

RAPPORT D'ÉTUDE
DRA-14-144975-05566A

02/07/2014

**ETUDE RELATIVE À LA SÉCURITÉ D'UNE
INSTALLATION DE STOCKAGE ET DE
MANUTENTION DE CHARBON VIS-À-VIS DES
RISQUES D'INCENDIE**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

**Étude relative à la sécurité d'une installation de stockage et de manutention
de charbon vis-à-vis des risques d'incendie**

Direction des Risques Accidentels

Client : SOCIÉTÉ LE NICKEL - NOUMÉA

Liste des personnes ayant participé à l'étude : Thangavelu JAYABALAN,
Sébastien EVANNO, Agnès JANES, Peggy GRUEZ.

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalent qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Étant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

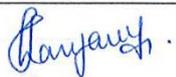
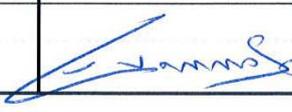
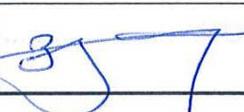
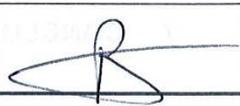
	Rédaction	Relecture	Vérification	Approbation
NOM	T. JAYABALAN	S. EVANNO	B. DEBRAY	F. ROUSSEAU
Qualité	Ingénieur Unité Procédés et Énergies Propres et Sûrs Direction des Risques Accidentels	Ingénieur Unité Procédés et Énergies Propres et Sûrs Direction des Risques Accidentels	Responsable Unité Procédés et Énergies Propres et Sûrs Direction des Risques Accidentels	Responsable Pôle Substances et Procédés Direction des Risques Accidentels
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	4
2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE MANUTENTION ET DE STOCKAGE DU CHARBON	5
2.1 Réception du charbon transporté par bateau	5
2.2 Transport entre le quai de déchargement et le bâtiment de stockage.....	5
2.3 Bâtiment et gestion du stockage du charbon	6
2.4 Reprise et concassage.....	8
3. GÉNÉRALITÉS SUR LE PHÉNOMÈNE D'AUTO-ECHAUFFEMENT	10
4. CARACTERISTIQUES DU CHARBON STOCKÉ.....	12
4.1 Propriétés physico-chimiques du charbon utilisé	12
4.2 Caractérisation de l'aptitude à l'auto-échauffement du charbon.....	13
4.2.1 Description des essais.....	13
4.2.2 Résultats des essais	14
4.2.3 Conclusion relative aux résultats des essais	16
5. BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE DU CHARBON	18
5.1 Organisation du stockage dans le bâtiment ou sous hangar.....	18
5.1.1 Limitation des entrées d'air	18
5.1.2 Configuration et utilisation du stock	19
5.1.3 Stockage dans des endroits sûrs.....	19
5.2 Surveillance du stockage de charbon	19
5.2.1 Moyens de détection	20
5.3 Moyens d'intervention	21
6. RECOMMANDATIONS DE SECURITÉ À METTRE EN OEUVRE VIS-A-VIS DU RISQUE D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT SUR LE STOCKAGE EN PROJET	22
6.1 Configuration de stockage du charbon.....	22
6.2 Recommandations de sécurité à mettre en œuvre pour maîtriser le risque d'auto-échauffement.....	22
6.2.1 Moyen de prévention.....	22
6.2.2 Moyen de détection d'un auto-échauffement.....	23
6.2.3 Moyens de lutte.....	24
7. CONCLUSION.....	25
8. LISTE DES ANNEXES	26
9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	27

1. INTRODUCTION

La SOCIÉTÉ LE NICKEL (SLN) exploite l'usine de nickel de Doniambo à Nouméa. La société SLN utilise une très grande quantité d'électricité pour alimenter son usine pyro-métallurgique. La société SLN possède sa propre centrale électrique, qui lui assurera à terme 100% de ses besoins.

La société SLN a décidé en 2012 de remplacer la centrale électrique actuelle en fioul arrivant en fin de vie par deux chaudières plus modernes fonctionnant au charbon, d'une capacité de 90 MW chacune. La société SLN mène actuellement la rédaction du dossier de demande d'autorisation d'exploitation pour ce site. L'INERIS a déjà réalisé une étude (Réf: DRA-08-91331-02519A) sur plan, relative à une centrale à charbon pour la société SLN en 2008. Depuis 2008, le contexte et le projet de centrale à charbon a évolué et de nombreuses modifications ont eu lieu, comme la spécification du charbon utilisé, la configuration, les dimensions du stockage de charbon, la quantité de charbon stocké, etc.

La société SLN sollicite donc l'INERIS pour évaluer les risques d'incendie et formuler des recommandations pour la gestion du stockage d'une grande quantité de charbon (60 000 T) dans un bâtiment couvert mais non fermé sur les cotés. Le bâtiment de stockage se trouve sur le site de la centrale.

La présente prestation a fait l'objet :

- ✓ d'une offre réf. DRA-14-144975-01625D, en date du 05 mars 2014 ;
- ✓ d'une commande de la société SLN n° 263438, du 14 mars 2014 ;
- ✓ d'un accusé de réception de commande réf. DRA-14-144975-04106A, du 14 avril 2014 ;
- ✓ de la fourniture des informations (plan, caractéristiques du charbon, etc.) par M. FERRET, par mails ;
- ✓ de la réception de l'échantillon du charbon par l'INERIS le 15 avril 2014 ;
- ✓ de l'envoi des résultats des essais sur l'auto-échauffement de charbon 'WHITEHAVEN' par l'INERIS, par mail (réf. DRA-14-144975-05444A) daté du 21 Mai 2014 ;
- ✓ de l'envoi du projet de rapport final le 05 juin 2014.

2. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION DE MANUTENTION ET DE STOCKAGE DU CHARBON

La présente étude concerne la sécurité vis-à-vis des risques d'auto-échauffement et d'incendie du stockage de charbon dans un bâtiment couvert. Le stockage du charbon sur le site de la centrale est effectué en suivant les étapes suivantes :

- réception du charbon par bateau ;
- transport entre le quai de déchargement et le stockage couvert ;
- stockage dans un bâtiment couvert ;
- reprise de charbon stocké pour le concassage.

La description de ces différents éléments a été fournie par la société SLN et n'a pas fait l'objet d'une visite de site. La centrale consommera environ 1700 tonnes de charbon par jour en fonctionnement nominal, soit environ 600 000 tonnes de charbon par an.

2.1 RÉCEPTION DU CHARBON TRANSPORTÉ PAR BATEAU

Le charbon utilisé dans la centrale proviendra d'Australie et sera livré par des navires vraquiers de 40 000 tonnes au quai de déchargement du port à Doniambo (Nouméa).

Une quinzaine de bateau par an seront nécessaires (soit environ un toutes les trois semaines) pour satisfaire le besoin en charbon de la centrale électrique. La capacité moyenne d'un bateau est de 40 000 t. Le déchargement de charbon du bateau vers le quai sera effectué par les grues construites et adaptées pour effectuer ces opérations.

2.2 TRANSPORT ENTRE LE QUAI DE DÉCHARGEMENT ET LE BÂTIMENT DE STOCKAGE

Le charbon sera transporté uniquement par camion du quai de port jusqu'au bâtiment de stockage. Les camions sont de type routier (12 roues), chaque camion a une capacité de 30 m³, soit environ 24 tonnes de charge.

