

Schistes houillers

Mise à jour de la version : 03/06/2013

1	Définition.....	1
2	Lois, normes, guides.....	1
3	Origine, élaboration, stockage	2
4	Caractéristiques physico-chimiques	9
5	Caractéristiques géotechniques.....	10
6	Caractéristiques environnementales.....	12
7	Aspects sanitaires.....	14
8	Usages (Types d'infrastructures)	14
9	Références bibliographiques	18
10	Auteurs et relecteurs.....	20

1 Définition

Le terme schistes houillers est associé à l'extraction du charbon. Il est communément compris comme étant le sous-produit résultant de la séparation entre le charbon et le stérile qui l'accompagne inévitablement lors de son extraction dans la mine.

2 Lois, normes, guides

2.1 Lois

Les terrils de schistes houillers sont exploités sous un double régime législatif :

- ▲ régime ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement
- ▲ règlement général des industries extractives pour ce qui concerne la législation du travail.

Même si les schistes houillers des terrils sont a priori inscrits dans la rubrique 01 01 02 de la classification déchets du code de l'environnement¹, ils sont considérés actuellement comme des matériaux naturels par les services ayant compétence en matière environnementale. En découle qu'il n'existe pas de textes réglementaires pour ce qui concerne l'évaluation de leur impact sur l'environnement et la santé humaine avant usage.

Pour abonder en ce sens, il peut être mentionné que depuis le début des années 60, plus de 300 millions de tonnes de schistes, toutes natures confondues, ont été utilisées dans le Nord – Pas-de-calais et en Lorraine au titre du BTP (Bâtiment et Travaux Publics).

De plus les schistes houillers de terrils sont clairement inscrits dans la catégorie « ressources naturelles » du dernier schéma interdépartemental des carrières Nord Pas-de-Calais (2013 - document en enquête publique). Le récent guide régional « Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière – schistes houillers, 2010 » conclut « *Les schistes houillers sont passés progressivement du stade de sous-produit à celui de co-produit pour être considérés aujourd'hui comme des matériaux rocheux et des granulats à part entière* ».

1 L'inscription sur la liste ne signifie pas que la matière ou l'objet soit un déchet dans tous les cas

2.2 Normes

Les normes qui s'appliquent aux schistes houillers de terrils sont les plus classiques en matière de caractérisation et d'usage des granulats :

NF EN 144 227 « Mélanges traités aux liants hydrauliques. Spécifications ». Parties 1, 2, 3 et 5

NF EN 12 620+A1 « Granulats pour béton »,

NF P 11 300 « Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la réalisation des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières »,

XP P 18 545 « Granulats. Éléments de définition. Conformité et codification »

2.3 Codification

Selon l'annexe 2 de l'article R541-8 du Code de l'Environnement, schistes houillers peuvent être classés sous le numéro : 01 01 02 (Déchets provenant de l'extraction des minéraux non métallifères).

2.4 Guides

Les guides techniques principaux faisant référence en matière d'utilisation des schistes houillers en techniques routières sont les suivants :

SETRA-LCPC, 1992 « Réalisation des remblais et des couches de forme ».

SETRA-LCPC, 1994 « Remblayage des tranchées et réfections de chaussées»

SETRA-LCPC, 1998. « Réseau routier national. Catalogue des structures types de chaussées neuves.»

CETE de l'Est - Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière – Guide Schistes Houillers, Février 2010

CETE Nord-Picardie - Filières de valorisation des déchets du BTP et des Co-produits industriels de la région Nord-Pas de Calais – Guide d'aide à la décision à destination des Maîtres d'Ouvrage, Maîtres d'Œuvre et Bureaux de Contrôles – CRGV – Mars 2011

PREDIS Nord Pas-de-Calais – Guides Techniques Régionaux relatifs à la valorisation des déchets et co-produits industriels CETE Nord Picardie/École des Mines de Douai, Juillet 2002

3 Origine, élaboration, stockage

3.1 Origine

En raison même de sa genèse, le charbon, dans son gisement, se présente généralement sous la forme d'une alternance de veines plus ou moins épaisses, séparées par des bancs intercalaires de terrains non houillers (schistes et grès). Ces veines sont fréquemment entrecoupées de nombreuses failles.

Dans le bassin Centre Midi et les Alpes, région Briançonnaise, à la suite de mouvements tectoniques, le charbon est parfois remonté vers la surface, permettant ainsi son exploitation à ciel ouvert.

Qu'il s'agisse d'une exploitation souterraine en galeries ou à ciel ouvert, cette disposition faisait, la mécanisation aidant, que des quantités importantes de stériles étaient extraites en même temps que le charbon. Concernant le bassin du Nord Pas-de-Calais, il était habituel par exemple de prendre en compte un rapport de deux entre tonnage de charbon brut extrait et tonnage de charbon commercialisable (2 tonnes remontées pour une tonne vendue). Ces stériles qui accompagnent le charbon extrait sont communément désignés sous le terme générique « schistes houillers ».

3.2 Formation (Séparation – Combustion des schistes)

▲ Les schistes avant l'installation des lavoirs

En surface, les unités de tri avaient pour objectif de séparer manuellement le charbon des stériles. Ces derniers, mis en dépôt, étaient désignés sous le terme « **Schistes noirs** ». Ceux-ci pouvaient contenir, concentrés dans les éléments fins, un taux de charbon résiduel parfois élevé, expliquant ainsi leur combustion ultérieure ou, s'ils n'avaient pas brûlés, leur aptitude au "relavage" ultérieur pour récupération du combustible résiduel. Sur le dépôt étaient également versés les matériaux provenant de l'exécution des puits de descente et des diverses galeries de communication permettant une gestion sécurisée du fond .

▲ Les schistes après l'installation des lavoirs

Bénéficiant de l'évolution des techniques de traitement et de préparation des minerais, les matériaux provenant du fond ont été ensuite systématiquement dirigés vers des lavoirs mettant en œuvre des bains de liqueurs denses qui, dans une première étape, permettaient de séparer, par flottation, les blocs de charbon des éléments stériles les plus grossiers.

A ce niveau du processus, les stériles récupérés étaient désignés par le terme de « **schistes de lavoir** ». Par rapport aux précédents, ils présentaient un taux de charbon résiduel ainsi qu'une teneur globale en éléments fins faible à très faible.

