argiles à silex en région Centre comme matériaux de substitution des granulats alluvionnaires - 058.028.011

Cette étude comprend trois parties :

- synthèse des données bibliographiques ;
- inventaire des exploitations d'argile à silex en région Centre à partir de la documentation et de visites sur le terrain ;
- étude des différentes méthodes de sondage géophysique des gisements et proposition pour une méthode d'investigation.

Son but est de regrouper, sous une forme synthétique, les éléments généraux utiles pour des prospections de gisements de matériaux argilo-siliceux.

Les biefs à silex : recherche de ressources de substitution en Haute-Normandie - 058.076.016

Les biefs à silex sont des formations dérivées de l'argile à silex et peuvent constituer des réserves de matériaux de substitution. La présente étude s'est intéressée à l'extension, l'épaisseur et la forme des gisements exploitables, aux méthodes d'extraction, d'exploitation et de traitement, aux techniques de réaménagement et aux coûts d'exploitation.

Inventaire des gisements de matériaux alluvionnaires, éboulis rocheux du département de la Haute-Savoie - 059.074.13

Cette étude consiste en une actualisation de l'inventaire des ressources en matériaux alluvionnaires et un inventaire des gisements d'éboulis et de roches massives. Elle repose sur un recensement des gisements à l'échelle 1/50 000. L'étude a comporté trois phases :

- une présentation de la géologie régionale ;
- une phase de synthèse par carte au 1/50 000 ;
- une estimation, avec des degrés de précision divers, des volumes, et de la qualité des matériaux disponibles.

Synthèse départementale des caractéristiques géologiques, géotechniques et économiques des carrières de Bourgogne - 060.021.017

Le but de cette étude est de fournir aux commissions départementales des carrières, un outil d'analyse synthétique d'utilisation simple et actualisable qui reprendra les éléments essentiels à l'appréciation de l'économie actuelle et future de la production de granulats : nature du gisement et qualité des matériaux, utilisation actuelle et potentielle des agrégats, productions réalisées sur 5 ans, réserves autorisées, ressources géologiques (rapport inédit).

Eléments technico-économiques pour la mise en place d'une politique départementale des granulats en Haute-Vienne - 060.087.013

Cette étude comprend 2 parties :

- l'étude économique fait le point sur les conditions de l'approvisionnement en granulats du département de Haute-Vienne, à moyen et long terme (5 à 10 ans), en fonction des éléments dont on dispose aujourd'hui ;
- l'étude géologique, géotechnique et l'étude des contraintes liées aux sensibilités d'environnement mettent en évidence les éléments critiques qui conditionnent l'évolution prévisible des ressources en granulats du département. Les roches massives

sont la principale ressource en granulats du département (95 %). Elles comprennent des roches cristallophylliennes (gneiss), des roches plutoniques (granites), des roches filoniennes (microgranites).

Ces 2 parties permettent d'aboutir à une synthèse technico-économique.

• *Colloque de clôture Materloc - Calcaires (23-24 novembre 1995)*

La localisation et l'utilisation économique optimale des ressources carbonatées d'une région - M. B. Haguenauer

Définition du concept de calcaire, problèmes liés au gonflement et à la texture, validité des essais Los-Angeles et Micro-Deval, structure des roches carbonatées, carte lithologique et structurale.

Les calcaires lacustres de Seine-et-Marne. Incidences du contexte géologique sur les caractères physico-chimiques des matériaux - Mme J. Riveline et M. M. Renard

Etude de la valorisation de trois calcaires locaux : calcaire de Champigny dans sa forme classique (carrière de Jouy-le-Châtel), dans le faciès de Château-Landon (carrière de Souppes) et sous un faciès atypique (carrière d'Ecuelles). Rapport d'avancement n°1 consacré à la sédimentologie et à la géochimie des dépôts : masse volumique, porosité, conditions de dépôt.

Répartition, cubage et qualité des faciès calcaires de l'Oxfordien de Lorraine : approche méthodologique et quantification - M. G. Dagallier

Ces calcaires sont depuis longtemps employés comme pierres de construction, granulats ou charges minérales. Deux méthodes complémentaires permettent aujourd'hui de mieux caractériser un gisement calcaire et le matériau qu'il renferme :

- l'analyse sédimentologique révélant les hétérogénéités en grand et débouchant sur la reconnaissance régionale de l'extension d'un type de matériau donné, donc sur les potentialités en termes de gisement ;
- l'analyse des microtextures à l'échelle de l'échantillon permettant de prévoir son comportement mécanique.

Le cas des craies de Champagne et des matériaux dérivés (graveluches, brèches hydrauliques) - M.J. Richard et M. Roux

La région Champagne-Ardenne dispose d'une réserve de matériaux (craies et graveluches) exploitable d'au moins 5.10^9 t avec des contraintes d'environnement relativement faibles. Des traitements appropriés de la craie ont permis sa mise en oeuvre dans des travaux autoroutiers (A 26). Les craies présentent des caractères majeurs différents de ceux des calcaires durs : sédiment encore friable dont les grains ne sont pas

encore soudés par un ciment. Les craies les plus marneuses contiennent au plus 12 % d'argile. L'action des alternances gel/dégel conduit à l'accumulation locale de graves crayeuses souvent calibrées (gélifracfs) que l'on appelle "graveluches" en Champagne. Les lits de graveluches contiennent une proportion variable de grains altérés (altération marquée par des phénomènes de dissolution/recristallisation provoquant l'apparition d'une porosité secondaire). Les qualités géotechniques des granulats seront d'autant meilleures que la proportion de grains altérés est forte et que la fraction limoneuse est faible.

Les gélifracfs fossiles : des formations superficielles carbonatées aux propriétés singulières - M. J.M. Rémy

L'exposition aux conditions de la surface des calcaires anciens portés à l'affleurement se traduit par une remise en équilibre s'exprimant essentiellement par des fragmentations, des dissolutions et des recristallisations. C'est ainsi que se mettent en place, au pied des versants calcaires, les gélifracfs fossiles (grouines en Lorraine, graveluches en Champagne, grèzes en Charentes, groises dans le Jura,...). La qualité, les propriétés et les usages des gélifracfs fossiles dépendent directement des multiples paramètres qui ont contrôlé leur formation. La localisation préférentielle de ces gisements selon l'exposition des massifs de roches-mères doit orienter leur recherche. Une homogénéisation des matériaux avant usage est nécessaire pour pallier l'hétérogénéité intrinsèque des gisements de gélifracfs fossiles et permettre de réduire la variabilité des propriétés des matériaux.

Les gélifracfs fossiles constituent des graves 0/8 à 0/20 mm généralement bien graduées, comprenant 10 à 20 % de fines. Du fait qu'ils ont déjà gelé et atteint un endommagement seuil, ces matériaux ont acquis une durabilité au gel supérieure à celle d'un échantillon de granulats concassés en carrière et issus de la roche-mère. La comparaison d'échantillons de granulats de calcaire meusien fabriqués en carrière et de grouines issues de la même roche-mère montre une diminution de 5 à 10 points sur les coefficients Los Angeles et micro Deval pour ces dernières.

Dans la plupart des cas, ces gélifracfs fossiles sont utilisés après traitements aux liants hydrauliques. L'expérience acquise depuis les années 1970 conforte leur emploi en assises de chaussées pour tout trafic et en renforcement de structure :

- couches de fondation et de base ;
- parkings et dallages industriels ;
- voiries diverses.

Exemples d'utilisation :

- graveluches traitées avec des liants routiers utilisées en couches de fondation sur le chantier de l'autoroute A26 en Champagne ;
- emploi de grouines pour la construction de la voie latérale à la RN4 entre Void et Pagny-Horgne.

L'organisation microtexturale des matériaux calcaires : un enjeu pour la compréhension de leurs propriétés et de leur réactivité - M. G. Dagallier

Pour améliorer la compréhension, voire en prédire les propriétés et la réactivité, il apparaît nécessaire d'envisager l'organisation des calcaires à l'échelle des cristaux constitutifs.

Analyse séquentielle haute résolution et définition des gisements de calcaire - M. G. Dagallier

Propriétés physiques des matériaux calcaires. Morphologie des milieux poreux et comportement au gel - M. J.M. Rémy

Les calcaires et les matériaux qui en sont issus présentent un large éventail de comportements, de la gélivité à la durabilité. Au vu de ces multiples géométries, on peut difficilement parler d'une porosité des matériaux calcaires. Il existe en fait un ensemble de volumes poreux distincts (en termes de morphologie et de dimensions) dont l'influence sur le comportement du matériau, à l'eau et au gel, est différente.

Comment rendre les matériaux non gélifs ?

- concasser sous la maille de fragmentation ;
- traiter les matériaux (liants hydrauliques, chaux) ;
- tenir compte des particularités des matériaux calcaires dans la conception des ouvrages.

Propriétés chimiques des matériaux. Solubilité - dissociation - capacité d'échanges d'ions en milieux basiques - Mme M. Chloup-Bondant et M. O. Evrard

Connaissance et propriétés physico-chimiques des couples matériaux-liants - Mme M. Chloup-Bondant et M. O. Evrard

Influence de la nature du ciment sur les propriétés de mortiers calcaires - M. A. Lecomte

La fabrication conventionnelle des mortiers calcaires s'est montrée plus délicate à réaliser que celle des mortiers siliceux, à cause notamment de l'obligation préalable de saturer les grains poreux et du comportement plus plastique et collant des mortiers frais. Leur masse volumique réelle humide, mesurée au démoulage est inférieure de 4 % environ à celle des mortiers siliceux alors que leur compacité de fabrication est globalement comparable. La masse volumique sèche est nettement plus faible pour les mortiers calcaires. Ces constatations montrent qu'il peut y avoir un intérêt économique certain à utiliser, pour des usages spécifiques, si l'on ne recherche pas les hautes performances, des granulats calcaires tendres qui donneront des mortiers, voire des

bétons, ayant une masse volumique plus faible (qui se rapproche de celle des bétons légers) et des propriétés thermiques et acoustiques améliorées.

Les performances mécaniques des mortiers calcaires, bien qu'honorables, restent, en général, inférieures à celles des mortiers siliceux. Le CLK semble être le ciment qui réagit le plus favorablement.

Comportement mécanique des mortiers et bétons de calcaires - M. M. Bellanger et M. M. Chaouch et Mme F. Homand

Les différents essais physiques et mécaniques effectués ont montré que les mortiers et les bétons calcaires possèdent de très bonnes performances (résistance à la compression, à la traction, à la flexion) dès les premiers jours malgré les faibles qualités reconnues aux granulats calcaires. La nature du granulat calcaire paraît conduire à des comportements différents des mortiers et des bétons. Un mortier ou un béton à base de granulats calcaires tendres semble posséder une meilleure résistance à la traction et à la flexion qu'un mortier ou un béton de calcaire dur. Ce type de granulat serait ainsi mieux adapté aux bétons routiers soumis par le trafic à des efforts de flexion et de cisaillement plus importants. Les granulats calcaires durs trouveraient une meilleure utilisation dans des bétons ou mortiers travaillant surtout en compression.