La route utilisée par le camion sera goudronnée. Elle sera humidifiée régulièrement par une arroseuse pendant toute la durée du déchargement pour éviter les relevages de poussières de charbon ou de minerai. L'eau utilisée pour cette opération sera récupérée et traitée.

Six à huit camions transporteront le charbon avec une cadence de quatre cycles par heure, compatible avec la cadence des grues du vraquier. La route empruntée par les camions entre le quai et le hangar de stockage sera bien distinctes entre les trajets 'aller' et 'retour', pour éviter les accidents. Les camions entreront dans l'enceinte de la centrale électrique par la porte nord-ouest, puis dans le stockage couvert par l'une des deux portes de 15 mètres de large situées sur le côté ouest.

Des ronds-points délimités dans le bâtiment de stockage permettront de gérer les déchargements, ainsi que la circulation en sens unique (cf. Annexe 1).

Des systèmes de pulvérisation d'eau seront présents dans les charpentes tout le long du bâtiment et seront déclenchés au niveau des zones de déchargement pour abattre les poussières de charbon.



Figure 1 : Vue aérienne du circuit de fourniture et de stockage du charbon

2.3 BÂTIMENT ET GESTION DU STOCKAGE DU CHARBON

Le stockage du charbon est effectué dans un bâtiment couvert de type hangar ouvert sur les cotés. Les dimensions de ce bâtiment de stockage apparaissent sur la figure 2 :

- largeur : *environ 75 m,*
- longueur : *200 à 210 m,*
- hauteur : *30 m.*

Le stockage dans le bâtiment sera effectué en deux tas de charbon : le tas en cours de consommation, et le tas qui sera constitué lors du déchargement d'un bateau. Le bâtiment pourra contenir environ 60 000 tonnes de charbon.

Au niveau de dimension de stockage du charbon, les tas de charbon atteindront une hauteur maximale de 11 mètres. Ils seront constitués à l'aide de pelles équipées de godets de 3,2 m³. Les camions déchargeront le charbon au pied des tas constitués ; les pelles le reprendront d'abord pour le déposer jusqu'à une hauteur allant jusqu'à 6 mètres ; puis elles monteront sur le tas, et chercheront du nouveau charbon déposé par les camions pour le monter jusqu'à environ 11 mètres.

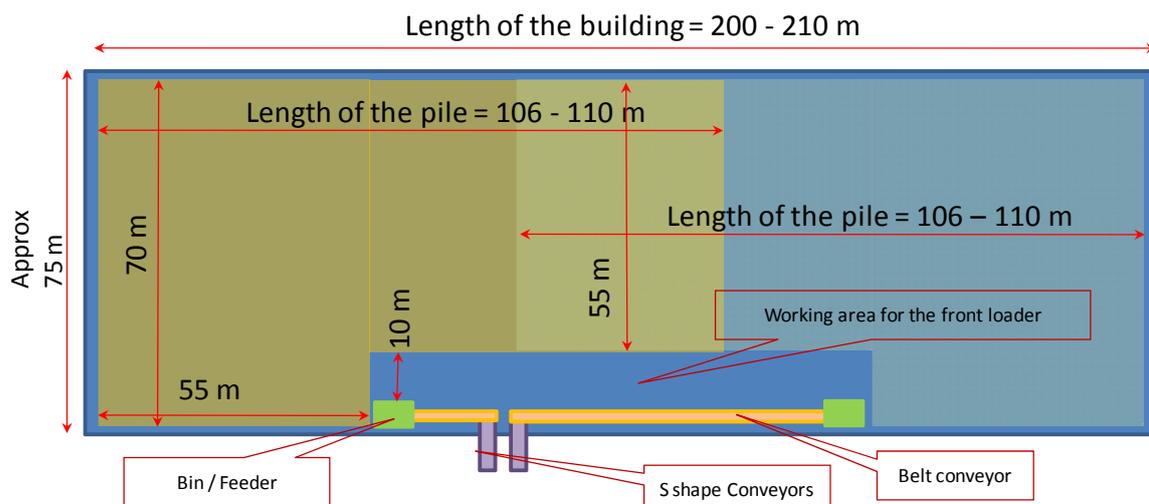


Figure 2 : Dimension du bâtiment de stockage et du stockage de charbon

Les tas de charbon seront divisés en deux (cf. Figure 2), le premier contiendra 40 000 tonnes et mesurera environ 110 m de long, et le complément de 20 000 t s'étendra sur environ 50 m de long. La largeur des deux tas sera d'environ 70 m à l'extrémité et 55 m au milieu. Cette différence de largeur est liée à la présence d'un espace de travail. Une distance de sécurité de 30 mètres entre les deux tas devra être conservée pour permettre la circulation des camions.

Comme un bateau contient 40 000 tonnes, le tas en cours de consommation devra être entamé de plus de la moitié pour qu'il y ait une place suffisante pour le déchargement et la constitution d'un nouveau tas. A la fin d'un déchargement, le nouveau tas sera d'environ 110 mètres de long, tandis que le tas en cours de consommation sera d'environ 50 mètres de long.

Le charbon sera consommé dans l'ordre "premier entré, premier sorti", ce qui limitera son stockage à une durée comprise entre 35 jours (fonctionnement nominal de la centrale) et 45 jours (fonctionnement à 75%). Un exemple de constitution et de reprise du tas de charbon est montré dans la figure 3.

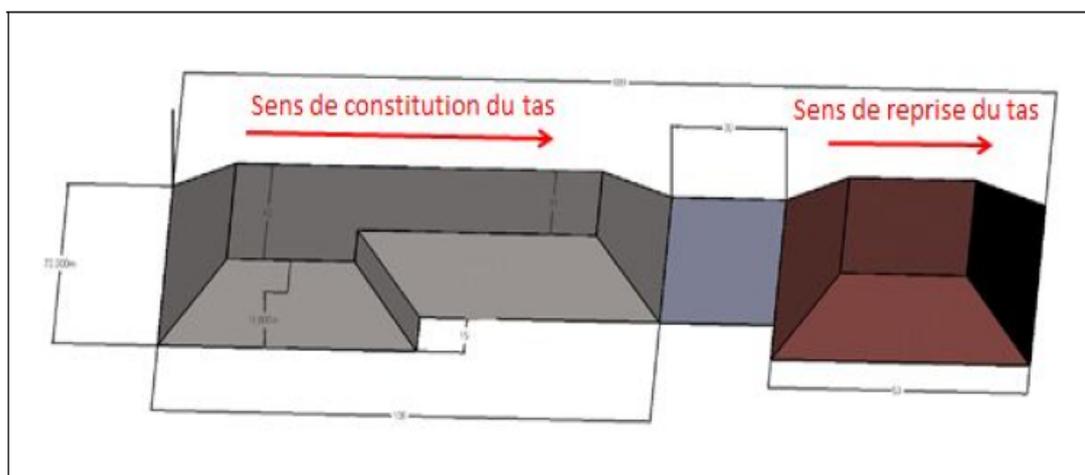


Figure 3 : Constitution et reprise des tas

Le bâtiment de stockage sera couvert mais non fermé, ce qui évitera les risques engendrés par les espaces confinés (explosion, CO,...). Les envols de poussières seront limités par l'humidité naturelle du charbon, de l'eau étant pulvérisée en cas de charbon trop sec et lors des manutentions. Une teneur constante en eau du charbon à l'entrée de la chaudière permettra de minimiser les réglages de fonctionnement de la centrale.