Dans une seconde étape de leur évolution technologique, les lavoirs permettaient de récupérer, à l'aide de composés tensio-actifs, les fines de charbon en suspension dans le fluide en circulation. Après essorage, ces dernières étaient ensuite utilisées comme combustible d'appoint dans des centrales thermoélectriques ou dirigées vers des usines pour agglomération sous forme de boulets ou briquettes.

Les éléments stériles issus de cette séparation, encore appelés « schlamms », étaient rejetés par voie hydraulique dans des bassins de décantation.

Selon l'origine des exploitations et le niveau d'avancée technologique des lavoirs, les « schistes houillers » sont donc globalement constitués de terres de fosse, de schistes (de lavoirs pour les plus récents) et d'un peu de charbon (avec une présence quasi nulle pour

les rejets les plus récents).

Mis en dépôt au fur et à mesure de l'exploitation des mines, ces matériaux initialement de teinte noire ont constitué les Terrils (Figure 1).



Figure 1 : Terril en cours de formation (PREDIS, 2002)

Ces terrils peuvent être de forme conique quand les matériaux étaient déversés depuis un point haut au moyen d'un skip (transport par bennes sur rails), ou de forme plate lorsqu'ils étaient alimentés par wagons ou camions.

Certains de ces terrils, plats et de grande longueur lorsqu'ils supportaient des voies ferrées destinées aux besoins propres des différents bassins d'exploitation, sont également appelés « cavaliers ».

▲ **Combustion des schistes**

Ce phénomène a essentiellement intéressé les terrils de forme conique, quelques rares terrils plats ont cependant brûlé (Figure 2).



Figure 2 : Terril de schistes rouges (PREDIS, 2002)

Le déclenchement de la combustion n'est pas systématique. Elle est tributaire à la fois d'une présence de charbon disséminée au sein de la masse et plus encore d'une possibilité d'alimentation en oxygène déclenchant la réaction exothermique de réduction des sulfures de fer (pyrite) qui existent naturellement dans les formations houillères. Ainsi,

c'est souvent sous les vents dominants d'ouest que s'installe le début de montée en température qui ensuite gagne le cœur de la masse. Il est estimé que la température peut atteindre 800° C en moyenne à l'intérieur du terril. Des formes de silice identifiées au sein de certains terrils (la cristobalite) laisse à penser qu'elle a pu atteindre les 1500°C en certaines zones.

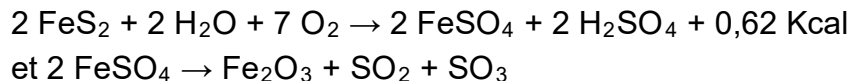
La combustion s'est avérée extrêmement aléatoire. Ainsi, certains terrils, riches en charbon, n'ont pas brûlé. Ils ont ainsi pu être exploités ultérieurement par lavage pour en récupérer la fraction combustible (Delaume, 1997 ; LRPC Lille, 1978).

Quand il a subi une combustion, le terril montre parfois une très grande hétérogénéité avec des juxtapositions ou des alternances de masses plus ou moins importantes de matériaux présentant des différences de teintes très marquées. Elles sont l'indicateur de l'intensité du phénomène. Le niveau de combustion est généralement défini de la manière suivante :

- ♣ schistes noirs : pas de combustion
- ♣ schistes oranges : combustion partielle ou faible
- ♣ schistes rouges : combustion normale
- ♣ schistes violets : combustion importante ; le matériau est souvent désigné sous la qualification « Vitriifié ».

La teinte rouge à orange est due à la transformation des oxydes de fer présents dans les schistes noirs, comme dans les techniques de la terre cuite.

En effet, les schistes houillers stockés peuvent subir une évolution par oxydation et élévation de température. Cette réaction exothermique peut s'écrire :



Le déclenchement de la combustion, qui n'a rien de systématique, est tributaire à la fois d'une présence de charbon disséminée au sein de la masse et plus encore d'une possibilité d'alimentation en oxygène.

Les schistes houillers du bassin de Provence sont de nature différente. Même après combustion, ils ont conservé leur teinte grisâtre d'origine et présentent une forte proportion de chaux.

Les houillères du Dauphiné ne disposent pas de schistes brûlés en raison de la nature du charbon exploité (anthracite contenant des matières volatiles difficilement inflammables et en faibles quantités).

3.3 Élaboration (exploitation des terrils)

Les terrils sont exploités sous le double régime des Installations classées ICPE et du Régime Général des Industries Extractives (RGIE), qui régit notamment l'émission de poussières. L'exploitation du terril, consiste selon la nature du schiste, en la production des produits suivants :

♣ Terrils de Schistes Noirs

♣ Les Schistes Noirs Tout Venant

Ils sont l'objet d'une exploitation directe du vrac par système pelle-camion, avec, si besoin est, une discrimination et un contournement des zones de moindre qualité visuelle

(granularité plus fine et/ou matériau d'aspect plus argileux).

Selon les principes de la norme NF P11-300, les Schistes Noirs Tout Venant se classent en F32 : Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers incomplètement ou non brûlés.

Sur le plan pratique, en fonction de leurs taux d'éléments inférieurs à 80 µm, de leur nature plus ou moins argileuse, qu'ils aient été ou non lavés, les Schistes Noirs Tout-venant peuvent être assimilés à la classe des matériaux C2B22, C2B32 ou C2B52 selon la terminologie de la norme NF P11-300.

⤴ **Le Formoschiste, le Schiste Noir Criblé et le 0/20 de Schistes Noirs**

Ces matériaux résultent d'un simple criblage sur terril des meilleurs schistes noirs, estimés comme tels visuellement par les exploitants (Figure 3).



Figure 3 : Exploitation du terril 76 à Avion (Mission Bassin Minier)

⤴ **Le Formoschiste**

Origine : Les schistes rouges, aux qualités intrinsèques affirmées, étaient traditionnellement utilisés pour la constitution des couches de forme des chaussées, notamment celles situées dans un contexte hydrogéologique défavorable (sol fin et nappe peu profonde). Devenant de plus en plus rares, ils sont maintenant dirigés en priorité vers les installations de concassage-criblage pour fabrication des sables et gravillons. Cette politique a conduit à une pénurie pour la fonction couche de forme.