Carrière de Viterne. Pré-traitement des produits de scalpage - M. Ph. Toffolini

Expérimentation prouvant l'action bénéfique de la chaux sur les matériaux argileux, et permettant ainsi de valoriser les produits de scalpage (aménagement des chemins forestiers, de plate-forme, constitution de remblai ou encore réalisation d'accotements).

Concassage sélectif - Conséquence sur les propriétés des matériaux traités - Le réemploi d'un co-produit de carrière - M. J.M. Didot

L'étude simplifiée du traitement au liant hydraulique ARC 3 d'un granulat calcaire 0/8 mm de catégorie E élaboré par concassage secondaire à partir d'un granulat 3/30 mm de catégorie F montre :

- qu'il est possible d'obtenir avec ce granulat une grave classée G2/G3 si le dosage en liant est de 3 %, et ce dès 60 jours ;
- qu'un dosage de 5 % permet d'obtenir dès 60 jours un classement G2 ;
- que l'indice de qualité élastique (IQE) pour ces deux dosages est tout à fait conforme aux spécifications généralement imposées pour la construction des chaussées neuves.

Formulation de bétons calcaires - M. A. Lecomte et M.L. Masson

Des essais ont montré qu'il était possible de réaliser des bétons calcaires courants avec des granulats 0/6 et 6/20 mm tels qu'actuellement produits à la carrière d'Attignéville. Ces bétons demandent moins d'eau ce qui augmente leur susceptibilité et les risques de dessiccation. L'emploi d'un plastifiant amplifie ces problèmes tout en procurant un gain

substantiel de résistance. L'article propose des abaques facilitant la formulation des bétons.

Cependant certaines consignes peuvent être suggérées :

- en carrière, laisser les tas fraîchement concassés exposés aux eaux météoriques durant un à deux mois ;
- en centrale, conserver leur humidité à une valeur quasi constante par aspersion, par exemple.

Le calcaire et l'apatite, ingrédients d'une pierre reconstituée inaltérable - M. B. Haguenuer et M. S. Nion et M.A. Sadeghi

Un granulats calcaire couplé à une apatite produit une pierre reconstituée inaltérable dans ses propriétés mécaniques et dans la stabilité de sa couleur.

Les calcaires dans les bétons prêts à l'emploi - M.G. Calin et M.B. Haguenuer

Les études démontrent que les granulats calcaires concassés sont utilisables pour la fabrication de bétons, bien qu'ils ne rentrent pas totalement dans les spécifications de la norme (propreté, pureté des fines, teneur en eau).

Cependant, certains essais ne sont pas adaptés à ce type de matériau : essais de friabilité des sables et d'équivalent de sable. La porosité de la roche et la forme des grains permettent une excellente liaison entre le ciment et le granulats. Les fines de sable améliorent la compacité du béton, leur finesse et leur activité en font un ajout du ciment intéressant et peu coûteux.

Les performances obtenues sont bonnes en compression et surtout en traction.

Implantation en Meuse d'une usine d'élaboration de produits préfabriqués lourds en bétons (prédalles et poutres) - M.G. Carbonel et M.G. Becker et M.B. Haguenuer

Cette étude comprend :

- une étude de la ressource meusienne en granulats et fillers (granulats calcaires de la vallée de la Meuse et de l'Ormain, granulats alluvionnaires de la vallée de la Meuse) ;
- étude des bétons à base de granulats meusiens (caractérisation des matériaux, formulation des bétons, gâchées expérimentales) ;
- présentation de l'investissement nécessaire (valeur à neuf) d'une exploitation d'une carrière de calcaire massif et d'une installation d'extraction et de traitement de matériaux alluvionnaires.

Place des matériaux carbonatés dans la voirie rurale et forestière - M.A. Remillon et M. J.M. Viaproder

Afin de réduire l'important déficit de la balance commerciale française dans la filière bois, il est nécessaire de valoriser la forêt française. Le développement de la voirie forestière est indispensable (on estime souhaitable 1,5 km de voie forestière par 100 ha). L'adoption de techniques nouvelles avec des matériaux calcaires sur place, permet, le cas échéant, de réduire en moyenne de 50 % le coût de la construction de nouvelles chaussées.

Ces techniques sont applicables également aux voiries rurales qui doivent supporter de lourdes charges.

Utilisation des graves non traitées calcaires en assises de chaussées. Expérience de la RD 218 en Seine-et-Marne - M. J.L. Pauté et M. Ch. Cimpelli

Près de trois ans après la réalisation du chantier expérimental, les résultats obtenus sont très encourageants. Ils montrent que les prévisions de comportement des calcaires du tertiaire du Bassin parisien faites sur la base d'essais mécaniques en laboratoire sont bien vérifiées in-situ. Par contre, les spécifications en vigueur, qui associent résistance du granulat et "portance" des graves non traitées (GNT) pour assises de chaussées, interdisent actuellement l'utilisation de ces granulats. L'expérimentation permet d'envisager l'élargissement des spécifications portant sur la résistance mécanique des granulats calcaires.

L'adjonction de chaux à la GNT transforme le matériau et lui confère, à terme, une rigidité 6 à 10 fois supérieure.

Utilisation optimale des craies et des calcaires de Champigny en couche de forme traitée sur l'autoroute A5 ⇄ Melun/Sens - M. A. Guenoun

Le projet, élaboré en 1990, prévoyait, afin de valoriser au maximum les matériaux du site, les options suivantes :

- une utilisation systématique des craies du Sénonien pour réaliser les couches de forme traitées sur 22,15 km ;
- l'utilisation en couche de forme sur 11,5 km de calcaire de Champigny concassé et traité.

Cette étude comprend les différentes phases suivantes :

- particularités des craies et des calcaires de Champigny : stabilisation par des liants hydrauliques de la craie sénonienne et des calcaires de Champigny ;
- dimensionnement des couches de forme et des chaussées : nature et épaisseur des couches de forme, trafic pris en compte, structure des chaussées ;
- les enjeux économiques et les choix de structures ;

- les méthodes de réalisation : couche de forme en calcaire concassé et traité, couche de forme en craie traitée ;
- récapitulatif des matériels utilisés pour réaliser les couches de formes traitées : matériels pour couche de forme en calcaire concassé traité en centrale, matériels pour couche de forme en craie traitée en place au déblai ;
- conclusion.

Actions d'accompagnement - Valorisation et mise en application des résultats - M. A. Remillon

Actions d'accompagnement qui comprendraient :

- la tenue d'un colloque annuel PROGEC ;
- la formation des ingénieurs à la recherche et par la recherche ;
- un accès rapide et facile aux travaux en cours et aux derniers acquis des chantiers ;
- la validation des connaissances sur ouvrages expérimentaux qui devrait se traduire par la mise en place d'une procédure d'exception contrôlée ;
- l'interaction réglementation et recherche ;
- la valorisation et la mise en application des résultats (guide d'emploi des matériaux locaux).

2.2. ÉTUDE DES CARTES GÉOLOGIQUES ET NOTICE

L'examen des cartes géologiques et de leur notice, complété par les résultats de l'étude sur les ressources potentielles en granulats de la France (schéma directeur national des granulats), a permis de sélectionner un certain nombre de formations géologiques susceptibles de pouvoir fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires.

Il s'agit :

- des formations meubles correspondant aux alluvions (formations en terrasse principalement dont les exploitations ne posent pas les mêmes problèmes que les gisements du lit majeur) ainsi qu'aux formations fluvio-glaciaires (Vosges) ;
- des formations également meubles, mais d'origine volcanique, comprenant des pouzzolanes et autres projections volcaniques (ponces,...). Ces formations sont présentes dans le Massif central, en particulier au sein des volcans de la chaîne des Puys (de petits gisements existent dans les massifs orientaux du Devès et du Velay) ;
- des basaltes et des basanites sombres et massifs auxquels s'ajoutent des roches claires : trachytes, rhyolites et phonolites. Sous forme de coulées, "plateaux", filons, "necks" et dykes ces roches sont présentes dans le Massif central. On trouve des roches identiques, mais en petites quantités dans les Alpes, en Provence, ainsi que dans la région d'Agde ;

- des argiles à silex du Bassin parisien. D'âge tertiaire à actuel, ces formations couvrent de grandes superficies, principalement dans les régions Haute-Normandie, Picardie et Centre. Provenant de l'altération superficielle des différents types de craies, elles recouvrent le substratum crayeux et sont, le plus souvent, masquées par des terrains superficiels limoneux (le limon des plateaux des cartes géologiques). A l'affleurement, elles sont constituées d'une matrice argilo-sableuse brun-rouge renfermant de très nombreux silex, en provenance des craies séno-turoniennes ou des chailles, en provenance de la craie cénomaniennne. L'épaisseur de ces formations est variable mais peut, localement, atteindre plusieurs dizaines de mètres. La formation dite de biefs à silex correspond à la partie supérieure des argiles à silex ;
- des formations à chailles du sud du bassin de Paris, d'âge éocène et dont l'épaisseur varie de quelques mètres à 20 m. Ces formations sont constituées de sables, d'argiles, de poudingues et de cailloutis. Les chailles (accidents siliceux se différenciant des silex par leur cassure mate et l'absence de patine) proviennent du démantèlement des niveaux de calcaires silicifiés, surtout bajociens, mais aussi du quartz en provenance de la formation de Brenne (grès, argile sableuse, calcaires et marnes lacustres, carapace ferrugineuse), de silex et de roches diverses (gneiss, granites, grès, calcaires,...) ;
- du calcaire de Beauce (bassin de Paris). Il s'agit d'une formation carbonatée datée de l'Oligocène supérieur (Stampien supérieur à Aquitanien) à passées silicifiées, centrée sur Orléans. Les variations latérales de faciès sont nombreuses et portent fréquemment des noms locaux : calcaire d'Etampes, du Gâtinais, marnes de Voise (en réalité des calcaires marneux), molasse du Gâtinais, de Varennes, calcaires de l'Orléanais,... L'épaisseur du calcaire de Beauce est variable, en moyenne 30 m, mais peut atteindre 100 m à l'aplomb de fosses (La Ferté-Saint-Aubin et Pithiviers) ;
- des calcaires de Champigny et de Château-Landon (bassin de Paris). Ces deux formations appartiennent à l'Eocène supérieur (Ludien moyen). Le calcaire de Champigny s'étend dans toute la Brie, son épaisseur peut atteindre 25 m. Le calcaire de Château-Landon affleure entre Bellegarde et Malesherbes, son épaisseur varie de 15 à 20 m. Le calcaire de Champigny est un calcaire massif, parfois compact mais souvent fissuré, bréchoïde, vacuolaire, de couleur crème, blanche ou beige. Il peut être silicifié à sa partie inférieure. Le calcaire de Château-Landon est un calcaire lacustre, sub-lithographique, vacuolaire, bréchique, formant parfois des bancs séparés par de minces lits marneux ;
- du calcaire grossier de l'Eocène moyen (Lutétien) du bassin de Paris. On trouve à sa base des sables calcaro-glaucconieux surmontés par une biocalcarénite consolidée plus ou moins cimentée et appelée le calcaire grossier. A la base, on trouve le calcaire grossier à Nummulites, puis le calcaire grossier à Miliolites et enfin le calcaire grossier à Cérithes. Ces formations sont surmontées par les marnes et caillasses n'appartenant pas au calcaire grossier ;
- des calcaires lacustres de l'Eocène supérieur du sud du bassin de Paris. Il s'agit essentiellement des calcaires lacustres d'Anjou et Sarthe du Bartonien (Eocène supérieur), ainsi que de ceux de Touraine du Lucien supérieur (Eocène supérieur) et de ceux du Berry d'âge Lucien moyen à stampien supérieur (Eocène supérieur à