Le sol du bâtiment de stockage sera constitué d'une couche de charbon compressé, afin d'éviter de polluer le charbon repris par la chargeuse avec des morceaux de béton ou des scories. La compression du charbon évitera son auto-échauffement.

Un résumé des capacités et des fréquences de rotation des différents équipements nécessaires pour le déchargement et la mise en tas du charbon est indiqué dans le tableau 1.

	Déchargement bateau	Transport Quai - stockage	Mise en tas dans stockage
Unités	Grues	Camions	Pelles
Nombre d'unités	4	7	2
Charge utile unitaire (m3)		30	3,2
Charge utile unitaire (t)	10	24	2,6
Nombre de cycles par heure	25	4	144
Disponibilité	75%	100%	90%
Débit (t/h)	750	672	664
<hr/>			
Contenance bateau (t)	40 000		
Débit de déchargement (t/h)	664		
Durée déchargement (h)	60		

Tableau 1 : Capacités et fréquences de rotation des équipements utilisés pour le déchargement du charbon

2.4 REPRISE ET CONCASSAGE

La reprise du charbon pour alimenter les chaudières sera effectuée par une chargeuse. Elle sera effectuée durant 8 heures par jour, tous les jours de l'année.

La chargeuse poussera le charbon dans des trémies d'alimentation situées à l'est du bâtiment de stockage, au milieu des tas, afin de minimiser ses déplacements. Des accès d'une largeur de 10 mètres permettront à la chargeuse de se déplacer entre les convoyeurs et les tas de charbon (cf. figure 4). La reprise pourra être effectuée à un débit de 220 t/h, soit plus de trois fois la consommation de charbon de la centrale, ce qui permet de n'effectuer la reprise du charbon que durant un "quart".

Les convoyeurs implantés sous les trémies d'alimentation seront d'abord horizontaux, puis verticaux ("S-conveyors" - cf. figure suivante), et amèneront le charbon en haut du bâtiment concasseur à une altitude d'environ 30 mètres.

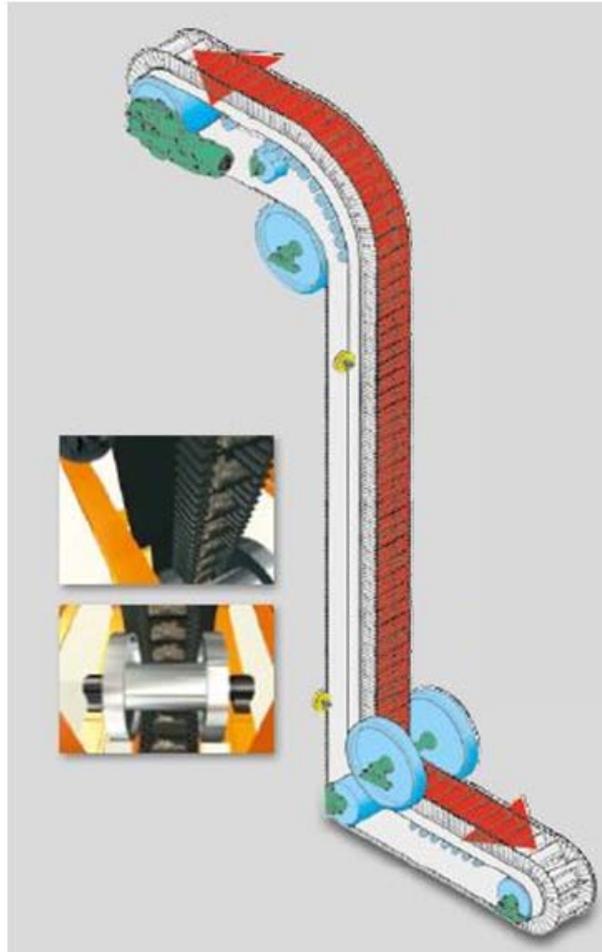


Figure 4 : Schéma d'un convoyeur en forme S

Après passage du charbon au travers d'un crible, le charbon d'une granulométrie supérieure à 20 mm sera concassé pour ne pas dépasser cette granulométrie, qui est le maximum accepté par les broyeurs de la centrale. L'unité de criblage/concassage sera doublée pour des raisons de fiabilité, ce qui permettra d'intervenir sur une des unités pendant que l'autre est en fonctionnement. Néanmoins en cas de besoin, les deux unités pourront fonctionner simultanément.

Les installations de concassage / criblage seront intégrées dans un bâtiment qui limitera les émissions sonores. Un système d'abattage des poussières par brumisation permettra d'assainir l'environnement de cet atelier en période sèche et de réduire le risque d'explosion.

Hors incident, le concassage, comme la reprise, ne sera effectuée que 8 heures par jour, le temps de remplir les trois silos journaliers par chaudière. Après concassage, le charbon sera emmené par un convoyeur (altitude: ~20 mètres) vers les chaudières.

3. GÉNÉRALITÉS SUR LE PHÉNOMÈNE D'AUTO-ECHAUFFEMENT

Le mécanisme d'auto-échauffement peut s'expliquer qualitativement de la manière suivante : lorsque les conditions de dépôt ou de stockage d'une substance combustible sont telles que la chaleur dégagée par les réactions d'oxydation internes au stockage n'est pas intégralement dissipée par les échanges thermiques entre le système réactionnel et le milieu extérieur, il se produit une élévation de température. Cette augmentation de la température augmente la vitesse d'oxydation selon une loi exponentielle et, par conséquent, le dégagement de chaleur est accru en raison du gradient de température plus important. On obtient alors soit un état stationnaire où toute la chaleur est évacuée vers l'extérieur, soit un emballement de l'auto-échauffement de la substance combustible aboutissant à sa combustion vive si les réactions d'oxydation ne sont pas freinées par défaut d'oxygène.

Tous les solides combustibles et oxydables peuvent s'échauffer spontanément dans certaines conditions de stockage. Les matières combustibles réagissent avec l'oxygène de l'air dès la température ambiante avec une vitesse d'oxydation d'autant plus grande que ces matières ont une granulométrie plus fine et donc une surface spécifique plus élevée.

Le phénomène d'auto-échauffement repose sur les deux paramètres principaux :

- La température du produit, qui détermine la cinétique de production de chaleur par oxydation ou par d'autres phénomènes thermo-dépendants (fermentation, condensation),
- la dimension du stockage (aspects liés aux échanges thermiques).

Les principaux facteurs qui influencent cette oxydation concernent :

- la température de stockage,
- la teneur en humidité,
- les conditions climatiques,
- les dimensions du stockage,
- la répartition granulométrique du combustible,
- la quantité et la nature d'autres produits éventuellement présents.

Dès lors que la température du combustible dépasse la température critique, le phénomène d'auto-échauffement s'initie. Ceci va conduire à une augmentation irréversible lente puis progressive de la température du combustible (selon une croissance exponentielle, la vitesse d'auto-échauffement doublant tous les 10°C), selon les principales phases suivantes :

- augmentation jusqu'à 100°C : observation de vapeur d'eau liée à l'évaporation de l'humidité contenue dans la matière,
- augmentation jusqu'à 150°C et début de la phase de pyrolyse du combustible,

- plage de pyrolyse, phénomène d'oxydation du produit en teneur réduite en oxygène (150°C – 400°C) avec génération et accumulation de CO (gaz toxique et inflammable) dans le cas des stockages confinés. Ceci peut conduire à la formation d'une ATEX air / CO,
- plage de thermolyse : phénomène de dégradation thermique pouvant atteindre 800°C avec formation de charbon et de gaz inflammable (CH₄, H₂...).