Pour pallier ce déficit annoncé, des expérimentations de brûlage de schistes noirs ont été menées, avec succès. Les matériaux obtenus en fin de combustion, de teinte rouge, étaient peu différents en terme de qualité des schistes rouges naturels. Pour des raisons environnementales, cette pratique s'est cependant vite arrêtée à la demande des services administratifs compétents. Le formoschiste a donc pour vocation de remplacer le schiste rouge pour la fonction couche de forme, tout en le réservant à des structures peu à moyennement sollicitées en terme de trafic poids lourds. Élaboré à partir des meilleurs schistes noirs, il résulte

de l'élimination, par criblage, de la fraction 0/16 mm (maille industrielle de faisabilité) et des éléments les plus grossiers. Le formoschiste doit répondre à un cahier des charges proposé à l'origine par la Société TERRIL S.A.

Caractéristiques de fabrication : compte tenu de sa destination, mais plus encore de sa valeur marchande, le formoschiste doit respecter les exigences de distribution granulométrique (Figure 4) "D" pour des problèmes de compatibilité avec les épaisseurs de couche dans lesquelles il sera un constituant, et au "d" pour des faisabilités industrielles liées à l'élimination des éléments argileux.

Il n'est donc pas question d'imposer un quelconque fuseau granulométrique dans l'intervalle d/D dans la mesure où ce matériau est issu d'un simple passage sur crible vibrant à deux étages.

Il doit répondre aux critères suivants :

- ⤴ d = 16 mm ;
- ⤴ D = 160 mm ;
- ⤴ refus nul à 1.58 D (250 mm)
- ⤴ refus à D et tamisât à d compris entre 1 et 20%
- ⤴ tamisât à 80 µm □ 5%

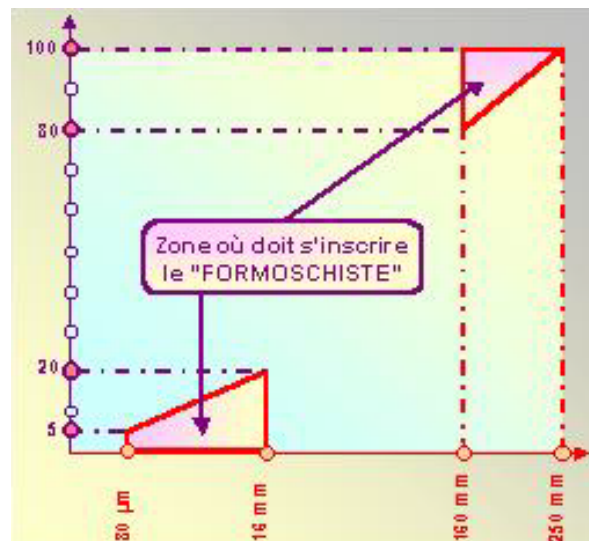


Figure 4 : Critère granulométrique (Predis, 2002)

⤴ **Le Schiste Noir Criblé (SNC)**

Dans la perspective de les rendre moins sensibles vis à vis de l'eau, les Schistes Noirs Tout Venant font l'objet d'un criblage visant à éliminer à la fois la fraction 0/20 mm (approximativement) et les plus gros blocs. Le Schiste Noir Criblé (SNC) ainsi obtenu se présente donc sous la forme d'un d/D, d se situant vers 16 à 20 mm et le D vers 150 mm, avec quelques rares éléments supérieurs à cette dimension.

Le Schiste Noir Criblé s'apparente à du formoschiste, en ce sens qu'il résulte du criblage, aux mêmes mailles que ce dernier,. Dans la mesure où il n'est pas contrôlé, il ne présente pas la garantie du formoschiste ni pour la distribution granulométrique, ni pour les caractéristiques intrinsèques.

Selon les principes de la norme NF P11-300, les Schistes Noirs Criblés se classent en F32 : Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers incomplètement ou non brûlés.

Sur le plan pratique, en raison de leurs faibles taux d'éléments inférieurs à 80 µm, les Schistes Noirs criblés peuvent être assimilés à la classe des matériaux D32 (matériau insensible à l'eau, Dmax = 50 mm ,VBS = 0,1 , tamisât à 80 µm =12 %, LA = 45 et MDE = 45, selon la norme NF P11-300).

Les fractions commercialisées de SNC les plus courantes sont les suivantes : 20/125 ; 10/22,4 ; 0/50 ; 20/60 ; 20/80 ; 20/31,5

▲ **Le 0/20 de Schistes Noirs**

Ils résultent de la production du formoschiste ou de celle des schistes noirs criblés. La production de l'un ou l'autre de ces deux matériaux revient globalement à diviser (environ 40% de 0/20 et 60% de formoschiste, les gros éléments étant marginaux) en deux parties le terril concerné, sachant que les éléments supérieurs à la dimension théorique de 160 mm sont peu nombreux.

Selon la nature du 0/D du terril initial, le 0/20 mm se classe en B3 – B4 (voire B5), selon les propositions de la norme NF P11-300.

▲ **Terrils de Schistes Rouges**

▲ **Schistes Rouges Tout Venant**

Ils présentent bien souvent un taux d'éléments inférieurs à 80 µm modéré qui, associé à un caractère argileux peu marqué, voire absent, en raison même de la combustion du matériau, conduit à les considérer comme insensibles vis à vis de l'eau.

Selon les principes de la norme NF P 11-300, les Schistes Rouges Tout Venant (SRTV) se classent en F31 : "Sols organiques - Sous produits industriels - Schistes houillers complètement brûlés".

Sur le plan pratique, les Schistes Rouges Tout venant peuvent être assimilés à la classe des matériaux D31 selon la norme NF P11-300.

Ils sont l'objet d'une exploitation directe du vrac par système pelle-camion, avec, si besoin est, une discrimination et un contournement des zones de moindre qualité visuelle (granularité plus fine et/ou matériau d'aspect cendreuse, du fait d'une combustion imparfaite).

▲ **Schistes Rouges Concassés**

Ce sont les meilleurs des schistes rouges, ils sont concassés et criblés dans des unités permettant l'obtention des fractions granulaires les plus souvent demandées par le marché (essentiellement des coupures 0/3, 0/6, 4/10, 6/20 et 10/20 mm).