Oligocène). Il s'agit de calcaires durs, blancs, grisâtres ou bistres clairs avec des meulière grises ressemblant à des silex (calcaire d'Anjou). Les bancs de calcaire sont souvent séparés par des niveaux argilo-marneux. La base de ces formations est constituée soit de niveaux sableux (calcaire d'Anjou), soit de calcaires pulvérulents plus ou moins argileux et de marnes blanches (calcaire de Touraine). Leur épaisseur est variable : 20 m maximum pour le calcaire d'Anjou et Sarthe, inférieure à 34 m pour le calcaire de Touraine ;

- des calcaires tertiaires du Bassin aquitain. Bien que de qualité irrégulière, ces calcaires situés en région bordelaise méritent de retenir l'attention. D'une puissance le plus souvent faible, ils sont constitués de différents niveaux comprenant : des calcaires massifs (au niveau de la Montagne-Noire et dont l'épaisseur varie de 20 à 80 m) ; des calcaires à Miliolites (sur la bordure sud ainsi que dans la Montagne-Noire et dont l'épaisseur peut atteindre 80 à 100 m) ; des calcaires massifs au sein des formations molassiques du sud de la Garonne (puissance de l'ordre de 10 à 20 m) ; des calcaires à Astéries (de part et d'autre de la Garonne, du Lot et de la Dordogne, et dont l'épaisseur est d'environ 5 à 20 m) ;
- des calcaires du Jurassique et du Crétacé du Bassin parisien et du Jura. Ces formations affleurent sur le pourtour du Bassin parisien dont elles constituent l'une des auréoles extérieures, ainsi qu'au sud des Vosges et au niveau du Jura. Il s'agit d'un ensemble de formations débutant au Lias et se terminant au Crétacé supérieur c'est-à-dire s'étendant sur 140 Ma environ. Les différents faciès présentent des variations latérales et/ou verticales très nombreuses. Parmi les niveaux susceptibles de pouvoir fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires, on peut citer les calcaires à gryphées du Sinémurien, les calcaires et grès du Pliensbachien, les calcaires à polypiers avec oolithes et les calcaires à entroques du Bajocien, les calcaires du Bathonien (le calcaire le plus connu de ce niveau étant le Comblanchien), la Dalle Nacrée du Callovien (sauf en Franche-Comté), les calcaires oxfordiens (souvent récifaux), les calcaires du Kimméridgien inférieur et du Portlandien. En ce qui concerne le Crétacé, on peut citer les calcaires des faciès marins du Valanginien, les Sables Verts de l'Albien (le Crétacé supérieur caractérisé par la craie n'a pas été retenu comme pouvant fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires). Dans le Jura, des bancs de calcaires massifs épais se trouvent à tous les niveaux de la série secondaire ; du Jurassique moyen au Crétacé ;
- des calcaires du Jurassique et du Crétacé du Bassin aquitain. Sur la bordure nord du bassin, jusqu'à la latitude de la Gironde, les ressources potentielles jurassiques couvrent une partie du Lias (Pliensbachien principalement), du Dogger (Aalénien, Bajocien, Bathonien et la partie supérieure du Callovien) et du Malm (*pro parte* Oxfordien, Kimméridgien et Portlandien). Dans le Crétacé, la ressource se trouve dans le Cénomaniens, le Turonien (qui prend dans cette région le nom d'Angoumien) et le Coniacien (toutefois, la dureté de la roche présente de fortes variations latérales), en particulier le faciès des "calcaires Nankin", daté du Crétacé terminal, a été exploité sur la bordure sud du bassin.

Sur la bordure est du bassin, le Lias devient peu exploitable (marneux, dolomitique, voire gréseux) mais une grande partie du Jurassique moyen à supérieur, essentiellement calcaire, semble pouvoir fournir des granulats.

On peut également citer les calcaires massifs, d'âge jurassique à crétacé, formant les Causses ;

- des calcaires du Crétacé, du Jurassique et du Trias alpin, principalement dans les Alpes. Dans le domaine préalpin, les principales formations exploitables sont : les barres calcaires du Jurassique supérieur (Tithonique) et du Crétacé inférieur (Urgonien) ainsi que le calcaire gréseux du Crétacé supérieur. Dans le domaine interne, la barre calcaire du Trias constitue la ressource la plus évidente.

En Corse, la ressource en calcaire est représentée par des marbres et calcaires marmoréens du Jurassique supérieur ;

- des calcaires massifs du Trias (Muschelkalk). Les principaux faciès correspondent aux couches à Cératites (alternances de bancs de calcaires durs, bréchiques et de lits marneux) ainsi qu'aux couches à entroques (calcaires compacts, durs, en bancs épais). Les zones d'affleurement correspondent à l'est du bassin de Paris, de la région sarro-lorraine au nord de la Franche-Comté. L'épaisseur du calcaire à Cératites peut atteindre 50 m, alors que celle du calcaire à entroques n'est que de l'ordre de 6 à 10 m ;
- des calcaires d'âge primaire du Boulonnais et des Ardennes. D'âge givétien (Dévonien moyen) ou viséen (Carbonifère inférieur), ces calcaires représentent une ressource très importante exploitée depuis fort longtemps. Il s'agit de calcaires massifs, durs (Los Angeles variant de 18 à 26, Micro-Deval humide variant de 10 à 40) parfois marmoréens. Dans le Boulonnais, l'épaisseur des calcaires est importante (ceux d'âge viséen pouvant dépasser 250 m de puissance, ceux d'âge givétien pouvant atteindre 140 m). Dans l'Avesnois, les puissances sont moindres (de 10 à 60 m pour les calcaires d'âge viséen). L'ensemble de ces calcaires peut se trouver à l'affleurement ou sous un recouvrement argilo-sablo-limoneux dont l'épaisseur peut varier de 5 à 20 m ;
- des calcaires dévoniens des Pyrénées et de la Montagne-Noire. Il s'agit de calcaires massifs, localement transformés en marbres ;
- des grès et quartzites du Dévonien ardennais. D'âge famennien (Dévonien supérieur), les quartzites de l'Avesnois sont des roches très dures (Los Angeles de l'ordre de 12, Micro-Deval humide d'environ 14) présentant un fort pendage ce qui pénalise les hauteurs d'exploitation possibles (l'épaisseur maximale de couches de quartzites peut atteindre 110 m). Différents niveaux gréseux existent dans les Ardennes, associant fréquemment grès et schistes. Seuls les grès d'Anor et de Vireux, d'âge siégénien-emsien (Dévonien inférieur), semblent pouvoir présenter un intérêt dans le cadre de cette étude. Il s'agit de grès gris à vert clair, disposés en gros bancs, parfois lités, à rares intercalations de schistes noirs compacts (sous forme de lentilles ou de lits) et affleurant dans le sud du département du Nord, de part et d'autre de la vallée de l'Oise ainsi que dans le nord des Ardennes. L'épaisseur de cette assise peut atteindre 450 m ;

- des grès et conglomérats d'âge précambrien à primaire. Ces formations concernent le Massif armoricain et sont principalement représentées par le Grès armoricain d'âge ordovicien inférieur. Il s'agit de grès massifs, d'épaisseur très importante (en moyenne 150 m mais pouvant atteindre 300 m). D'autres formations gréseuses et conglomératiques, massives et puissantes, d'âge cambrien, affleurent en Normandie : grès de Sainte-Suzanne, poudingues, arkoses,... Les formations d'âge précambrien (Briovérien) sont représentées par des grès. Dans le Massif central, la série sédimentaire primaire renferme des faciès gréseux (Montagne-Noire, monts de Lacaune). Les quartzites des Alpes et de Provence sont d'âge triasique (barre werfénienne du Trias inférieur) ;
- des roches volcaniques d'âge précambrien à primaire : microgranites, gabbros, basaltes, dolérites, rhyolites et tufs volcaniques. Ces formations se retrouvent, au niveau du Massif armoricain, de la Vendée, de la région de Cholet, des Vosges, en Corse, dans les Alpes, en Provence et dans les Pyrénées.

En ce qui concerne le Massif armoricain, on trouve des basaltes, dolérites, rhyolites, tufs volcaniques, ignimbrites et microgranites en Bretagne centrale et nord, en Normandie et dans le Cotentin. Un gisement de gabbros de très bonne qualité a été identifié au nord de Morlaix.

En Vendée, il s'agit principalement de roches acides (rhyolites et tufs rhyolitiques), dans la partie ouest, de basaltes (basaltes de la Meilleraie) et de roches acides (ignimbrites de la Châtaigneraie) dans le Haut Bocage vendéen.

Dans la région de Cholet, ces formations correspondent à des rhyolites et microgranites.

En ce qui concerne les Vosges, il s'agit de roches d'âge dévonien ou carbonifère (Primaire), affleurant aussi bien dans le Nord que dans le Sud et comprenant des basaltes, des andésites, des rhyolites, des tufs, des dolérites,...

En Corse, la ressource est essentiellement représentée par des rhyolites, des granites, des diorites et gabbros. Dans les Alpes, la partie orientale de la chaîne est constituée de roches basiques (basaltes, amphibolites,...). En Provence, la principale ressource est représentée par des rhyolites, granophyres et microgranites. Au niveau des Pyrénées, les ressources sont liées au volcanisme primaire et aux intrusions doléritiques triasiques. Elles sont représentées par des andésites et des dolérites ;

- des cornéennes (roches métamorphiques du métamorphisme de contact des granitoïdes). Ce sont des roches très dures, à patine et à cassure d'aspect corné. Le principal gisement est situé en Normandie, à la périphérie de massifs granitiques d'âge précambrien (région de Dinan - Vire et Le Mans). Les granites d'âge primaire ont moins développé ce type d'auréoles de métamorphisme ;
- des roches du métamorphisme régional : gneiss fins, amphibolites, migmatites, éclo-gites et mylonites. Pour la moitié nord de la France, ces formations concernent le Massif armoricain, en particulier le long de la côte joignant Quimper à Nantes, dans la région de Saint-Brieuc et le Pays de Léon. D'âge précambrien à primaire, ces roches sont constituées de gneiss à grains fins, de mylonites, de migmatites,... Dans la région de Saint-Brieuc, les terrains, d'âge précambrien, sont principalement des amphibolites

passant localement à des gneiss fins. Dans la région de Morlaix, on retrouve des amphibolites mais d'âge primaire. Au Pays de Léon, les roches exploitables sont surtout des gneiss fins et des mylonites. Le long de l'axe Quimper-Nantes on peut observer différentes variétés de roches : éclogites, mylonites, gneiss fins,...