La cinétique du phénomène d'auto-échauffement doit être reliée à la durée du stockage. C'est ainsi que des notions de stockage de longue durée (plusieurs jours) peuvent être déterminées pour différents types de combustibles. Il s'agit de périodes au-delà desquelles le risque d'auto-échauffement devient important.

L'auto-échauffement se produit surtout dans les dépôts et dans les tas de charbon (stockage en vrac ou en silo) où l'on constate dans certaines conditions que la température dans la masse n'est pas constante mais s'élève progressivement.

En fait, les charbons ont la particularité de réagir avec l'oxygène de l'air dès la température ambiante. Or les réactions d'oxydation sont exothermiques et produisent donc de la chaleur. La dissipation de cette chaleur va dépendre de l'intensité des échanges thermiques entre le milieu réactionnel formé par le charbon et le milieu extérieur, c'est à dire entre les sources de chaleur et les sources de refroidissement.

Le charbon étant un matériau poreux oxydable, il peut également adsorber des gaz, par exemple condenser la vapeur d'eau. Les principaux phénomènes de sources de chaleur seront donc :

- les réactions d'oxydation : oxydation du charbon et oxydation des pyrites (lorsqu'elles sont présentes),
- la fixation d'humidité.

Le refroidissement naturel du charbon s'effectue par :

- la circulation de l'air entre les morceaux (convection),
- le contact entre les morceaux (conduction),
- l'évaporation de l'humidité.

Le phénomène de condensation de la vapeur d'eau est un phénomène exothermique, contrairement à celui d'évaporation qui est endothermique. Ainsi, un charbon sec stocké dans un endroit humide peut s'échauffer légèrement par ce phénomène. Une reprise de 1% d'humidité sur un charbon sec correspond à une augmentation de température de l'ordre de 20°C. Cette augmentation significative de la température augmente donc le risque d'auto-échauffement. Un stockage de volume tel qu'il n'y a pas de risque à température ambiante peut s'auto-échauffer après le phénomène de fixation de l'humidité si la dimension critique, à la nouvelle température maximale atteinte, est dépassée.

Au niveau des caractéristiques du charbon, une granulométrie importante du charbon favorise le risque d'auto-échauffement. Une teneur élevée en pyrite (FeS₂) est un facteur aggravant pour l'auto-échauffement des charbons bruts. En effet, le soufre peut réagir de façon exothermique (217 kcal/mol) avec l'eau et l'oxygène pour donner du sulfate de fer et l'acide sulfurique.

4. CARACTERISTIQUES DU CHARBON STOCKÉ

4.1 PROPRIÉTÉS PHYSICO-CHIMIQUES DU CHARBON UTILISÉ

La société SLN a choisi le charbon référencé 'WHITEHAVEN', provenant de Newcastle d'Australie pour cette étude. Ses caractéristiques sont fournies par la société SLN. Elles proviennent d'analyses effectuées par la société SLN, de ses fournisseurs de charbon et de laboratoires externes. Les caractéristiques physico-chimiques sont montrées dans le tableau 2 et en annexe 3.

	SPECIFICATION SLN	CHARBON - Réducteur Vendeur	CHARBON - Réducteur	Ecart (absolu)	Ecart Admis. p = 95%	REPARTITION GRANULOMETRIQUE
SUR_BRUT						CERTIFICAT VENDEUR Fraction (mm) % Tranche % refus cumulé
Taux d'humidité %	< 10,00	12.20	12.20	0.00		
PCI kcal/kg		6,124.00	5,963.00	161.00		
SUR_AIR_SEC						SPECIFICATION SLN 0 - 1 mm < 18,00 % > 40 mm < 3,00 % Poids échantillon < 100,00 %
Humidité résiduelle %		2.50	2.50	0.00		
Matières volatiles %		29.90	27.60	2.30		
Cendres %		9.20	10.10	0.90		
Carbone fixe %		58.40	59.80	1.40		
Soufre total %		0.41	0.46	0.05		
Soufre fixe %		0.19	0.35	0.16		
Phosphore ppm		10.00	16.00	6.00		
PCS kcal/kg		7,112.00	6,932.00	180.00		
PCI kcal/kg		6,881.00	6,703.00	178.00		
SUR_SEC						CERTIFICAT DONIAMBO Fraction (mm) % Tranche Refus cumulé % > 40 mm 4.70 4.7 30 - 40 mm 5.30 10.0 20 - 30 mm 15.83 25.8 10 - 20 mm 20.95 46.8 5 - 10 mm 15.10 61.9 4 - 5 mm 4.51 66.4 3.15 - 4 mm 2.95 69.3 2 - 3.15 mm 6.03 75.4 1 - 2 mm 9.27 84.6 0 - 1 mm 15.53 100.2
Matières volatiles %	< 33,00	30.67	28.31	2.36	2.00	
Cendres %	< 16,000	9.44	10.36	0.92	1.00	
Carbone fixe %	> 53,00	59.90	61.33	1.44	2.50	
Soufre total %	< 0,800	0.42	0.47	0.05	0.10	
Soufre fixe %	< 0,40	0.20	0.36	0.17	0.10	
Phosphore ppm	< 120,0	10.26	16.41	6.15	20.00	
PCS kcal/kg		7,294.00	7,109.00	185.00	200.00	
PCI kcal/kg		7,058.00	6,875.00	183.00	200.00	
SUR_PUR						
Hydrogène %		4.86	4.86	0.00		

ASH ANALYSIS	(Dry Basis)
SiO ₂	49.7%
Al ₂ O ₃	25.4%
Fe ₂ O ₃	9.5%
CaO	4.81%
MgO	2.68%
Na ₂ O	1.53%
K ₂ O	0.20%
TiO ₂	1.32%
Mn ₃ O ₄	0.26%
P ₂ O ₅	0.03%
SO ₃	5.2%
BaO	0.06%
Undetermined	0%

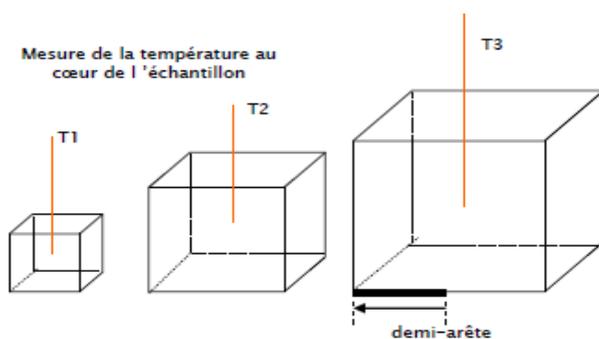
Tableau 2 : Caractéristiques physico-chimiques du charbon 'WHITEHAVEN'

4.2 CARACTÉRISATION DE L'APTITUDE À L'AUTO-ÉCHAUFFEMENT DU CHARBON

L'INERIS a réalisé un essai d'auto-échauffement en étuves isothermes (EN 15188) sur le charbon WHITEHAVEN. Cet échantillon a été réceptionné à l'INERIS le 15 Avril 2014 et a été référencé '14AM792'.