Les installations spécifiques (Figure 5) sont dans la plupart des cas installées sur le terril. Elles sont toutes bâties sur le même mode, avec un concassage primaire puis secondaire et un crible à trois étages pour assurer les coupures marchandes demandées par le marché. Certaines installations possèdent également de centrales de traitement.

Les matériaux fabriqués sont principalement des :

- ▲ Sables 0/3, et 0/6
- ▲ Gravillons 4/20, 6/20, 10/20
- ▲ Graves recomposées : 0/5 , 0/15 , 0/20, 0/31,5

- ✧ Matériaux traités : grave laitier, grave ciment



Figure 5 : Installation de concassage criblage (crédits SCA)

4 Caractéristiques physico-chimiques

4.1 Analyse chimique élémentaire

Selon les bassins d'exploitation et la situation géographique de l'exploitation, les schistes peuvent présenter une diversité notable de leur composition. Pour ceux des Houillères du Bassin Nord Pas de Calais et des bassins Lorrain et de Sarre, on peut cependant la cadrer de la sorte : 20 à 50 % de grès (arénites de tous diamètres et micro-conglomérats), de 50 à 80 % de schistes provenant d'argiles métamorphisées (argilites et siltites finement litées) et de 0 à 20% d'éléments divers plus ou moins charbonneux. Certains terrils, encore riches en combustible, ont été encore récemment lavés dans des installations spécialisées afin de l'extraire pour ensuite le diriger vers des centrales thermoélectriques. La dernière centrale thermique utilisant cette énergie a été fermée en mars 2013 (Hornaing – 59).

L'analyse au microscope polarisant distingue généralement les composants suivants :

- ✧ *Schistes noirs et oranges (combustion de faible intensité)* : Quartz – Feldspaths – Mica - Argiles – oxydes de fer
- ✧ *Schistes rouges et violets (combustion très vive)* : Quartz – Cristobalite – Silicates d'aluminium – Silico-aluminates de magnésium – oxyde de fer – Matière vitreuse.

Selon les bassins houillers, la composition chimique des schistes (Tableau 1) peut sensiblement varier. Pour ceux du bassin Nord-Pas-de-calais et des bassins de Lorraine et de Sarre, elle s'inscrit dans les plages suivantes :

Tableau 1 : composition chimique moyenne des schistes houillers noirs

	%
SiO₂ (oxyde de silicium)	45 à 55
Al₂O₃ (oxyde d'aluminium)	25 à 30
Fe₂O₃ (oxyde de fer)	5 à 8
CaO (oxyde de calcium ou chaux)	0,5 à 1,5
Na₂O + K₂O (alcalins)	3 à 6
MgO (oxyde de magnésium)	1 à 2
SO₃ (anhydride sulfurique)	0 à 1
Perte au feu	3 à 20

5 Caractéristiques géotechniques

Les performances mécaniques des schistes houillers ainsi que l'hétérogénéité de ces performances ont été largement testés par des travaux en laboratoire. Leur comportement mécanique en sous couche routière a été appréhendé par des retours d'expériences sur des chantiers expérimentaux (Andrieux et d'Hem, 1984).

5.1 Les Schistes Noirs Tout Venant

Comme leur nom l'indique, les schistes noirs tout venant ne font l'objet d'aucune préparation particulière avant d'être prélevés sur le terril pour ensuite être dirigés vers les lieux d'utilisation. Il n'y a aucune maîtrise de la granularité. Les rares blocs supérieurs à 300 mm sont cependant écartés au niveau de l'emprunt afin de rendre compatible le D du matériau avec l'épaisseur de la couche sous laquelle il sera mis en œuvre. La connaissance de la teneur en sulfates est par ailleurs fondamentale pour apprécier le risque de gonflement de type ettringitique dans les formules de graves schistes noirs traitées aux liants hydrauliques. Quelques désordres ont été recensés en 2003 suite au traitement en place de couches de forme sur le chantier de la plate-forme Delta 3 à Dourges (62).

5.2 Le Formoschiste

Le formoschiste est un label déposé qui garantit une qualité requise telle qu'elle a été définie pour ce matériau (voir plus loin).

Le formoschiste étant théoriquement un 16/160 mm, les caractéristiques ont été mesurées sur la fraction 25/50 mm à l'époque de sa mise en place sur le marché. Le coefficient Micro Deval Adapté (MDA, décrit par l'ancienne norme NF P 18 572) n'étant plus normalisé à l'époque sur cette fraction, c'est l'essai Deval Humide (DH), couramment exécuté à l'époque sur le ballast SNCF, qui a été choisi pour appréhender la résistance à l'attrition.

Les seuils qui ont été retenus sont issus :

- ✧ des chantiers expérimentaux qui ont permis d'apprécier la pertinence de la démarche avant que le matériau ne soit proposé sur le marché. Cette phase a, par ailleurs, permis d'adapter les premiers seuils retenus suite à une identification de plusieurs terrils.
- ✧ De la possibilité de produire le matériau en quantité suffisante pour satisfaire les besoins du marché, des spécifications trop dures en la matière auraient éliminés trop de terrils, réduisant à peu le gisement susceptible de produire du formoschiste.

Pour être qualifié en tant que formoschiste, le matériau doit respecter les critères de qualité intrinsèques ci-après :

- ✧ Coefficient Los Angeles (LA), fraction 25/50 mm , LA = 55.
- ✧ Coefficient Deval (Dh) -, fraction 25/50 mm , Dh moyen = 1,2 (aucune valeur < 1 n'est acceptée).

Tous les terrils de schistes noirs, en raison de leur nature, ne sont pas aptes à produire du formoschiste.

Théoriquement, le matériau F32 peut être apparenté à la classe D31 (matériau sensible à l'eau, $D_{max} > 50\text{mm}$; VBS = 0,1; Tamisât à $80\ \mu\text{m}$ = 12% selon la norme NF P11-300.

Dans le cadre de son utilisation et sous certaines conditions, un matériau D31 est réputé insensible vis-à-vis de l'eau dans le cadre des travaux de terrassement. Selon ce principe, il peut être utilisé pour la construction de toutes couches de forme de chaussées, même les plus sollicitées en termes de trafic.