Pour la moitié sud de la France, ces formations se retrouvent dans les Alpes et en Provence (leptynites, amphibolites et diabases), dans les Pyrénées (gneiss) ainsi que dans le Jura (gneiss et granites au niveau du massif de la Serre) ;

3. Sélection des formations susceptibles de receler des nouveaux matériaux de substitution

En comparant les résultats obtenus à partir des deux axes de recherches précédemment étudiés, on constate une très grande cohérence dans les formations géologiques susceptibles de fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires. Les documents de la Taxe Parafiscale sur les Granulats, au niveau régional, donnent toutefois des indications géographiquement plus précises alors que ces mêmes documents, au niveau national ainsi que les documents Materloc abordent les traitements possibles en vue d'une valorisation. Certains des matériaux précédemment cités ont été ou sont toujours exploités pour la production de granulats : calcaire du Boulonnais ou de l'Avesnois, fluvio-glaciaire des Vosges...

Par grandes régions géographiques, les principales formations géologiques susceptibles de fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires sont :

• *région nord*

- les calcaires primaires (viséens et givétiens) du Boulonnais et de l'Avesnois ;
- les quartzites de l'Avesnois du Dinantien supérieur (Famennien) et les grès d'Anor du Dinantien inférieur (Siegénien) ;
- les dolomies du Boulonnais ;
- les sables albo-aptiens, landéniens et flandriens moyens ;
- les silex contenus dans les anciens cordons littoraux.

• *région ouest (Bretagne, Normandie, Pays-de-la-Loire)*

- le Grès armoricain de l'Ordovicien inférieur ;
- les grès et conglomérats du Cambrien ;
- les grès du Briovérien (Précambrien) ;
- les roches volcaniques du Précambrien et du Primaire : microgranites, gabbros, basaltes, ... ;
- les cornéennes de la région Dinan-Vire-Le Mans ;
- les roches du métamorphisme régional : gneiss fins, amphibolites, ... ;
- les sables et graviers pliocènes situés au sud-ouest de Nantes (lac de Grand-Lieu) ;
- les sables et graviers triasiques du nord du département de la Manche.

• *région est (Lorraine, Alsace, Jura, Bourgogne)*

- les formations fluvio-glaciaires ;
- les sables pliocènes de Bresse ;
- les calcaires massifs du Jurassique moyen au Crétacé (Jura) ;
- les calcaires massifs du Trias lorrain (Muschelkalk) ;

- les sables d'altération de roches massives : grès du Buntsandstein (Trias), granites,....;
- les roches volcaniques des Vosges : basaltes, andésites,...
- les gneiss et granites liés au métamorphisme régional dans le Jura.

• *région du bassin de Paris*

- les argiles et biefs à silex (principalement en Haute-Normandie, Picardie et Centre) ;
- les formations à chailles dans le sud du bassin de Paris ;
- les faluns de Touraine du Miocène ;
- les sables fins de Fontainebleau et de Beauchamp ;
- les sables éocènes et pliocènes du département du Maine-et-Loire ;
- le calcaire de Beauce (Oligocène supérieur) ;
- les calcaires de Champigny et de Château-Landon (Eocène supérieur) ;
- le calcaire grossier, au nord de Paris (Eocène moyen) ;
- les calcaires lacustres d'Anjou et Sarthe, de Touraine et du Berry (Eocène supérieur à Oligocène) dans le sud du bassin de Paris ;
- les sables crétacés du Wealdien, de l'Albien et du Sénonien ;
- les calcaires du Jurassique et du Crétacé affleurant sur le pourtour du bassin de Paris et dont les plus connus sont le Comblanchien (Bathonien) et la Dalle Nacrée (Callovien).

• *région centre*

- les formations glaciaires et limno-glaciaires du Cantal ;
- les sables anciens, déposés au Miocène, dans la partie occidentale du département de la Haute-Vienne ;
- les formations volcaniques meubles comprenant des pouzzolanes, des ponces,.... (Massif central - Chaîne des Puys) ;
- les basaltes et basanites récents (Massif central) ;
- les sables oligocènes du secteur de Nieudan (Cantal) ;
- les grès primaires du Massif central.

• *région sud-ouest (Bassin aquitain, Pyrénées)*

- les calcaires tertiaires comprenant :
 - . des calcaires massifs (au niveau de la Montagne-Noire) ;
 - . des calcaires à Miliolites (sud du Bassin aquitain et Montagne-Noire) ;
 - . calcaires massifs (sud de la Garonne) ;
 - . des calcaires à Astéries (Garonne, Lot et Dordogne).
- les sables du Coniacien inférieur et du Cénomaniens (Charentes) ;
- les calcaires du Jurassique et du Crétacé de la bordure nord du Bassin aquitain ;
- les calcaires massifs du Jurassique et du Crétacé des Causses ;
- les calcaires massifs dévoniens des Pyrénées et de la Montagne-Noire ;
- les roches volcaniques d'âge précambrien à primaire des Pyrénées : andésites, dolérites ;

- les rhyolites, tufs rhyolitiques et basaltes de Vendée (basaltes de la Meilleraie), les ignimbrites dans le Haut Bocage vendéen ;
- les gneiss liés au métamorphisme régional dans les Pyrénées.

• ***région sud-est (Alpes, Provence, Languedoc-Roussillon)***

- les basaltes et basanites (Alpes, Provence et région d'Agde) ;
- les calcaires du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur (Préalpes) ;
- les calcaires gréseux du Crétacé supérieur des Préalpes ;
- les calcaires triasiques du domaine interne alpin ;
- les quartzites triasiques des Alpes et de la Provence ;
- les roches volcaniques d'âge précambrien à primaire des Alpes et de la Provence : (basaltes, amphibolites dans les Alpes, rhyolites, microgranites en Provence) ;
- les roches du métamorphisme régional des Alpes et de Provence : leptynites, amphibolites, diabases.

• ***Corse***

- les marbres et calcaires du Jurassique supérieur ;
- les roches volcaniques d'âge précambrien à primaire : rhyolites, granites, diorites et gabbros.

4. Caractéristiques géomécaniques des formations retenues

La substitution aux granulats alluvionnaires n'a de signification que si les matériaux trouvés présentent des caractéristiques géotechniques compatibles avec l'utilisation envisagée. Les données ont été obtenues à partir de recherches bibliographiques, aucune analyse n'ayant été faite dans le cadre de cette étude.

4.1. RAPPEL

Que se soit pour une utilisation dans les bétons ou pour un usage routier, les granulats doivent répondre à certaines normes de qualité.

L'approche des caractéristiques géotechniques des matériaux appartenant à une formation géologique donnée fait référence aux catégories définies par la norme P 18-101 de décembre 1990. Cette norme établit 3 classements comprenant :

- **6 catégories** (A, B, C, D, E et F) en fonction des caractéristiques intrinsèques mesurées par les essais de résistance à la fragmentation (essai Los Angeles) et à l'usure (essai Micro-Deval en présence d'eau : MDE).

L'appartenance à une catégorie nécessite de satisfaire simultanément à 3 conditions :

- à la somme des valeurs de LA et de MDE ;
- aux valeurs de LA et de MDE indiquées dans le tableau ci-dessous.

Catégories	LA + MDE	LA	MDE
A	< ou = 25	< ou = 20	< ou = 15
B	< ou = 35	< ou = 25	< ou = 20
C	< ou = 45	< ou = 30	< ou = 25
D	< ou = 55	< ou = 35	< ou = 30
E	< ou = 80	< ou = 45	< ou = 45
F	> 80	> 45	> 45

A titre indicatif et en simplifiant, les recommandations généralement imposées par le C.C.T.P. obligent à utiliser des matériaux de catégorie :

- A et B pour l'élaboration de bétons bitumineux ;
- C et D pour l'élaboration de bétons hydrauliques ;
- E pour l'élaboration de couches de forme non traitées et de remblais techniques ;
- F pour les remblais courants et les plates-formes industrielles.

Remarque :

Les 6 classes ci-dessus définies ne correspondent pas exactement aux catégories d'utilisation du SETRA-LCPC :

- catégorie A : matériau utilisable pour toutes couches de chaussées, tout trafic y compris couches de roulement trafic important ;
 - catégorie B : matériau utilisable pour toutes couches de chaussées, sauf couches de roulement trafic important ;
 - catégorie C : matériau utilisable en chaussées, en couches de fondation et de base tout trafic ;
 - catégorie D : pour couches de fondation toutes chaussées et en couches de base pour routes moyennement circulées ;
 - catégorie E : matériau utilisable en couches de chaussées avec ou sans traitement, à définir selon le trafic.
- 4 catégories de gravillons (I, II, III et IV) en fonction des caractéristiques de fabrication

Catégories	Granularité des d/D		A (1)	P	
	Refus à	tamisé $\frac{d+D}{2}$			
I	Conforme au paragraphe 4.2 de la norme P 18-101	1,25 D = 0	≤ 10	$\leq 0,5$	
II		Refus à	compris entre 33 et 66 % étendue maximale du fuseau de régularité :	≤ 15	≤ 1
III			10 % à d et D, 25 % à $\frac{d+D}{2}$	≤ 20	≤ 2
IV		à	tamisé $\frac{d+D}{2}$ compris entre 25 et 75 % étendue maximale du fuseau de régularité :	≤ 30	≤ 3 (2)
		1,58 D = 0	14 % à d et D, 35 % à $\frac{d+D}{2}$ (3)		

(1) Pour les gravillons dont D est inférieur à 10 mm, A est majoré de 5 points.

(2) Une valeur de 5 peut être admise si la valeur de V_{Bta} (essai au bleu de méthylène à la tache P 18-592) est ≤ 1 .

(3) Ne s'applique que si $D \geq 2,5 d$.

A = aplatissement (P 18-560) ; P = propreté superficielle (P 18-591) ; d et D représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions .

- 3 catégories de sables (a, b, et c) de qualité décroissante

Catégories	Granularité des sables et des graves		Ps	V _{Bta} x f (1)
a	Conforme au paragraphe 4.2 de la norme P 18-101	Etendue maximale du fuseau de régularité :	≥ 60	≥ 20
b		- 10 % à D et au tamis de 0,5 mm - 15 % aux tamis intermédiaires (2-4-6,3-8-10-14 et 20)	≥ 50	≥ 25
c		- 4 % à 0,08 mm si f < 12 % - 6 % à 0,08 mm si f ≥ 12 % (2)	≥ 40	≥ 30

(1) Si $V_{Bta} \times f$ est supérieur à la valeur spécifiée, un essai turbimétrique (P 18-595) peut-être effectué

(V_{Btu}). Dans ce cas le produit $V_{Btu} \times f$ doit être inférieur ou égal à la valeur $\frac{V_{Bta} \times f}{2}$ spécifiée.