4.2.1 Description des essais

L'essai consiste à déterminer la température critique d'auto-inflammation de volumes cubiques croissants d'un combustible solide. Lorsque le volume des récipients cubiques augmente, la température minimale d'auto-inflammation diminue et il est possible en théorie d'extrapoler jusqu'à un volume de stockage plus important. Pour cela, les échantillons sont placés à température ambiante dans des récipients de forme cubique dont les parois sont formées par une toile métallique à mailles suffisamment fines pour éviter le tamisage, mais qui ne freinent pas la diffusion d'oxygène. Le récipient est ensuite introduit à pression atmosphérique dans une étuve isotherme ventilée à air chaud régulée à une température donnée. A l'aide d'un thermocouple placé au centre de l'échantillon, on observe si la température de l'échantillon se stabilise à la température de l'étuve, ou si elle s'élève rapidement.



Un nouvel essai est ensuite effectué à une température plus élevée ou plus basse suivant le résultat de l'essai précédent, de façon à encadrer à 5 °C près la température de l'étuve qui conduit à un auto-échauffement de l'échantillon. Cette température est appelée température critique d'auto-échauffement. Les essais d'auto-échauffement en étuve isotherme ont été effectués sur quatre volumes de stockage (8, 125, 343 et 1000 cm³), dont les dimensions caractéristiques (demi-arête du cube) sont respectivement 1, 2.5, 3.5 et 5 cm.

En réalisant des essais sur différents volumes, il est possible de corréliser la température d'auto-échauffement à la dimension du stockage. En effet, les résultats des essais de stockage en étuve isotherme peuvent être corrélés par une loi mathématique s'appuyant sur la théorie de l'auto-échauffement pour des dimensions plus importantes que celles étudiées expérimentalement et/ou pour des formes différentes. Ce calcul d'extrapolation fait appel notamment à l'hypothèse d'une libre diffusion de l'oxygène de l'air dans le dépôt et à l'échange thermique par conduction dans le matériau. La dimension critique est déterminée pour un stockage de forme cubique cylindrique ou plan. En effet, le calcul intègre un facteur dépendant de la forme du stockage.

4.2.2 Résultats des essais

L'évolution des températures mesurées au centre de l'échantillon (charbon WHITEHAVEN) en fonction du temps pour les différents volumes, pour les températures d'étuve encadrant la température critique d'auto-échauffement, est donnée en annexe 2.

La température critique d'auto-échauffement pour les différents volumes de cube est présentée dans le tableau 3.

Volume (cm³)	8	125	343	1000
Demi-arête (cm)	1	2,5	3,5	5
Température critique du charbon 'WHITEHAVEN' (°C)	168	135	125	115

Tableau 3 : Températures critiques déterminées pour les différents volumes d'essai en étuves isothermes

La dimension critique correspond à la demi-arête d'un cube et peut, dans une première approximation, être assimilée au rayon d'un cylindre de hauteur infinie ou à l'épaisseur d'un dépôt plan infini.

Le courbe (figure 5) montre que :

- la hauteur critique d'un tas de charbon (assimilé ici à un cube) à une température de 30°C est égale à environ 4 m,
- le diamètre critique d'un silo de stockage cylindrique à une température de 30°C est égal à environ 4 m,
- l'épaisseur critique d'un dépôt de charbon plan à une température de 30°C est égale à environ 2,6 m.

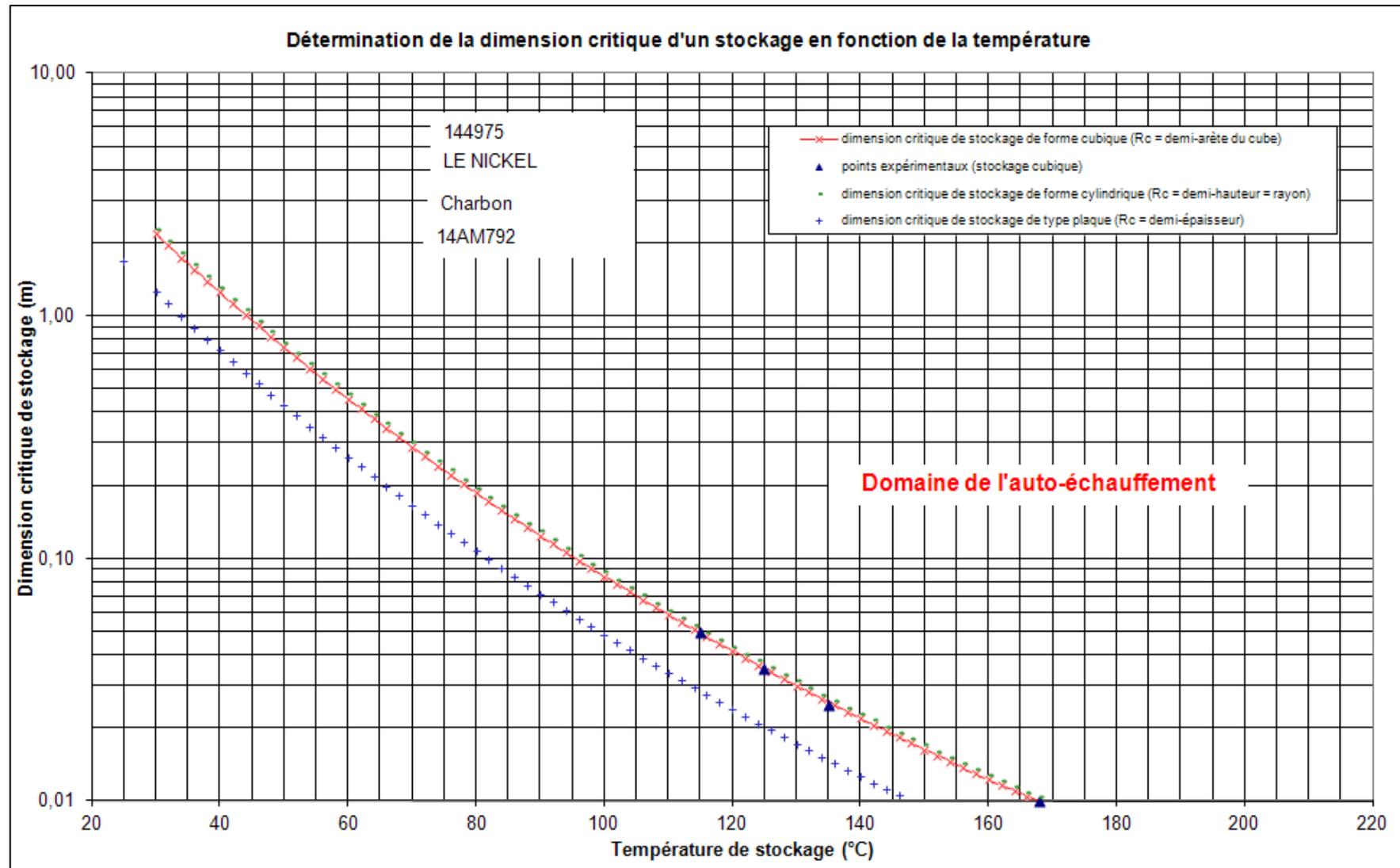


Figure 5 : Extrapolation de la dimension critique de stockage en fonction de la température pour le charbon 'WHITEHAVEN'

Estimation du temps d'induction

Une donnée importante à connaître en plus des températures et dimensions critiques est le temps d'induction précédant l'inflammation d'un dépôt par le phénomène d'auto-échauffement. Pour le charbon étudié, le temps nécessaire à l'auto-inflammation d'un volume dans des conditions de dimension et de température critiques a été estimé, pour différentes températures critiques. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant.