Par ailleurs, indépendamment du trafic qu'aura à supporter la future voirie, l'utilisation du formoschiste en tant que matériau D31 sera également bornée par les conditions de mise en œuvre (conditions météorologiques défavorables) et d'organisations du chantier. Pour ce second point, les caractéristiques intrinsèques du formoschiste feront qu'il supportera difficilement un trafic intense et prolongé directement sur sa surface, d'autant plus si ce dernier est canalisé ou induit des efforts de cisaillement ou d'arrachement importants (rotation d'engins par exemple).

La prise en compte du formoschiste selon la classe D31 ne peut donc s'envisager que dans une configuration où il sera peu sollicité en direct; ceci conduit à le recouvrir au plus tôt par la première couche structurante du corps de chaussées.

5.3 Les Schistes Noirs Criblés

Les Schistes Noirs Criblés (SNC) sont issus du même principe de fabrication que le Formoschiste à la seule différence qu'ils ne bénéficient pas d'un label et d'une garantie de qualité tant pour les caractéristiques physiques qu'intrinsèques.

C'est la nature de la partie 0/50 mm qui conditionne, selon la norme NF P11-300, la classification et en définitive le fonctionnement en terrassement d'un matériau au D développé :

- ✧ C2 : matériaux anguleux dont la proportion de la fraction 0/50 mm = 60 à 80%.
- ✧ B22, 32, 52 : matériaux au D = 50 mm, plus ou moins argileux en fonction de la valeur VBS et présentant des coefficients LA et MDE = 45.

Il n'est cependant pas exclu que certains schistes noirs, de nature gréseuse nettement affirmée, comme ceux de l'Est de la France, puissent présenter des taux de particules inférieures à $80\ \mu\text{m}$ faibles à très faibles ou tout moins inférieurs à 12%, permettant de la

sorte de les assimiler à la classe D32 (Matériau insensible à l'eau, $D_{max} = 50$ mm ; VBS = 0,1 ; tamisat à $80 \mu\text{m} = 12\%$, LA = 45 et MDE = 45), voire D31 (Matériau insensible à l'eau, $D_{max} = 50$ mm ; VBS = 0,1 ; tamisat à $80 \mu\text{m} = 12\%$, LA = 45 et MDE \square 45).

Dans le bassin des Houillères du Bassin de Lorraine (HBL), les schistes noirs concassés présentent des caractéristiques intrinsèques telles que (Source Sté SOLODET) :

- ⤴ LA (Essai Los Angelès) sur fraction 25/50 : ≈ 45
- ⤴ MDA (Essai Micro Deval Adapté) sur fraction 25/50 mm : ≈ 26
- ⤴ DH (Essai Deval Humide) sur fraction 25/50 mm : $\approx 1,4$
- ⤴ LA (Essai Los Angelès) sur fraction 6/10 m : ≈ 24
- ⤴ MDE (Essai Micro Deval en présence d'eau) sur fraction 6/10 mm : ≈ 70

5.4 Les Schistes Rouges Tout Venant

Comme pour leurs homologues noirs, les Schistes Rouges Tout Venant (SRTV) ne font l'objet d'aucune préparation avant d'être extraits du terril et dirigés vers les lieux d'utilisation.

5.5 Les Schistes Rouges Concassés

Pour ce qui concerne les productions actuelles, il peut être considéré que les gravillons de Schistes Rouges Concassés (SRC) relèvent le plus souvent des classes D et E, voire F, telles qu'elles sont définies dans la norme XP P18-545. Les sables (0/5 mm) appartiennent à la catégorie « a » selon la même norme.

6 Caractéristiques environnementales

6.1 Acceptabilité environnementale

Il existe peu de données concernant le comportement des métaux lourds des schistes houillers et leur impact environnemental lors de leur utilisation en sous couche routière. Dans le guide d'utilisation des schistes lorrains (technique routière (2010)) il est indiqué que « *les schistes noirs sont à la fois des matériaux d'origine naturelle ayant subi des transformations mécaniques (tris ,concassage) et des coproduits industriels de l'exploitation minière du charbon. Leur usage en terrassement et en technique routière a donné lieu à des caractérisations environnementales n'ayant pas contraint leur usage* (LRPC, 2010) » En effet, la composition chimique (composé organique et inorganique) ainsi que la caractérisation des éluats issus de l'essai de lixiviation de échantillons issus de deux gisements exploités ont été publiés dans le guide LRPC (2010) (Tableau 3 et 4). Les résultats montrent que la plupart des teneurs en métaux lourds dans les éluats sont inférieures à la limite de quantification. Les teneurs en PCB, HAP et BTEX dans le produit brut est également inférieure à la limite de quantification, celles en COT et HCT des 2 échantillons étant inférieures aux valeurs limites du guide SETRA 2011.

Tableau 3 : Résultat de lixiviation selon la norme 12457-2 (Analyse 2009 sur échantillons du terril de Ste Fontaine et fraiche production d'Ensdorf, Guide d'utilisation de matériaux lorrains en technique routière, 2010)

Tableau 4 : Analyse de composé organique des échantillons du terril de Ste Fontaine et fraiche production d'Ensdorf, Guide d'utilisation de matériaux lorrains en technique routière, 2010)

Analyse	Norme	Résultats de Ste Fontaine	Résultats d'Ensdorf	Unité
Carbone Organique Total (COT)	NF EN 13137	2600	28 000	mg/kg MS
Benzène	NF ISO 22155	<1	< 0,1	mg/kg MS
Ethylbenzène	NF ISO 22155	<1	< 0,1	mg/kg MS
Toluène	NF ISO 22155	<1	< 0,1	mg/kg MS
Xylène (méta+para)	NF ISO 22155	<2	< 0,1	mg/kg MS
Xylène (ortho)	NF ISO 22155	<1	< 0,1	mg/kg MS
Acénaphène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,1	mg/kg MS
Acénaphthylène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,5	mg/kg MS
Anthracène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,1	mg/kg MS
Benzo(a)anthracène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,15	mg/kg MS
Benzo(a)pyrène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,1	mg/kg MS
Benzo(b)fluoranthène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,1	mg/kg MS
Benzo(ghi)pérylène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,25	mg/kg MS
Benzo(k)fluoranthène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,15	mg/kg MS
Chrysène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,3	mg/kg MS
Dibenzo(ah)anthracène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,3	mg/kg MS
Fluoranthène	NF ISO 18287	0.033	< 0,1	mg/kg MS
Fluorène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,3	mg/kg MS
Indeno(1,3 cd)pyrène	NF ISO 18287	< 0.030	< 0,25	mg/kg MS
Naphtalène	NF ISO 18287	< 0.030	4	mg/kg MS
Phénanthrène	NF ISO 18287	< 0.030	1,5	mg/kg MS
Pyrène	NF ISO 18287	0.034	< 0,2	mg/kg MS
Huiles minérales par CPG(HC-CPG)	NF X 31-410	< 100	< 1	mg/kg MS
PCB 28	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 52	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 101	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 118	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 138	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 153	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
PCB 180	NF EN 15308	< 0.10	< 0,1	mg/kg MS
Siccité	NF ISO 11465	92,6	96,4	%MB