(2) Ces tolérances ne sont pas applicables pour les bétons hydrauliques de chaussées, seules celles du paragraphe 4.2 de la norme P 18-101 sont à retenir.

Ps = propreté des sables (P 18-597) ; f = teneur en fines du sable 0-2 mm ; V_{Bta} = valeur au bleu de méthylène (P 18-560).

Dans le domaine des bétons hydrauliques, les caractéristiques géomécaniques imposées aux granulats sont précisées dans la norme P 18-541 de mai 1994.

4.2. CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES DES PRINCIPALES FORMATIONS GÉOLOGIQUES RETENUES

La recherche de données générales sur les principales caractéristiques géomécaniques des formations reconnues comme étant aptes à fournir une substitution aux granulats alluvionnaires a débuté en 1997 et devrait être poursuivie en 1998.

Au sein d'une même formation, et pour le même paramètre, les valeurs peuvent être variables. Aussi pour chacun des paramètres recensés, il sera donné une fourchette. Lorsque les données relatives aux granulats alluvionnaires seront disponibles, nous les indiquerons afin de pouvoir juger de la qualité relative des formations retenues.

• **Région Basse Normandie**

En région Basse Normandie, les roches dures siliceuses exploitables sont toutes d'âge primaire.

- **Quartzites**

Ces quartzites correspondent aux Grès armoricains.

Leurs caractéristiques physiques et mécaniques apparaissent généralement bonnes à très bonnes selon les échantillons.

- . $2,56 \leq \gamma_d \leq 2,65$ - moyenne 2,61
- . porosité faible $< 1 \%$
- . $17 \leq \text{Deval sec} \leq 30$ - moyenne = 25 (sur 50 mesures environ)²
- . $13 \leq \text{Deval humide} \leq 30$ - moyenne = 20 (sur 50 mesures environ)
- . $4\ 140 \text{ m/s} \leq \text{VI} \leq 5\ 130 \text{ m/s}$ - moyenne = 4 200 m/s
- . $1\ 230 \text{ bars} \leq \text{Rc} \leq 4\ 620 \text{ bars}$
- . $0,47 \leq \text{CPA} \leq 0,64$ - moyenne = 0,53 (sur 8 mesures)

• fragmentation dynamique

- . fraction 4/6,3 : $17,3 \leq \text{FD} \leq 20,6$
- . fraction 6,3/10 : $13,1 \leq \text{FD} \leq 15,4$
- . fraction 10/14 : $13,4 \leq \text{FD} \leq 17$

• essai Los Angeles

- . fraction 4/6,3 : $17 \leq \text{LA} \leq 20,6$
- . fraction 6,3/10 : $13,1 \leq \text{LA} \leq 16,6$
- . fraction 10/14 : $13,4 \leq \text{LA} \leq 17,1$

- **Grès feldspathiques**

Il s'agit de grès grossiers, du Cambrien terminal, disposés en bancs d'épaisseur moyenne de 0,50 à 1 m, de caractéristiques mécaniques inférieures à celles des quartzites.

- . $2,51 \leq \gamma_d \leq 2,62$ - moyenne = 2,60
- . $3\ 700 \text{ m/s} \leq \text{VI} \leq 5\ 400 \text{ m/s}$
- . $9,5 \leq \text{Deval sec} \leq 23$ - moyenne 17 (11 mesures)
- . $2,5 \leq \text{Deval humide} \leq 12$ - moyenne = 7
- . fraction 4/6,3 : $17,5 \leq \text{LA} \leq 21$
- . fraction 6,3/10 : $15 \leq \text{LA} \leq 21$
- . fraction 10/14 : $14 \leq \text{LA} \leq 23$

² Pour mémoire : $\text{MD} \cong \frac{80}{D}$

Ces caractéristiques sont suffisantes pour certaines utilisations en chaussées (pour les couches de chaussées non traitées, pourra se poser le problème de l'altérabilité potentielle de ces grès feldspathiques, en liaison avec la présence de feldspaths).

- Poudingues

D'âge cambrien, ces poudingues sont constitués de gros galets roulés cimentés entre eux constituant ainsi une roche très dure.

- . $\gamma_d = 2,65$
- . $V_l = 4\ 360\text{ m/s}$
- . Deval sec = 14,9
- . Deval humide = 7,8

- Grès de May-sur-Orne

Ils constituent des bancs très durs, aux caractéristiques mécaniques bonnes à très bonnes. Malheureusement, ils sont le plus souvent intercalés de bancs de schistes, de schistes graphiteux ou de psammites.

- Schistes et grès du Cambrien

Dans la série cambrienne, on trouve des ensembles de grès, en bancs d'épaisseur variable, parfois durs.

- . $2,44 \leq \gamma_d \leq 2,73$
- . $V_l \leq 4\ 300\text{ m/s}$
- . $10,4 \leq \text{Deval sec} \leq 15,6$
- . $3,8 \leq \text{Deval humide} \leq 7$

- Calcaires d'âge secondaire

Les formations secondaires, de nature essentiellement marneuses et/ou calcaires, présentent, le plus souvent, des caractéristiques mécaniques insuffisantes pour une utilisation en granulats pour béton ou pour couches de chaussée. Elles ne sont exploitées que pour la construction de remblais, pour la fabrication du ciment, comme pierre de taille ou pour la sidérurgie. Toutefois ces formations pourraient être utilisées dans la formulation de certaines techniques routières (apport de sables fillérisés).

Au sud du massif d'Ecouvres affleurent des calcaires lithographiques bathoniens, d'environ 10 m de puissance.

- . $\gamma_d = 2,66$
- . $LA = 25$
- . Deval humide = 4

- Calcaires d'âge primaire

Trois gisements semblent présenter des caractéristiques mécaniques intéressantes :

. le calcaire antécambrien de la Meauffe

Il s'agit d'un calcaire bleu-noir, massif, parcouru de fissures remplies de cristallisations de calcite, affleurant en bordure sud-est de la dépression de Carentan et intercalé dans les schistes de Saint-Lô. Les caractéristiques mécaniques de ce calcaire permettent de le classer parmi les calcaires les plus durs utilisés pour la fabrication de granulats :

- . $\gamma_d = 2,69$
- . $V_l = 5\,600 \text{ m/s}$
- . $9,6 \leq \text{Deval sec} \leq 15,9$
- . $3,7 \leq \text{Deval humide} \leq 4,3$

. le calcaire cambrien ("marbre") de Laize

Il s'agit d'un calcaire dur, cristallin, de teinte rose, très dense du fait de sa teneur en MgCO_3 .

- . $\gamma_d = 2,77$

. le calcaire dévonien de Néhou

Il s'agit d'un calcaire brun noir, sublithographique dont le gisement est situé dans la partie centrale du Cotentin.

- . $\gamma_d = 2,51$

- Roches schisteuses

Ce sont les roches dominantes des séries primaires et précambriennes. On y distingue :

. les schistes briovériens non métamorphiques

Ces roches, de teinte bleu-noir, sont caractérisées par une grande hétérogénéité. Leurs caractéristiques mécaniques moyennes sont les suivantes :

- . $2,63 < \gamma_d < 2,72$
- . $3\,940 \text{ m/s} < V_l < 5\,378 \text{ m/s}$
- . $8,5 < \text{Deval sec} < 19$
- . $4 < \text{Deval humide} < 15$

Ils peuvent constituer un matériau de qualité moyenne utilisable dans les couches de chaussées traitées.

. les schistes métamorphiques

Ils résultent de la transformation des schistes briovériens au contact de massifs granitiques intrusifs. Suivant le degré de métamorphisme, on y distingue :

. les schistes tachetés

Ils n'ont subi qu'une transformation partielle et ont conservé leur litage d'origine. Les tâches noires sont de l'andalousite ou de la cordiérite.

- . $2,68 < \gamma_d < 2,73$
- . $4\ 400\ \text{m/s} < V_I < 5\ 040\ \text{m/s}$
- . $15 < \text{Deval sec} < 24$
- . $4 < \text{Deval humide} < 16$

Leurs caractéristiques mécaniques sont peu différentes de celles des schistes non métamorphiques.

. les cornéennes

Ce sont des roches entièrement recristallisées, dures, compactes. Leurs caractéristiques mécaniques sont très élevées et les classent en granulats haute performance :

- . $LA < 10$
- . $\text{Deval humide} > 6$
- . $\gamma_d > 2,72$

- Roches éruptives

Elles sont très répandues en Basse Normandie. On y distingue les roches éruptives volcaniques et les roches éruptives plutoniques.

. roches éruptives volcaniques

De tels gisements sont connus dans la région d'Alençon et dans le Cotentin. Aucune caractéristique mécanique n'a pu être trouvée.

. roches volcaniques plutoniques

Elles comprennent différents types de roches :

. les granites (Barfleur, Auderville, Flamanville, Vire et Athis)

Il s'agit de granite à grain grossier, à deux micas. Compte-tenu de leur texture grenue, il ne semble pas que l'on puisse les utiliser autrement qu'en couches de chaussées traitées

dans des zones peu riches en matériaux. Les caractéristiques mécaniques du granite de Flamanville sont les suivantes :

- . $\gamma_d = 2,67$
- . Deval sec = 11,9
- . Deval humide = 7
- . LA = 25,9
- . CPA = 0,48

. la diorite de Coutances

Il s'agit d'une roche à très gros cristaux ne permettant pas d'espérer des caractéristiques mécaniques élevées.

. la granulite d'Alençon

Le problème est le même que pour les granites.

• *Région Champagne*

Les renseignements collectés concernent les calcaires jurassiques du Bassin parisien.

Commune	Niveau exploité	LA	MDS	MDE	% carbonate
Baroville	Séquanien	22 - 28		18 à 24	98
Champignol-les-Mondeville	Séquanien	22 - 25	5	19 - 20	98
Fontaine	Séquanien	25		20	98
Jully-sur-Sarce	Portlandien	25 - 30		25 - 30	98
Magnant	Portlandien	≅ 25		≅ 20	98
Puits et Nuisement	Portlandien	≅ 25		≅ 20	98
Virey-sous-Bar	Portlandien	25 - 30		25 - 30	

Les granulométries produites 0/20 - 0/31,5 - 0/50 - 0/6 - 6/20 - 20/40 - 40/70 indiquent une utilisation aussi bien dans le domaine routier que dans celui des bétons hydrauliques.

• *Région Franche-Comté*

Les caractéristiques des formations retenues concernent les coefficients Los Angeles (LA), les coefficient Micro-Deval en présence d'eau (MDE) et le coefficient de polissage accéléré (CPA). Ces valeurs ont été obtenues par départements.