Température critique (°C)	Dimension critique (demi-épaisseur critique d'un stockage sous forme d'une plaque) (m)	Temps d'induction estimé (mois)
25	1,7	7
30	1,3	4
34	1	2,5
40	0,7	1,3

Tableau 4 : Résultats de l'estimation du temps d'induction en fonction de la température de stockage, pour un stockage dans des conditions critiques

Les résultats de temps d'induction montrent qu'un auto-échauffement pourrait se produire :

- après environ 1,3 mois pour un dépôt sous forme d'une plaque d'environ 1,4 m de hauteur stocké à 40°C,
- après environ 4 mois pour un dépôt sous forme d'une plaque d'environ 2,6 m de hauteur stocké à 30°C.

Ces durées ne sont valables que pour les conditions (taille et température critiques) spécifiées. Ainsi, dans le cas d'un échantillon stocké en plus gros volume ou à plus haute température, le temps précédant son auto-inflammation sera d'autant plus faible par rapport aux valeurs indiquées que l'écart entre les conditions réelles et les conditions critiques est élevé.

4.2.3 Conclusion relative aux résultats des essais

Dimension critique de stockage du charbon

L'extrapolation des essais d'auto-échauffement en laboratoire mettent en évidence une hauteur critique de stockage d'environ 2,6 m à 30°C pour le charbon WHITEHAVEN. Si la température ambiante augmente à plus de 30 °C, en particulier pendant l'été, la hauteur critique de stockage du charbon passera à moins de 2,6 m. La hauteur maximale de stockage du charbon ne pourra pas donc dépasser le 2 à 3 m pour quelques jours.

Dans la spécification du stockage fournie par la société SLN, la hauteur de stockage prévue est égale à de 11 m. Aussi, un risque d'auto-échauffement ne peut pas être exclu et est considéré comme élevé dans la configuration de stockage proposée par la société SLN.

Temps de stockage

En ce qui concerne le temps de stockage du charbon, le temps d'induction est estimé à environ 4 mois pour une hauteur de stockage d'environ 2,6 m à 30 °C. Cette dimension sera considérablement diminuée si la température de stockage augmente, comme l'indique le tableau 4. Par exemple, nous constatons qu'une augmentation de la température ambiante de 4 °C réduit la hauteur de stockage critique de 2,6 à 2 m et le temps d'induction diminue de 4 mois à 2,5 mois environ. Ces temps d'induction estimés sont à minorer dans le cas où la température initiale du charbon est plus élevée, par exemple dans le cas d'un auto-échauffement du produit pendant le transport dans le bateau, du fait des conditions climatiques, etc.

Comparaison des résultats de l'aptitude à l'auto-échauffement du charbon Australiens testé dans la présente étude avec celle du charbon testé en 2008

Volume (cm ³)	8	125	345	1000	
Demi-arête (cm)	1	2,5	3,5	5	
Températures critiques d'auto-échauffement °C					
Présente étude	Charbon 'WHITEHAVEN'	168	135	125	115
Résultats de l'étude de 2008 Réf : DRA-08-91331-02519A	ULAN	222	162	142	132

Tableau 5 : Comparaison des réactivités entre 2 différents charbons Australiens testés dans la présente étude et celle de 2008 (DRA-08-91331-02519A)

Les résultats du tableau 5 comparent la réactivité des deux charbons Australiens 'ULAN' et 'WHITEHAVEN' testés respectivement en 2008 et en 2014. Les résultats montrent que les températures critiques d'auto-échauffement du charbon 'WHITEHAVEN' sont inférieures à celles du charbon 'ULAN'. Ceci permet d'en conclure que l'aptitude à l'auto-échauffement du charbon WHITEHAVEN est supérieure à celle du charbon testé en 2008.

En considérant les différents résultats des essais d'auto-échauffement, nous constatons une forte réactivité du charbon 'WHITEHAVEN' vis-à-vis de l'auto-échauffement. Par conséquent, il est très important d'avoir une bonne gestion du charbon stocké avec des mesures organisationnelles, de prévention et de détection en place pour réduire le risque d'auto-échauffement.

5. BONNES PRATIQUES DE STOCKAGE DU CHARBON

L'objectif de cette partie est de présenter les bonnes pratiques existantes en matière de stockage du charbon, destinées à limiter les risques d'auto-échauffement.

L'INERIS a conduit par le passé différentes études et recherches relatives au phénomène d'auto-échauffement et est à l'origine de nombreux documents tels que des référentiels et des publications sur ce thème. Quelques références importantes sont listées ci-dessous :

- *Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA 35 – rapport Omega 11), Connaissances des phénomènes d'auto-échauffement des solides combustibles, 2005.*
- *Incendie des matériaux solides combustibles, CERCHAR, 1990.*
- *Auto-échauffement de matériaux solides combustibles - Etude bibliographique, CERCHAR, 1990.*

Ces documents présentent des connaissances sur les risques liés aux phénomènes d'auto-échauffement, les méthodes de caractérisation de l'auto-échauffement ainsi que les mesures de prévention.

5.1 ORGANISATION DU STOCKAGE DANS LE BÂTIMENT OU SOUS HANGAR

L'organisation du stockage est très importante pour minimiser le risque d'auto-échauffement. Quelques règles pour une bonne organisation du stockage du charbon sont indiquées ci-dessous.

5.1.1 Limitation des entrées d'air

L'entrée d'air dans le stock du charbon est un facteur important qui contribue au phénomène d'auto-échauffement. Pour un volume de charbon donné, l'apport d'oxygène peut se faire par diffusion dans la masse de l'oxygène présent dans l'atmosphère située au-dessus du volume ou par convection dans le cas d'un apport d'air par dessous. L'apport d'oxygène par convection peut entraîner un phénomène exothermique plus rapide avec des niveaux de température plus importants.

Le compactage et/ou l'isolation de tas du charbon est une solution pour réduire des entrées d'air et la vitesse de diffusion.

Compactage du tas

Lorsque le charbon est réactif, il est possible, d'une part, de compacter le tas afin de réduire la vitesse de diffusion de l'oxygène dans le produit et de réduire la hauteur de stockage pour une même quantité de produit, en augmentant la densité apparente, d'autre part. Un compactage efficace permet d'augmenter la demi-hauteur critique de stockage.

Pour réaliser ce compactage, il est nécessaire d'utiliser des engins mécaniques tels qu'un rouleau-compresseur ou un bulldozer.

Isolation du charbon par rapport à l'air ambiant

Lorsque le charbon est très réactif, il est possible de ralentir la diffusion de l'oxygène à l'intérieur du tas en recouvrant le stockage de bâches en plastique ou d'une émulsion de polymère ou de bitume par projection sur la surface. Toutefois, pour que cette méthode soit efficace, il est nécessaire que le revêtement utilisé soit étanche, y compris au niveau de la base du tas. Ceci est particulièrement important dans la mesure où une isolation non étanche augmente le risque d'échauffement en diminuant les échanges thermiques avec l'extérieur et en rendant plus difficile la surveillance du tas.

5.1.2 Configuration et utilisation du stock

Le stockage sera organisé de façon à utiliser les produits dans l'ordre de leur date d'arrivée selon un principe de « premier arrivé, premier utilisé ».

Les stockages seront homogènes et constitués rapidement. On évitera de stocker du produit frais sur un tas ancien car la surface du produit frais est en pleine période de réactivité avec l'oxygène et à l'interface du produit frais/produit stocké depuis un certain temps, il risque d'être soumis à :

- un surcroît de chaleur,
- un surcroît d'air avec effet de cheminée dû au gradient de température entre les deux couches et ce, d'autant plus que la couche ancienne absorbe moins l'oxygène.