Les schistes stockés en terril provoquent parfois un drainage minier acide conditionné par l'oxydation naturelle des sulfures en sulfates. Le pH acide résultant favorise le relargage des métaux lourds. Afin de maîtriser ce risque, il est recommandé d'évaluer la teneur en sulfates et le pH selon les normes suivantes (CETE Nord Picardie, 2011):

- ⤴ les sulfates (norme NF EN 16 192 ou NF EN 1 744-1 articles 10 et 12),
- ⤴ l'influence du pH sur la solubilisation des polluants (NF CEN/TS 14 429).

Les valeurs seuils à considérer en France qui caractérisent le potentiel polluant selon les normes NF EN 12 457-2 et NF CEN/TS 14 405 sont celles du guide SETRA de 2011 qui font foi .

6.2 Suivi environnemental

Un travail a été réalisé sur l'impact de terrils houillers de la fosse Sainte Henriette à Dourges sur la qualité des eaux (Denimal, 2001). L'exploitation du charbon dans le Nord-Pas-de-Calais (France) a engendré le dépôt d'importantes quantités de résidus miniers sous forme de terrils, essentiellement constitués de schistes houillers. Le lessivage de ces stériles par les eaux météoriques et l'oxydation des sulfures de fer contenus sont susceptibles de contribuer à l'enrichissement, en sulfates et métaux associés, de l'aquifère de la craie, principale ressource en eau de la région. Une étude complémentaire, présentant un contexte différent de la sous couche routière, a révélé que le stockage des terrils ne montre aucun relargage de métaux lourds. Ces observations ont été confirmées par la lixiviation au laboratoire par des essais de percolation (Denimal, 2002).

7 Aspects sanitaires

Aucune information n'est disponible pour l'instant sur ce sujet.

8 Usages (Types d'infrastructures)

Aujourd'hui la situation énoncée est la suivante :« les chantiers réalisés à ce jour montrent les qualités et l'adaptation des schistes en techniques routières, dont des potentialités d'utilisation supplémentaires sont en cours d'exploration (planches expérimentales pour analyser le comportement du schiste 20/60 en accotement, relèvement du niveau du trafic acceptable pour le Fondaschiste jusqu'au niveau TC5 (anciennement T1), LRPC (2010) »

« De manière logique de par l'origine des matériaux les schistes rouges se comportent comme des matériaux naturels de nature minéralogique équivalente, ils ne présentent pas de risque autre que celui de l'hétérogénéité du stock industriel initial (LRPC, 2010) ».

8.1 Utilisation en remblai

⤴ Les Schistes Noirs Tout Venant

En raison de leur relative sensibilité vis-à-vis de l'eau, ils ne sont, en l'état, utilisables que pour la construction d'ouvrages en terre et plus précisément de remblais routiers. Dans le

nord et l'Est de la France, ils ont été utilisés en abondance à cette fin.

Tout en se référant au GTR - Guide Technique LCPC, SETRA (2000) pour définir la meilleure utilisation possible des Schistes Noirs Tout Venant en fonction du contexte hydrogéologique dans lequel ils seront intégrés, on privilégiera de préférence la mise en œuvre sous des hauteurs moyennes à importantes (accès à ouvrages d'art par exemple) pour conférer du monolithisme à la masse ainsi mise en place.

Sous peine de rendre la mise en œuvre difficile, notamment par météorologie pluvieuse, il est recommandé d'écarter de toute utilisation, les schistes noirs dont les plus gros éléments présentent une propension avérée au délitement (aspect schisteux marqué, débit en plaquettes et/ou en fragments plats).

Pour les hauteurs les plus faibles, il est prudent d'éviter toute mise en œuvre en zone inondable,... à moins de les y soustraire en les asseyant sur un matelas de matériau insensible à l'eau, souvent établi à partir de schistes rouges miniers. L'utilisation de Schistes Noirs Criblés ou de Formoschiste est tout à fait possible dans ce cadre.

Les caractéristiques de cisaillement (c et ϕ) permettent de dresser les remblais sous des pentes de 2/3 (2 de haut pour 3 de base). La sécurité vis-à-vis du glissement de pente est ainsi largement assurée.

✦ **Les Schistes Noirs Criblés**

Les Schistes Noirs Criblés (SNC) seront utilisés préférentiellement en soubassement de remblais situés en zone inondable, ou en constitution de remblais, comme pour les Schistes Noirs Tout Venant.

✦ **Les Schistes Rouges Tout Venant**

Compte tenu de leur rareté, les schistes rouges tout venant sont peu ou pas utilisés pour la construction de remblais routiers,. Leur insensibilité vis à vis de l'eau peut être exploitée pour tout terrassement ou toute partie d'ouvrage en terre devant s'exécuter durant des intempéries ou résister à l'imbibition (zones inondables par exemple). L'utilisation la plus courante des schistes rouges tout venant dans le domaine du remblai est le soubassement de remblai en zone inondable

8.2 Utilisation en couche de forme

Pour dimensionner en toute connaissance de cause la couche de forme, on croisera les usages locaux avec les propositions formulées dans le GTR(Guide technique pour la réalisation des terrassements et couches de forme). L'expérience locale est un élément déterminant en la matière.

✦ **Le Formoschiste**

Le Formoschiste a pour vocation de se substituer, sous certaines conditions, notamment de trafic, aux schistes rouges dans le cadre de la construction des couches de forme de chaussées. Les propositions concernant les schistes rouges peuvent être reprises dans le cadre de ces usages.