Département du Doubs

Formation	Nature	LA	MDE	CPA	Catégorie d'utilisation (SETRA-LCPC)
Roches meubles					
. Alluvions récentes					
Savoreuse	siliceuse	16 à 20	11 à 27	0,57	A
Ognon	siliceuse	15 à 18	11 à 16	0,58	B
Doubs	silico-calcaire	17 à 25	10 à 15	0,42	B, C
Loue	calcaire				
. Fluvio-glaciaire (secteur de Pontarlier)	calcaire	22 à 26	11 à 19		C
Roches massives					
. Jurassique moyen					
. bathonien (secteur Besançon et premier plateau)	calcaire dur	20 à 25	13 à 30		C
. Bajocien - Bathonien (bordure sud Ognon)	calcaire dur à moyen	24 à 29	20 à 35		C ou D
. Jurassique supérieur					
. "Rauracien - Séquanien" (secteur Montbéliard)	calcaire hétérogène, moyen à tendre	25 à 40	20 à 35		C, D ou E
. Kimmeridgien - Portlandien (Haut-Doubs)	calcaire dur à moyen	22 à 26	15 à 18		C

Département du Jura

Formation	Nature	LA	MDE	CPA	Catégorie d'utilisation (SETRA-LCPC)
Roches meubles					
. Alluvions récentes					
Ognon	siliceuse	15 à 18	11 à 16	0,58	B
Doubs	silico-calcaire	17 à 25	10 à 20	0,42 à 0,53	B à C
Loue	silico-calcaire	17 à 25	10 à 20	0,42 à 0,53	B à C
Seille	silico-calcaire	17 à 25	10 à 20	0,42 à 0,53	B à C
Orain	siliceuse	(22)	(10)		C
. Fluvio-glaciaire	calcaire	21 à 26	11 à 19		C
. Plioquaternaire	siliceuse	15 à 22	11 à 18		B à C
Roches massives					
. Socle (éruptif)	siliceuse	15	10	0,59 à 0,60	A
. Bathonien	calcaire dur	20 à 26	12 à 20		C
. Kimméridgien	calcaire dur	20 à 26	12 à 20		C
. Portlandien	calcaire dur	20 à 26	12 à 20		C
. Bajocien	calcaire moyen	25 à 30	20 à 25		C à D

Département du Territoire de Belfort

Formation	Nature	LA	MDE	CPA	Catégorie d'utilisation (SETRA-LCPC)
Roches meubles					
. Alluvions récentes Savoureuse	dominante siliceuse	16 à 20	11 à 27	0,57	B
Roches massives calcaires					
. Jurassique moyen Bathonien - Bajocien	calcaire dur à moyen	22 à 30	18 à 25		C ou D
. Jurassique supérieur "Rauracien - Séquanien"	calcaire hétérogène moyen à tendre gélivité : 10 à 30	25 à 40	16 à 45		C, D ou E
Roches massives éruptives					
Rhyodacites (porphyres) Viséen supérieur	siliceuse dure et résistante	14 à 15	6 à 8	0,51 à 0,54	A

Département de Haute-Saône

Formation	Nature	LA	MDE	Catégorie d'utilisation (SETRA-LCPC)
Roches meubles				
. Alluvions récentes				
Saône	siliceuse	16 à 21	12 à 20	C
Lanterne	siliceuse	22 à 28	13 à 25	C
Semouse	siliceuse	22 à 28	11 à 15	C
Ognon	siliceuse	15 à 18	11 à 16	B
Rahin	siliceuse	15 à 18	12 à 17	B
. Alluvions anciennes, glaciaires, fluvio-glaciaires	siliceuse, plus ou moins argileuse			remblais courants
Roches massives				
. Bathonien	calcaire dur	21 à 27	12 à 20	C
. Bajocien, Rauracien, Muschelkalk supérieur	calcaire dur à moyen	25 à 30	15 à 30	C ou D
. Jurassique supérieur ("Séquanien", Kimméridgien)	calcaire hétérogène, moyen à tendre	23 à 40	20 à 35	C, D ou E
. Massif de Chagey	siliceuse, moyen. dure	13 à 15	18 à 25	C

• Région Ile-de-France

- chailles

La granulométrie ainsi que la teneur en argiles des différents gisements de chailles de la région Ile-de-France sont très différentes d'un endroit à un autre. A titre d'exemple, deux séries d'analyses réalisées sur du tout-venant en provenance de deux carrières différentes (Seine-et-Marne et Yonne) ont donné les résultats suivants :

Site	Granulométrie	Teneur en argile	LA*	MDE*
Seine-et-Marne	40 à 65 % > 20 mm	sable argileux à très argileux	21 - 22	3 - 5
Yonne	40 % > 20 mm	sables moins argileux	18 - 23	10 - 21

* sur matériau propre

En première approximation, et en prenant l'exemple des chailles de Seine-et-Marne (carrière de Saint-Ange-le-Vieil), les sables 0/4 mm issus du traitement des chailles (25 %) appartiennent à la catégorie a, alors que les gravillons 4/20 mm (75 %) peuvent être rangés en BIII à BIV.

Les gravillons et sables obtenus peuvent être utilisés, en mélange avec d'autres matériaux (sables alluvionnaires, sables fins,...) pour la préparation de bétons hydrauliques (attention toutefois aux problèmes d'alcali-réaction ainsi qu'au couple granulats/ciment-adjuvants). Dans le domaine routier, ils peuvent servir à recomposer des graves 0/20 mm, ou encore, intervenir pour partie, en tant que correcteurs d'angularité.

- les calcaires de Champigny et de Château-Landon

Au niveau de leurs caractéristiques intrinsèques, on peut distinguer deux zones pour ce qui est des calcaires de Champigny : la première au nord-ouest de Provins, la seconde située entre Montereau et Nemours. Les caractéristiques intrinsèques moyennes de ces calcaires sont les suivantes :

Horizon géologique	Catégories
Champigny (zone 1)	E, voire D (1)
Champigny (zone 2)	F (2)
Château-Landon	E

(1) Pour cet horizon, la catégorie D peut-être atteinte par des dispositions particulières et exploitation sélective d'un banc dur.

(2) Pour cet horizon, la catégorie F est bornée par les valeurs supérieures suivantes :

- . 75 % pour le MDE,
- . 50 % pour la LA.

Ce calcaire présente une porosité $n \leq 10 \%$.

Pour ce qui est des catégories liées aux caractéristiques de fabrication, elles peuvent être qualifiées de la manière suivante :

- catégories II à III pour les gravillons ;
- catégories b à c pour les sables et certaines graves.

Ces matériaux calcaires ont déjà été utilisés pour :

- les remblais routiers et de tranchées ;
- les couches de forme ;
- les systèmes de drainage ;
- les assises de chaussées (graves traitées aux liants hydrauliques, graves non traitées correction de matériaux) ;
- la confection des asphaltes et enrobés.

De façon plus précise les caractéristiques mécaniques du calcaire de Champigny, mesurées sur des échantillons en provenance de carrières ouvertes pour l'autoroute A5, sont les suivantes :

	LA	MDE
Carrière du Four à Chaux	30 à 39 (moy. = 35)	29 à 64 (moy. = 49)
Carrière de la Briqueterie	31 à 38 (moy. = 35)	28 à 83 (moy. = 55)

Il s'agit donc d'un calcaire moyennement dur mais très sensible à l'attrition. Selon la norme P 18-101, il se classe en catégorie F, la somme LA + MDE étant égale à 87 au minimum, il est donc très difficilement admis au titre de granulats routiers, à moins de le traiter aux liants hydrauliques.

• **Région Languedoc-Roussillon**

Les valeurs relatives aux caractéristiques géomécaniques des différentes formations géologiques retenues sont résumées dans le tableau ci-dessous :

	MDE	LA	CPA
Sables et graviers Alluvions récentes	15 à 20	15 à 25	0,43
Sables et graviers Alluvions anciennes	10 à 15	21 à 24	
Calcaire jurassique	12 à 28	15 à 28	
Calcaire crétacé	15 à 25	15 à 22	
Basalte	9 à 14	18 à 27	
Grès, quartzite	15 à 25	11 à 22	0,53 à 0,59

MDE : coefficient Micro-Deval en eau ; LA : coefficient Los Angeles ; CPA : coefficient de polissage accéléré.

• **Région Lorraine**

- **Calcaires du Jurassique supérieur**

Il s'agit essentiellement des formations calcaires du Portlandien dont certains faciès présentent des caractéristiques mécaniques intéressantes, qui permettent de les classer en C ou D.

Rappel

Catégorie	LA	MDE	LA + MDE
C	< ou = 30	< ou = 25	< ou = 45
D	< ou = 35	< ou = 30	< ou = 55

- C et D pour l'élaboration de bétons hydrauliques.

Ces calcaires pourraient être utilisés pour la voirie (couches de base, couches de fondation traitées, pistes et chemins ruraux) ainsi que pour les bétons de chaussées, et sous certaines conditions pour les bétons d'ouvrage d'art.

- Calcaires du Jurassique moyen

Les calcaires bajociens-bathoniens et oxfordiens (argovo-rauraciens et séquanien) sont souvent gélifs, donc de médiocre qualité et ne sont utilisés que pour les couches de forme traitées et comme remblai.

La formation des calcaires à polypiers du Bajocien moyen est exploitée en vue d'une utilisation comme granulats lors de l'élaboration de bétons hydrauliques (carrière d'Attigneville 88). Les propriétés physiques et mécaniques de ces granulats calcaires, 0/6 et 6/20 mm, sont les suivantes :

- coefficient d'absorption (Ab)	=	2 à 3 %
- porosité mesurée (n)	=	5 à 6 %
- équivalent de sable piston (ESP)	=	mini 63
- valeur au bleu de méthylène (Vb)	=	0,47
- essai Los Angeles (LA)	=	23
- essai Micro Deval (MDE)	=	19
- friabilité des sables (FS)	=	44

D'âge oxfordien, les calcaires bioclastiques à entroques ("entroquite d'Euville") exploités dans la Meuse montrent de mauvaises caractéristiques mécaniques : LA de 58 à 80 % et MDE de 74 à 84 %.

- Calcaires sableux du Lotharingien inférieur et moyen

Ces calcaires étaient jadis utilisés comme matériau de construction et de réfection des routes, en l'absence de tout autre matériau à proximité des centres de consommation.

• *Région Nord-Pas-de-Calais*

- **Calcaires primaires du Boulonnais et des Ardennes**

. LA	:	18 à 26
. MDE	:	10 à 40

- **Grès et quartzites du Dévonien ardennais**

. LA	:	≅ 12
. MDE	:	≅ 14

• *Région Pays-de-la-Loire*

- **Roches éruptives volcaniques**

Il s'agit d'une formation volcano-sédimentaire, d'âge cambrien, de type rhyolitique, de 200 à 300 m de puissance (gisement de Voutré). Elle comprend différents types de matériaux :

. des brèches

Ce sont des roches formées par des débris anguleux de matière volcanique cimentés dans un coulis de même nature. La puissance de cette formation est de l'ordre de 80 m.

. $2,62 < \gamma_d < 2,68$
. $4\ 900\ \text{m/s} < V_l < 5\ 500\ \text{m/s}$
. $21 < \text{Deval sec} < 27$ (moyenne = 24)
. $20 < \text{Deval humide} < 23$
. $10,9 < LA < 15,1$

. des cinérites

Ces roches sont constituées de cendres volcaniques sédimentées dans l'eau, puis consolidées (la taille des grains varie de la taille microlithique à quelques millimètres).