Stockage en tas séparés ou en ilots

Il est judicieux de stocker le charbon en tas séparés ou en ilots, de façon à limiter la dimension des stockages, compte tenu de la sensibilité à l'auto-échauffement du produit. La distance entre deux tas de charbon doit être suffisante pour éviter la propagation d'un incendie.

5.1.3 Stockage dans des endroits sûrs

L'environnement du stockage doit permettre l'étalement du produit en couche peu épaisse (de l'ordre de 1m ou moins) en cas d'échauffement. Le stockage doit être situé de manière à pouvoir acheminer facilement les moyens nécessaires aux interventions éventuelles (points d'eau, moyens d'étalement mécaniques), de préférence sur tous ses côtés. Il est préférable d'éviter de stocker le charbon à proximité d'équipements ou d'installations à température élevée, tels que les échangeurs de chaleur, fours, tuyauteries ou réservoirs contenant un produit chaud.

5.2 SURVEILLANCE DU STOCKAGE DE CHARBON

L'objectif de la surveillance du stockage est la détection précoce d'un échauffement du tas de charbon. Quelques règles pour la surveillance de stockage du charbon sont présentées ci-dessous.

5.2.1 Moyens de détection

Le personnel sera formé à la surveillance du stock de charbon. Les consignes de sécurité, les règles élémentaires d'attaque des feux seront affichées en permanence.

Détection visuelle

Des fumées visibles sur un tas de charbon peuvent indiquer la présence d'un auto-échauffement. Ces fumées sont principalement constituées de vapeur d'eau. Des concrétions colorées à la surface du tas peuvent également être un indice d'auto-échauffement.

Lorsque la température augmente, la désorption de l'eau et du méthane se produit. Une fois le dégagement de ces produits terminé, des composés organiques volatils se forment et sont émis. Des odeurs de goudron confirment à ce stade un échauffement important du charbon. Certains de ces gaz sont toxiques et il est nécessaire d'éviter l'exposition des personnes à ces émissions.

Mesures de température

La surveillance de phénomènes d'auto-échauffement doit se baser sur des moyens qui permettent un diagnostic plus fiable que les indices mentionnés ci-dessus. La surveillance d'une élévation thermique mesurée dans le tas s'effectue par des sondes de température placées à demeure. Il peut s'avérer nécessaire, en fonction du cas traité et du risque d'auto-échauffement, de suivre l'évolution de la température du stockage.

Plusieurs moyens peuvent être utilisés pour des stockages soumis au risque d'auto-échauffement :

- soit l'utilisation d'un fer à béton enfoncé dans le tas. Retiré au moment du contrôle, il permet d'estimer sa température. Après la mesure, on le replace strictement au même endroit, ceci pour éviter la formation de cheminées d'appel d'air.
- soit, dans certains cas, l'utilisation de sonde de température permettant de réaliser la mesure des températures afin de connaître suffisamment tôt les risques induits,
- soit l'utilisation d'un tube fermé à une extrémité et contenant un liquide peu volatile qui est enfoncé à demeure dans le tas à une profondeur variable selon les produits : de 1 m à 2 m du sol pour les produits très réactifs, de 2 m à 3 m du sol pour les produits moyennement réactifs, et de 3 m à 4 m pour les produits à vieillissement lent.
- soit la mise en place d'une surveillance par un contrôle périodique des températures par une canne pyrométrique que l'on déplace dans le stockage.

Les mesures sont à réaliser une fois par semaine lorsque la température est inférieure à 30 – 35°C et plusieurs fois par semaine lorsque la température dépasse 35 -50 °C. Lorsque la température est supérieure à 60°C des mesures de lutte doivent être envisagées.

Mesures de la concentration en CO

La mesure de la concentration en CO doit permettre d'assurer une détection précoce d'un éventuel auto-échauffement. Les mesures sont efficaces uniquement pour les enceintes fermées ou semi-confinées avec une ventilation limitée pour pouvoir mesurer la concentration du CO avec fiabilité. En effet, il faut privilégier une analyse de la teneur en CO de façon continue.

Il existe différents systèmes de détection du CO :

- les détecteurs (catalytiques ou IR) : leur seuil minimal est d'environ 50% de la LIE du CO, soit une concentration trop élevée pour la détection précoce d'un auto-échauffement. Le système catalytique peut difficilement fonctionner en atmosphère empoussiérée du fait du colmatage rapide de sa tête de détection,
- l'analyseur électrochimique constitué d'un système de pompe, de filtration et de mesure. Le seuil minimal est de l'ordre de quelques ppm, mais le dispositif sature au-delà de quelques %,
- les systèmes à diodes laser. Ces dispositifs sont nouvellement arrivés sur le marché. La plage de mesure est proche de celle d'un analyseur et l'appareil peut fonctionner dans une atmosphère légèrement empoussiérée.

5.3 MOYENS D'INTERVENTION

Lorsque la température du charbon atteint 60 à 70 °C ou qu'un échauffement est détecté visuellement, la lutte contre l'auto-échauffement doit être engagée.

Étalement du tas et refroidissement à l'eau

L'étalement du tas avec des engins mécaniques sur une épaisseur de l'ordre du mètre et son aspersion ou son noyage avec de l'eau permet d'obtenir le refroidissement complet du charbon. L'eau de mer est également efficace pour cette opération.

Le tas de charbon peut être reconstitué après refroidissement. Il convient toutefois d'identifier l'origine de l'échauffement afin d'adapter si nécessaire la dimension du stockage ou d'éviter les sources d'inflammation externes afin d'éviter un nouvel échauffement.

6. RECOMMANDATIONS DE SECURITÉ À METTRE EN OEUVRE VIS-A-VIS DU RISQUE D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT SUR LE STOCKAGE EN PROJET

6.1 CONFIGURATION DE STOCKAGE DU CHARBON

La configuration retenue par la société SLN pour le stockage du charbon est la suivante :

- Quantité de charbon stockée : 60 000 T ;
- Nombre de tas : 2 tas (40 000 T et 20 000 T) ;
- Durée maximale du stockage dans le hangar : 3 semaines ;
- Hauteur maximale du stockage en tas : 11 m ;
- Bâtiment couvert ouvert sur les côtés.

Du fait de la quantité importante de charbon (60 000 tonnes) mis en œuvre sur le site de stockage et de la réactivité élevée du charbon stocké, le risque prépondérant est l'auto-échauffement du stockage de charbon. L'INERIS a donc formulé des recommandations en termes de prévention et de détection de ce phénomène et d'intervention en cas d'auto-échauffement avéré.

6.2 RECOMMANDATIONS DE SÉCURITÉ À METTRE EN ŒUVRE POUR MAITRISER LE RISQUE D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT

6.2.1 Moyen de prévention

Le risque d'auto-échauffement est lié à la hauteur du stockage. L'exploitation des essais d'auto-échauffement en laboratoire met en évidence une hauteur critique d'environ 2,6 m à 30 °C pour le charbon 'WHITEHAVEN'. Dans le cas où les tas de charbon ne seraient pas compactés, il conviendrait de ne pas dépasser une hauteur du stockage de 2,6 m. Pour la hauteur de 11 m retenue par la société SLN, le charbon doit impérativement être correctement compacté pour limiter la diffusion de l'oxygène autour des grains de charbon dans le stockage.