Il est nécessaire d'apporter une vigilance accrue à la qualité du matériau. Le formoschiste doit en effet répondre à l'ensemble des spécifications qui lui sont attachées, notamment dans le cadre de chaussées sollicitées.

Cependant, pour ce qui concerne le formoschiste, les recherches actuelles limitent son

usage au trafic TC6 inclus (voir la définition de TC6 dans le Catalogue des structures types de chaussées neuves - Réseau routier national - Edition 1998).

▲ **Les Schistes Rouges Tout Venant**

Dans la région du Nord Pas-de-Calais, pour l'obtention d'une rigidité satisfaisante de la plate-forme support de chaussée, il est habituel, sur un support limoneux humide et peu portant, de mettre en place une épaisseur de Schistes Rouges Tout Venant d'environ 0,60 m, avec, en complément, l'interposition d'un géotextile anticontaminant entre le matériau d'apport et le sol en place.

Leur insensibilité vis à vis de l'eau (au sens du terrassement) en fait un matériau de choix pour cette orientation. L'épaisseur de matériau à mettre en œuvre est fonction de la qualité initiale de la Partie Supérieure de Terrassement (PST), tant au moment des travaux qu'à plus long terme (pour ce dernier aspect, les possibilités de drainage doivent être prises en considération).

8.3 Utilisation en assises de chaussées

▲ **Les Schistes Rouges Concassés**

Les granulats 0/6 et 6/20 mm obtenus après concassage criblage du schiste rouge tout venant sont les meilleurs en terme de caractéristiques intrinsèques utilisés pour la fabrication des mélanges routiers traités aux liants hydrauliques (NF EN 14 227).

Cette utilisation, qui implique la connaissance des caractéristiques mécaniques des produits, est plus ou moins développée selon les bassins charbonniers.

▲ **Zone des HBNPC (Houillères du Bassin Nord Pas-de-Calais)**

On retiendra que les schistes rouges sont devenus rares dans ce bassin. Ceux encore disponibles, en diminution, présentent des qualités irrégulières (combustion imparfaite, aspect plus ou moins cendreuse).

Au global, les gravillons issus des opérations de concassage-criblage ne présentent que très rarement les caractéristiques intrinsèques requises pour une utilisation en mélanges liés destinés à la construction de voiries sollicitées. Le liant hydraulique utilisé est généralement soit du laitier granulé de haut-fourneau, des cendres volantes silico-alumineuses, ou une association de ces deux liants (les graves mixtes).

Bien souvent, pour pallier à leur déficit quantitatif mais aussi qualitatif, les gravillons 6/20 mm sont de plus en plus souvent remplacés par des granulats de meilleure qualité, d'une autre nature, des gravillons de calcaire dur par exemple pour ce qui concerne le nord de la France.

Les mélanges évoqués ci-dessus font l'objet de normes de définition (NF EN 14 227 -1,2,3 et 5).

Il est raisonnable d'orienter préférentiellement les graves à base de schistes rouges vers la construction de structures de chaussées peu circulées (reconditionnement des cités minières par exemple).

▲ **Zone des HBL (Houillères du Bassin de Lorraine)**

Pour ce qui concerne le terroir de Sainte Fontaine, les produits routiers liés tels que définis ci-dessus sont essentiellement fabriqués à partir de schistes noirs concassés (concassage de la fraction 50/150 mm du Tout Venant issu du lavoir) qui présentent des caractéristiques intrinsèques d'un niveau nettement supérieur à ceux rencontrés dans le

bassin des HBNPC.(Houillères du Bassin Nord Pas-de-Calais). Les schistes noirs présentent des caractéristiques intrinsèques permettant de les utiliser en tant que granulats pour la fabrication d'une Grave Traitée au liant hydraulique (NF P98-116). A partir de ces matériaux, était fabriquée une Grave Laitier, baptisée Fondaschiste par la Société SOLODET qui en est le promoteur. Le Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Nancy en a étudié la formulation du produit et a suivi les premières applications sur chantier (LRPC Nancy, 2000).

A partir des schistes rouges concassés, il était également proposé en tant que produit routier une Grave Non Traitée 0/31,5 mm "GNT 2". La fabrication de ces produits a été suspendue en 2003 par manque de ressources. Elle est susceptible de reprendre en fonction du gisement.

✧ Zone des HBCM (Les Houillères des Bassins du Centre et du Midi)

Compte tenu de la présence de nombreuses carrières de calcaire à proximité, il n'y pas de propositions de produits routiers liés à partir du terril de la Grand'Combe.

8.4 Usages non routiers

✧ Remblayage des tranchées

Le remblayage des tranchées se fait quasi exclusivement avec le 0/20 mm issu de la fabrication du formoschiste.

✧ Remblaiement de carrières souterraines abandonnées

Un certain nombre de carrières de la région lilloise ont été remblayées par des sables de schistes noirs 0/6 mm avec mise en œuvre par voie hydraulique. Les contrôles réalisés en fin d'opérations ont donné des résultats satisfaisants.

✧ Sols sportifs

De nombreuses opérations d'aménagements d'équipement sportifs ont été réalisés à partir de schistes rouges criblés (fractions 0/3 ; 3/16 et 15/40) sous l'appellation « Schistes sportifs » issus du bassin Lorrain. Plus de 20 millions de m² de surfaces sportives ont ainsi été réalisées (sols sportifs stabilisés, couche de fondation, couche de souplesse) en France mais également en exportation en Belgique, Suisse et Italie.

✧ Aménagements paysagers

La teinte rouge des schistes est exploitée dans ce cadre, essentiellement sous forme de sables 0/6 mm en surface d'allées piétonnières. Quoique relativement friable sous le foulage des promeneurs, c'est probablement actuellement un des derniers débouchés des schistes rouges.

Il est également à noter que les schistes ont été fréquemment utilisés pour les plateformes de bâtiment et les chapes de terrains de jeux.