. $2,67 < \gamma_d < 2,77$
. $4\ 370\ \text{m/s} < V_l < 5\ 500\ \text{m/s}$
. $11 < \text{Deval sec} < 25,6$
. $4 < \text{Deval humide} < 21$
. $11,6 < LA < 25$

. des poudingues

Ils sont constitués de gros blocs roulés de roche volcanique cimentés par la même matière.

• *Région Picardie*

- **Calcaires du Portlandien inférieur du Pays-de-Bray**

Il s'agit d'un calcaire lithographique, à pâte fine, beige clair, très dur, se présentant en petits bancs de 0,10 m à 0,30 m séparés par des interlits marneux centimétriques. Les caractéristiques mécaniques du faciès calcaire sont bonnes et permettent une utilisation en couches de fondation de chaussée en graves traitées aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés ainsi que pour les bétons hydrauliques de qualité courante (bâtiment et ouvrages d'art).

. Densité sèche	: 2,45 à 2,60
. Porosité %	: 2,78 à 9,22
. Absorption d'eau %	: 1,60 à 4,40
. LA	: 23 à 32,8
. Fragmentation dynamique	: 29,2 à 40,3
. MDE	: 16 à 58

• *Région Provence - Alpes - Côte d'Azur*

Les caractéristiques géomécaniques des formations retenues comme ressources potentielles aux granulats alluvionnaires seront données par département :

Alpes-de-Haute-Provence

Les seules informations dont nous disposons dans ce département concernent les alluvions de la Durance. Celles-ci sont constituées de galets (en majorité < 0,20 m), de graviers et de sables. Plusieurs sondages, ayant atteint le substratum, permettent d'en estimer la puissance (3 m à la Saulce).

Les caractéristiques géomécaniques sont :

- LA	: 17-18
- MDE	: 11-12

Hautes-Alpes

- Alluvions du Petit-Buech et Grand-Buech

Ces alluvions de nature silico-calcaire, ont les caractéristiques mécaniques suivantes :

- LA : 15 à 23
- MDE : 12 à 17
- CPA : 0,44 à 0,52

Elles sont actuellement utilisées pour les bétons hydrauliques (sous forme roulée) et, après concassage, pour les enduits superficiels et enrobés mais uniquement pour les routes départementales peu circulées ainsi que sous la granulométrie 0/31,5 mm pour les couches de fondation.

- Alluvions de la Durance

De nature également silico-calcaire, ces alluvions sablo-graveleuses proviennent soit de terrasses, soit de cônes de déjection soit encore du lit majeur.

Leurs caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

- LA : 12,5 à 21
- MDE : 8 à 25 (mais le plus souvent < à 15)
- CPA : 0,50 à 0,57

Les utilisations sont les mêmes que pour les alluvions du Buech (bétons hydrauliques, couches de fondation, enduits superficiels et enrobés pour routes départementales,...). L'épaisseur de ces alluvions est variable, mais elle peut être importante (environ 37 m à Briançon, de l'ordre de 20 à 25 m pour les cônes de déjection

- Alluvions du Drac

Les caractéristiques mécaniques de ces alluvions sont les suivantes :

- LA : 18 à 23
- MDE : 12 à 16
- CPA : 0,49 à 0,54

Les utilisations actuelles concernent les bétons hydrauliques (sous la forme roulée), les couches de fondation (0/31,5 mm) ainsi que les enduits superficiels pour routes départementales (sous la forme concassée).

- Alluvions diverses

Quelques données relatives à d'autres cours d'eau ont également été rassemblées. Elles sont données, pour information ci-après :

- Rabioux : LA de l'ordre de 23
MDE de l'ordre de 10
utilisation actuelle en tout-venant, pour couches de forme (0/80 mm) ou couches de fondation (0/31,5 mm) ;
- Palps : LA de l'ordre de 15
MDE de l'ordre de 10
utilisation actuelle en tout-venant, pour couches de forme (0/80 mm) ou couches de fondation (0/31,5 mm) ;
- Boscodon : LA de l'ordre de 24-26
MDE de l'ordre de 26-27
CPA de l'ordre de 0,50
utilisation actuelle sous la forme 0/31,5 mm pour les routes départementales uniquement
- Severaissette : LA de l'ordre de 17
MDE de l'ordre de 10
matériaux présentant de bonnes qualités pour couches de chaussées et pour bétons.

- Calcaires du Jurassique et du Crétacé supérieur (région de Montmaur)

Ces formations sont actuellement exploitées au sein du massif de Vène. Le calcaire est très légèrement argileux (5 %), de teinte gris-bleu, localement altéré et de teinte jaune. Il se présente en bancs peu épais, de 0,1 à 0,5 m, sans intercalation argileuse ou marneuse. L'ensemble présente une hétérogénéité de faciès assez importante, même à l'intérieur d'un banc. Quatre zones ont pu y être différenciées, de la surface vers l'intérieur du massif :

- un niveau calcaire de couleur grise, de 7 m de puissance environ

- . LA : 14 à 25
- . MDS : 3,2 à 4,2
- . MDE : 11 à 15
- . CPA : 0,46 à 0,47

- un niveau très gréseux, épais de 15 m environ ;

- un niveau calcaire de couleur gris-bleu, de 22 -23 m d'épaisseur

- . LA : 13 à 17
- . MDS : 3,4 à 4
- . MDE : 9 à 15
- . CPA : 0,54

- un calcaire gris clair, dont l'épaisseur n'est pas connue

- . LA : 11 à 15
- . MDS : 3
- . MDE : 6,5
- . CPA : 0,43

Ces matériaux sont actuellement utilisés comme ballast SNCF, pour couches de forme (0/50 mm), pour couches de fondation (0/31,5 mm) ainsi que pour enduits superficiels (routes départementales uniquement) et assises de chaussée.

- Eboulis calcaires (montagne d'Aurouze dans le secteur de Saint-Etienne-en-Dévoluy)

Il s'agit de blocs calcaires de 0/300 mm en moyenne, peu pollués en surface. La puissance de ce gisement est inconnue, mais doit dépasser largement une dizaine de mètres en pied de montagne.

- . LA : 14
- . MDE : 7

- Calcaires triasiques (au sud-est de l'Argentière)

Ces calcaires, de couleur noire, forment une barre et se présentent en bancs d'épaisseur de 0,1 à 0,6 m. Ils sont parcourus par de nombreux filonnets de calcite et sont fortement pollués par de l'argile rouge de décalcification.

- . LA : 23,5 à 24
- . MDE : 13 à 18,5

Ces calcaires sont actuellement utilisés comme enrochements, pour les bétons hydrauliques (en association avec des sables et graviers de la Durance dans la proportion 1/3 massif, 2/3 Durance) ainsi que pour les couches de forme (0/80 mm).

- Quartzites

Ces quartzites, de teinte blanche, se présentant en bancs subhorizontaux centimétriques à décimétriques, sont situés dans le massif de la Roche Baron à Saint-Martin-de-Queyrières.

- . LA : 16,5
- . MDE : 7

Bien que très abrasifs, ces matériaux peuvent être utilisés pour l'élaboration de granulats à hautes performances mécaniques.

- Grès de Champsaur

Ce gisement de grès, de médiocre qualité, affleure au sud du parc des Ecrins.

. LA : 30
. MDE : 21

- Amphibolites

Un gisement d'amphibolites, ayant de très bonnes caractéristiques pour couches de fondation et couches de base existe au niveau de la commune de Saint-Jacques-en-Valgodemard.

. LA : 21
. MDE : 12

Alpes-Maritimes

Aucune information

Bouches-du-Rhône

- Alluvions silico-calcaires de la Durance

Leurs caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

. LA : 12 à 17
. Deval sec : 14 à 17
. Deval humide : 7 à 18
. CPA: : 0,50

- Calcaires du Jurassique supérieur ou Crétacé inférieur

Ces formations affleurent dans le massif de la Nerthe et de l'Etoile au nord, dans le massif d'Allauch et dans les bordures du massif de la Sainte-Baume à l'est et au sud dans celui de Carpiagne. Ils sont actuellement exploités, au niveau du massif de la Nerthe, entre Martigues et Septèmes, pour le bâtiment et les travaux publics, ainsi que pour la préparation de chaux industrielles et chimiques (Châteauneuf-les-Martigues).

Leurs caractéristiques sont les suivantes :

. LA : 20 à 27
. Deval sec : 12 à 17
. Deval humide : 4 à 8
. Rc : 1 000 à 2 000 kg/cm²
. porosité : 0,60 à 1,2 %
. densité apparente : 2,682 (moyenne)

Des calcaires du même âge sont, ou ont été, exploités sur les communes d'Aix, de Fuveau et de Châteauneuf-le-Rouge. Ils servent, après traitement approprié, à la préparation des bétons ou en viabilité sous forme de tout-venant. Leurs caractéristiques sont semblables aux précédentes :

- . LA : 17 à 29
- . Deval sec : 11 (en moyenne)
- . Deval humide : 3 à 5

- Basaltes

Il s'agit de basaltes compacts, très foncé, avec parfois des cristaux d'olivine et nombreux passages scoriacés. Ils ont été exploités comme ressources pour granulats et empierrement. Leurs caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

- . LA : 11
- . Deval sec : 15
- . Deval humide : 5 à 8, parfois 4
- . CPA : 0,60

Var

- Alluvions du Verdon

Pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur sous un recouvrement d'un mètre de limons sableux, ces formations présentent les caractéristiques mécaniques moyennes suivantes :

- . LA : 17 à 18
- . MDE : 9,5
- . CPA : 0,50

- Alluvions du Préconil (Sainte-Maxime)

Ces alluvions ayant servi à la construction du port de Sainte-Maxime, ont les caractéristiques mécaniques suivantes :

- . LA : 23
- . Deval sec : 11
- . Deval humide : 6,6

- Alluvions à l'ouest de Signes

Il s'agit de sables et graviers roulés provenant du colmatage d'un ancien poljé (dépression fermée d'origine karstique, à fond plat ou presque, de quelques kilomètres à dizaines de kilomètres, correspondant le plus souvent à une zone synclinale ou

effondrée par failles). Ils fournissent des tout-venants limono-graveleux utilisés en remblais, mais lavés et concassés, ils deviennent de bons matériaux de construction :

. LA : 24
. MDE : 15,6

- Calcaires du Jurassique supérieur

Les calcaires du Jurassique supérieur sont connus en de nombreux endroits du département :

. région de Saint-Maximin et au sud du mont Aurélien

D'âge portlandien et kimméridgien, ces calcaires constituent de puissantes et massives séries, présentant en moyenne de bonnes caractéristiques mécaniques :

. LA : 19
. MDE : 8

. au sud de Rians

Des calcaires kimméridgiens, de bonne qualité, affleurent au sud de Rians.

. LA : 19
. MDE : 8,2

. à l'ouest et au nord de Tavernes

Il s'agit d'une puissante série de calcaires portlandiens, se présentant en bancs grossiers ayant tendance à se déliter en plaquettes grossières. Ces calcaires ont été utilisés pour l'empierrement et comme pierre de taille.

. LA : 24
. MDE : 12

. Portlandien de la région toulonnaise

Les calcaires portlandiens de la région toulonnaise sont de bonne qualité mais les réserves sont très limitées.

. LA : 24,7
. Deval sec : 11,4
. Deval humide : 4,1
. Gélivité : 1,68 % de perte de poids
. Rc : 877 bars

- Calcaires bathoniens (jurassique moyen)

On trouve les calcaires du Bathonien supérieur à l'ouest du Thoronet et au nord de Draguignan (calcaires durs en bancs de 0,20 à 0,60 m d'épaisseur) ainsi qu'au nord-ouest de Brignoles. Leurs caractéristiques moyennes sont :

. LA	: 19 à 22
. MDE	: 8 à 11,4

- Calcaires du Lias

Il s'agit de calcaires à silex affleurant dans la région de Sanary-sur-mer, du Revest et de la Valette et exploités soit pour la construction, soit pour des usages routiers.

. LA	: 19,7
. Deval sec	: 12 à 16,3
. Deval humide	: 4,7 à 5

- Calcaires dolomitiques du Muschelkalk

Ces niveaux affleurent à Ollioules et Carqueiranne. Ils se présentent sous forme de bancs pluridécimétriques à intercalations marneuses et argileuses. Ils ont été exploités pour la construction ou comme enrochement.

. LA	: 21 à 27
. MDE	: 10,4 à 28,4

- Basaltes tertiaires

A l'est du Castelet, ces basaltes, de couleur brun-marron, compacts et vacuolaires, durs, sont exploités pour la production de granulats de grande qualité (couches de roulement en béton bitumineux). Les réserves sont évaluées à 9 millions de tonnes.

. LA	: 13 à 17
. MDE	: 10 à 13
. CPA	: 0,54 à 0,56

- Roches volcaniques permiennes

Ces formations sont exploitées dans la région de Fréjus pour la production de granulats. Il s'agit soit de dolérite, soit de rhyolite. La roche présentant les meilleures qualités mécaniques, dans la région de Fréjus, est l'estérellite (microdiorite quartzique encore appelée porphyre bleu de l'Esterel). Sa grande résistance à l'écrasement (500 kg/cm²) justifie son exploitation comme ballast ; elle répond aux normes spécifiques exigées par les administrations et les collectivités locales (routes et autoroutes des Ponts et Chaussées, ballast pour la SNCF, aménagement portuaire du littoral).

- Ankaratrite

L'ankaratrite est une basanite (roche magmatique effusive noire à aspect de basalte, microlitique, souvent porphyrique, avec plagioclase, feldspathoïde, augite, hornblende, olivine et parfois biotite) à néphéline, riche en pyroxène. Elle affleure sous la forme d'un pointement au nord-ouest de Rougiers, au Poulagnier. Bien que n'ayant jamais été exploitée par le passé, cette roche offre toutes les caractéristiques d'un bon matériau pouvant être utilisé comme couche de roulement.

. LA	: 20
. MDE	: 2
. CPA	: 48

- Roches endogènes de la région de Saint-Tropez

Ces roches, surtout exploitées pour des enrochements, comprennent soit des granites se présentant sous des faciès variés (granite jaune à biotite, aplite), soit des amphibolites.

Granite (Plan de la Tour)

. LA	: 20 à 25
. MDE	: 8 à 10

Amphibolite (ouest de Grimaud) :

. LA	: 21
. MDE	: 9,2

Vaucluse

- Alluvions de la Durance

Les alluvions récentes sont constituées par des limons plus ou moins argileux recouvrant les alluvions grossières formées de sables et de graviers silico-calcaires dont la puissance variable peut aller de 5 m à l'amont jusqu'à 30 m à l'aval.

De nature pétrographique très variée, les alluvions (calcaires, quartz, quartzite, grès, amphibolite, variolite, pyroxénite), présentent néanmoins de bonnes caractéristiques mécaniques du fait de la présence importante d'éléments siliceux (environ 40 % de silice). Il s'agit, en général, d'une grave mal graduée dont les éléments peuvent avoir jusqu'à 300 mm de diamètre.

. LA	: 12 à 17
. Deval sec	: 15 à 17
. Deval humide	: 8
. CPA	: \cong 0,50

- Calcaires crétacés

Ces formations calcaires, d'âge Barrémien, affleurent au niveau de trois massifs

. le massif du Lampourdier

On y trouve des calcaires du Barrémien inférieur (calcaires souvent argileux à intercalations marneuses, impropres à fournir des granulats) ou du Barrémien supérieur (calcaires compacts, puissants, avec des lits de silex de taille variable) s'étendant sur de grandes surfaces. Les calcaires du Barrémien supérieur ont de bonnes caractéristiques mécaniques :

. LA : 20

. le massif de Caumont

Il s'agit de calcaires argileux du Barrémien inférieur, avec quelques niveaux durs ayant fait l'objet d'une ancienne exploitation.

. LA : 25

. les monts Ventoux et de Vaucluse

Il s'agit de calcaires massifs et durs formant des falaises importantes.

. LA : 24

- Calcaires jurassiques

Ces calcaires affleurent au niveau de deux massifs :

. la colline Saint Jacques

Ce sont des calcaires urgoniens, massifs, d'une centaine de mètres d'épaisseur, de bonne qualité.

. LA : 25

. le massif de Beaumont-de-Pertuis

Ce massif se présente comme un vaste anticlinal très fracturé constitué de bancs calcaires d'âge jurassique, de bonne qualité et de calcaires argileux du Crétacé inférieur. Localement, les calcaires du Jurassique terminal sont de bonne qualité, puissants mais peu étendus.

. LA : 17

5. Cas des matériaux locaux

Les formations que nous venons de passer en revue sont susceptibles de pouvoir fournir des matériaux de substitution aux graves alluvionnaires directement ou après un traitement préalable. Ils pourront également, si nécessaire, être utilisés comme matériaux locaux alors que ces derniers, selon les définitions précédentes, ne pourront être utilisés comme matériaux de substitution. Afin d'essayer d'être exhaustif, il faut ajouter aux formations ci-dessus définies, celles que l'on pourra utiliser pour la production de matériaux locaux. Ces formations sont difficilement cartographiables car, dans l'absolu, presque toutes les formations, moyennant un traitement pourront être employées. Toutefois, les domaines d'utilisation seront limités : remblais, couches de forme et accessoirement de base, chemins forestiers, bétons calcaires,... Les principales formations concernées seront les limons, la craie et les calcaires tendres, les sables argileux.

Le programme Materloc-Calcaires a, entre autres, étudié les gélifracts fossiles. Il s'agit de cailloutis périglaciaires provenant de l'érosion, au Quaternaire ancien, de massifs calcaires. Suivant les régions, ces gélifracts portent des noms différents : grouines en Lorraine, graveluches en Champagne, grèzes en Charentes, groises dans le Jura. Ces termes ne sont pas seulement géographiques mais traduisent également la variabilité de ces matériaux en fonction de la roche-mère et du mode de mise en place. Les grouines de Meuse, issues des calcaires oxfordiens à faciès sublithographique, ont un mode de mise en place principalement dicté par l'action du gel sur ces roches massives, associée à une phase de ruissellement importante. Les graveluches de Champagne proviennent de la gélifraction des craies et ont subi une évolution diagenétique ayant conduit à une induration des grains. Ces gélifracts constituent des graves 0/8 à 0/20 mm, généralement bien graduées, comportant 10 à 20 % de fines (dont certaines argileuses mais le plus souvent faiblement actives au sens géotechnique). Les calcaires se fragmentent, sous l'action du gel, jusqu'à une taille limite correspondant à une maille élémentaire. Du fait qu'ils ont déjà gelé et se trouvent réduits à cette maille élémentaire, les gélifracts ont acquis une durabilité au gel supérieure à celle de granulats concassés issus de la même roche-mère. Au niveau des performances mécaniques, des expériences ont montré que celles des grouines étaient supérieures à celles des granulats produits en carrière, à partir de calcaire meusien. Le gain serait de 5 à 10 points sur les coefficients Los Angeles et Micro-Deval ($25 < LA$ et $MDE < 30$).

Pour ce qui est des graveluches, le processus d'élaboration inclut une phase d'induration de la surface externe des grains (induration due à un processus dissolution/recristallisation). Ces gélifracts fossiles sont, dans la plupart des cas, traités aux liants hydrauliques avant leur emploi en assises de chaussées pour tout trafic et en renforcement de structure :

- couches de fondation et de base ;
- parking et dallages industriels ;
- voiries diverses.

Les graveluches traitées avec des liants routiers ont été utilisées en couches de fondation pour la traversée de la Champagne par l'A26.

Différentes études réalisées dans le cadre de la Taxe Parafiscale sur les Granulats et du projet Materloc ont montré qu'il existait deux autres voies permettant de trouver des matériaux de substitution aux granulats alluvionnaires. Il est possible, soit :

- d'utiliser des sous-produits et des déchets de l'industrie : produits de démolition, laitiers, cendres volantes, mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM),...
- d'utiliser les produits non commercialisables issus de l'exploitation et de la valorisation d'un gisement : matériaux de scalpage, stériles de pré-criblage, sables et fillers issus du lavage,...

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence un grand nombre de formations géologiques pouvant fournir des matériaux de substitution aux granulats alluvionnaires. Certaines de ces formations sont déjà exploitées, d'autres l'ont été dans le passé et ne le sont plus, enfin certaines n'ont jamais été utilisées pour la fabrication de granulats.

Le passage des granulats alluvionnaires aux granulats concassés ne pourra se faire sans des changements importants dans la structuration de l'offre. En particulier, certains départements ne possédant aucun gisement géologique pouvant convenir, du moins à une échelle économiquement rentable, la substitution induira le plus souvent des frais de transport supplémentaire. Des départements exportateurs actuellement de granulats (alluvionnaires) deviendront demain importateurs (de granulats concassés). Le problème des matériaux de substitution ne pourra se résoudre dans un cadre géographique restreint (département, région,...) et nécessitera une réflexion au niveau inter-régional voire national.

Bibliographie

Cartes géologiques à 1/50 000 de la France avec leur notice.

Carte géologique au 1/1 000 000 de la France - 6^{ème} édition - 1996.

Colloque de clôture Materloc - Calcaires - 23 et 24 novembre 1995 - Programme National de Recherche - Développement.

Catalogue des rapports d'opération Taxe Parafiscale sur les Granulats. Edition 1990.

Rapports Taxe Parafiscale sur les Granulats.

BRGM
Neuf 17 82
SUD OISELIERA

BRGM
SERVICE MINIER NATIONAL
Département de l'Exploration
BP 6009 - 45060 ORLEANS Cedex 2 - France - Tél. : (33) 02.38.64.34.34