9 Références bibliographiques

9.1 Publications

- Andrieux P., D'Hem P. (1984) Emploi des schistes houillers brûlés en technique routière. Bulletin of the International Association of Engineering Geology. N-30. Paris;
- Berthe M., 1986. « La valorisation des schistes houillers. » Conférence présentée au Congrès SIM, Douai, 2 juin 1986.
- Boinet J., 1989. « Fabrication d'éprouvettes de schiste peu poreuses – Mesure de leur résistance et de celle de granulats industriels .» Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux – n° 776, 1/89.
- Cammaer C., 1998. “Coal mining and ground water in Flanders (Belgium)” Aard. Meded, 9, pp 83-96.
- Campbell R.N., Lindsay P., Clemens A.H., 2001. “Acid generating potential of waste rock and coal ash in New Zealand coal mines.” Int. J. Coal Geol., 45, pp 163-179.
- Cerchar, « Utilisation des stériles provenant de la préparation des charbons dans les pays du comécom (en polonais) » par CZERWENKA.Z et WIATROK.H – Traduction n° 520-77 – Fiche E.693 – 88 331.
- Cerchar , « Influence des feux de terrils sur les propriétés physico-chimique des stériles » par BLASZCZYK . M et SLIWA . J – (en polonais) – Traduction n° 308-79 – Fiche E.692 – 93 773.
- Cerchar, « Mise au terril et utilisation des déchets des houillères » par BREALEY.S.C . (en anglais) - Traduction n° 63-84 – Fiche E.693 – 108 703.
- Cerchar, « Propriétés des stériles de charbon en génie civil » (en anglais) par CHEN C.Y - Traduction n° 230-80 – Fiche E.693 – 96 511.
- Courtault B, Briand J.P. , Boisson G., « Etude des schistes houillers français – leurs utilisations possibles en cimenterie » Ciments, Bétons, Plâtres, Chaux – n° 740 – 1/83.
- Dang Z., Liu, C., High, M.J., « Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils » Original Research Article Environmental Pollution, Volume 118, Issue 3, Août 2002, Pages 419-426
- De Brandere G., 1991. « Le Formoschiste, c'est quoi » –CETE Nord Picardie – Voirie magazine – n° 21, janvier 1991.
- Delaume J., 1987. « Le lavage sur site des terrils ou l'art d'accommoder les restes – Industrie minérales. » Mines et Carrières – mai 1987.
- Denimal S., 2001. « Impact des terrils houillers du bassin minier Nord-Pas-de-Calais sur la qualité des eaux de la nappe de la craie. », thèse de docteur de l'université de Lille I – 20 décembre 2001.

- Denimal, S., Tribovillard, N., Barbecot, F., Dever, L. (2002). – Leaching of coalmine tips (Nord-Pas-de-Calais Basin, France) and sulphate transfer to the chalk aquifer: example of acid mine drainage in buffered environment. – Environ. Geol., 42/8, 966-981.
- Foos A., 1997. “Geochemical modelling of coal mine drainage, Summit County, Ohio.” Env. Geol., 31, pp 205-210.
- Hanquez E., Berthe M. et Noël B., 1980. « L'utilisation des schistes houillers. » Revue Générale des Routes et Aéroports, RGRA N° 565, juin 1980.
- Hanquez E., 1973. « Utilisation des déchets industriels dans les travaux routiers. » Industrie minérale, janvier 1973.
- Lemaire M. 1987. « L'incorporation de schlamms et de schistes houillers dans les masses pour briques. » Silicates Industriels 1987 – 11/12.
- OCDE, 1997. Recherche en matière de routes et de transports routiers – « Stratégie de recyclage dans les travaux routiers. »
- Ofcard, A., Avenel, J., Heraly, D., Guerin, O., Borrel, L.R., 2001. Delta 3. La plate-forme multimodale de Dourges. Revue travaux, n° 777, pp.39-46.
- León G., Espitia Pérez L., Linares J.C., Hartmann A., Quintana M., 2008. Genotoxic effects in wild rodents (*Rattus rattus* and *Mus musculus*) in an open coal mining area - Original Research Article Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis, Volume 630, Issues 1-2, 15 June 2007, Pages 42-49
- Rossi, P., Raoul, G., Gavois, L. « L'utilisation des sous-produits industriels -Schistes houillers » - Techniques de l'Ingénieur – C5371 – Août 2008

9.2 Documents techniques

- SETRA-LCPC, 1998. « Réseau routier national. Catalogue des structures types de chaussées neuves.»
- SETRA – Acceptabilité environnementale de matériaux alternatifs en techniques routières – Evaluation environnementale – Mars 2011
- CETE de l'Est - Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière – Guide Schistes Houillers , Février 2010
- CETE Nord-Picardie - Filières de valorisation des déchets du BTP et des Co-produits industriels de la région Nord-Pas de Calais – Guide d'aide à la décision à destination des Maîtres d'Ouvrage, Maîtres d'Oeuvre et Bureaux de Contrôles – CRGV – Mars 2011
- LRPC-Nancy-Guides d'utilisation des matériaux lorrains en technique routière. Guide schistes-2010
- PREDIS Nord Pas-de-Calais – Groupe de Travail n°5 “Améliorer la valorisation des

déchets industriels en BTP” – Guides Techniques Régionaux relatifs à la valorisation des déchets et co-produits industriels CETE Nord Picardie/Ecole des Mines de Douai, Juillet 2002

9.3 Normes

NF EN 144 227 « Mélanges traités aux liants hydrauliques. Spécifications ». Parties 1, 2, 3 et 5

NF EN 12 620+A1 « Granulats pour béton »,

NF P 11 300 « Exécution des terrassements. Classification des matériaux utilisables dans la réalisation des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières »,

XP P 18 545 « Granulats. Éléments de définition. Conformité et codification »

9.4 Sites internet

BRGM <http://www.brgm.fr/projet/gestion-dechets-industrie-extractive>

Rapport BRGM : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-54910-FR.pdf> ;
<http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-50829-FR.pdf>

Chaîne des terrils

<http://www.chainedesterrils.eu/>

Histoire du charbon dans la région Nord - Pas de Calais

<https://bassin-minier-regis.jimdofree.com/un-peu-d-histoire/histoire-du-charbon-en-nord-pas-de-calais/>

10 Auteurs et relecteurs

Auteurs OFRIR1	
Relecture d'experts OFRIR1	Céline Chouteau Guillaume Gay
Relecture comité de pilotage	
Auteurs OFRIR2	Hervé Coulon
Relecture d'experts OFRIR2	
Relecture bureau	Rabia Badreddine, Laurent Château, Agnès Jullien
Date de mise en ligne, version finale	Janvier 2014