- Nous proposons donc le compactage du tas de charbon par couches de 0,5 à 1 m d'épaisseur, pour stocker jusqu'à 11 mètres.
Pour la réalisation de ce compactage, des engins mécaniques tels qu'un rouleau-compresseur ou un bulldozer doivent être utilisés. Il faut également veiller à l'homogénéité des tas, en évitant par exemple de stocker du charbon frais sur du charbon ancien.
- Constituer une couche de charbon compacté sur le sol du bâtiment de stockage, afin d'éviter de polluer le charbon repris par la chargeuse avec des morceaux de béton ou des scories et éviter des entrées d'air par le sol.
- La gestion du stock doit être gérée en mode FIFO (First In First Out) :
Le stockage sera organisé de façon à utiliser les produits dans l'ordre de leur date d'arrivée selon le principe « premier arrivé, premier utilisé » (ou « First In-First Out » : FIFO).

- Une attention particulière sera portée aux particules du charbon qui sont collées sur les murs ou parois si présents. Il est indispensable de les éliminer de ces anciens produits avant de remettre du produit frais.
- Afin de limiter les entrées d'air latérale dans le tas, il convient de limiter les forts courants d'air sur le tas en jouant sur l'emplacement du hangar ou la mise en place de pare vent si des vents forts sont envisageables.

En plus des mesures de prévention de l'auto-échauffement, il convient de mettre en place des mesures organisationnelles afin d'éviter l'apport de sources d'inflammation sur le stockage.

6.2.2 Moyen de détection d'un auto-échauffement

Un phénomène d'auto-échauffement se traduit par des indices visuels et olfactifs qui doivent être surveillés par le personnel :

- des changements d'aspect du tas,
- un tas qui fume (apparition de vapeur d'eau blanchâtre)
- des odeurs de goudrons.

Compte tenu de la réactivité et de la quantité du charbon stocké, la surveillance doit être renforcée avec les moyens de détection suivants :

Mesure de la température

- Mesure de la température du charbon à la sortie du bateau pour assurer qu'il n'y a pas eu d'auto-échauffement pendant le trajet.
- La mise en place d'une surveillance par un contrôle périodique de la température, s'avère nécessaire pour la détection précoce d'un éventuel échauffement. La mise en place des sondes de température pour la surveillance de la température est prévue par la société SLN.
- La surveillance est encore renforcée par l'installation d'une caméra infrarouge pour détecter un éventuel auto-échauffement sur la surface de tas. Il faut noter que la camera infrarouge sert à détecter un auto-échauffement uniquement à la surface et en aucun cas ne se substitue à un contrôle par des sondes de température qui ont un rôle de détecter un auto-échauffement dans le stockage.
- Localisation des points de mesure : jusqu'à 1 à 2 m du niveau du sol et en sondant tous les 20 m² de surface du tas.
- Périodicité de la mesure de la température :
 - une à deux fois par semaine lorsque la température est inférieure à 30°C,
 - plusieurs fois par semaine lorsque la température est comprise entre 30°C et 50°C,
 - lorsque la température est supérieure à 60°C, des mesures de lutte contre l'incendie doivent être engagées.

6.2.3 Moyens de lutte

En cas de dépassement d'une température de 60 °C les moyens de lutte contre l'auto-échauffement doivent être engagés.

La lutte contre un début d'échauffement peut se faire, soit par aération mécanique en mobilisant et en étalant les tas sur une épaisseur de 1 m avec ou sans arrosage, soit par arrosage sur place.

- L'injection d'eau peut être réalisée soit à partir d'une rampe d'arrosage, soit par injection d'eau sous pression dans des trous creusés sur le tas. Plusieurs bornes d'incendie sont à mettre en place à proximité du tas de charbon. Cette intervention peut poser des problèmes si l'eau entre en contact avec du charbon incandescent. Il y a donc lieu de prévoir un rayon d'intervention d'au moins 50 m autour du point d'application de l'eau.
 - L'installation d'un réseau d'aspersion d'eau sur toute la surface du tas et des bornes incendie sont prévues par la société SLN.
 - Il faut prévoir un débit d'arrosage à l'eau en cas d'incendie d'environ 3 litre. min⁻¹. m⁻² pendant 40 minutes (par retour d'expérience). Il faut s'assurer de la disponibilité de l'eau à ce débit pour toute la surface. L'application d'un débit inférieur ou pendant une durée plus courte peut conduire à renforcer le phénomène. En effet, l'adsorption d'eau dans le charbon est un phénomène exothermique. L'effet de refroidissement n'est obtenu que lorsque le charbon est saturé en eau.
- Le moyen le plus efficace est l'étalement du tas avec des engins mécaniques. Il est nécessaire pour cela de prévoir une aire de stockage extérieure libre. Il faut noter que l'intervention dans ce cas nécessite de disposer d'une surface suffisante à l'extérieur pour pouvoir étaler le tas en couche de 1m d'épaisseur. La société SLN a indiqué qu'il existe une surface disponible à proximité pour étaler le charbon en cas d'auto inflammation
- Les moyens d'alimentation en eau doivent être prévus à l'avance. Ceci concerne l'implantation de points et de moyens d'alimentation pérennes et dont le débit et/ou le volume sont suffisants.
- En cas d'intervention pour lutter contre un phénomène d'auto-échauffement, le personnel devra être protégé par le port d'EPI (Equipment de Protection Individuelle), notamment par une tenue de feu complète et des appareils respiratoires isolants.
- Des allées de circulation autour du stock sont à aménager,
- Des consignes générales de surveillance et d'intervention en cas de feu sont à établir,
- Assurer la formation du personnel :

D'une façon générale, une attention particulière doit être accordée à la sensibilisation du personnel et à sa formation vis-à-vis des risques d'auto-échauffement du charbon. Il en est de même en ce qui concerne le respect des procédures relatives aux autorisations de travail et aux procédures à appliquer en cas de détection d'un auto-échauffement au niveau d'un tas de charbon et au risque toxique associé à l'échauffement du charbon (émission possible de COV).

7. CONCLUSION

La société SLN a sollicité l'INERIS pour caractériser l'aptitude à l'auto-échauffement d'un charbon stocké sous forme de deux tas dans un hangar, et pour obtenir des recommandations concernant la prévention de l'auto-échauffement et la protection contre l'incendie du stockage.

Les essais d'auto-échauffement réalisés ont mis en évidence une forte réactivité du charbon 'WHITEHAVEN' vis-à-vis de l'auto-échauffement. Par conséquent, il est indispensable de mettre en place une bonne gestion du charbon stocké avec des mesures organisationnelles, de prévention et de détection pour réduire le risque d'auto-échauffement.

Des recommandations techniques et organisationnelles ont été formulées par l'INERIS au chapitre 6 du présent rapport. Moyennant la mise en œuvre de ces recommandations, il est possible d'exploiter l'installation selon les modalités prévues par la société SLN (stockage sur une hauteur de 11 m sous condition de mise en œuvre de compactage du tas de charbon par couche de 0,5 à 1 m d'épaisseur) en maîtrisant les risques liés au phénomène d'auto-échauffement.

8. LISTE DES ANNEXES

Repère	Désignation	Nombre de pages
1	Plan de bâtiment de stockage du charbon	3
2	Résultats des essais d'auto-échauffement en étuve isothermes	2
3	Caractéristiques physico-chimique du charbon 'WHITEHAVEN'	5

Tableau 10 : Liste des annexes

9. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

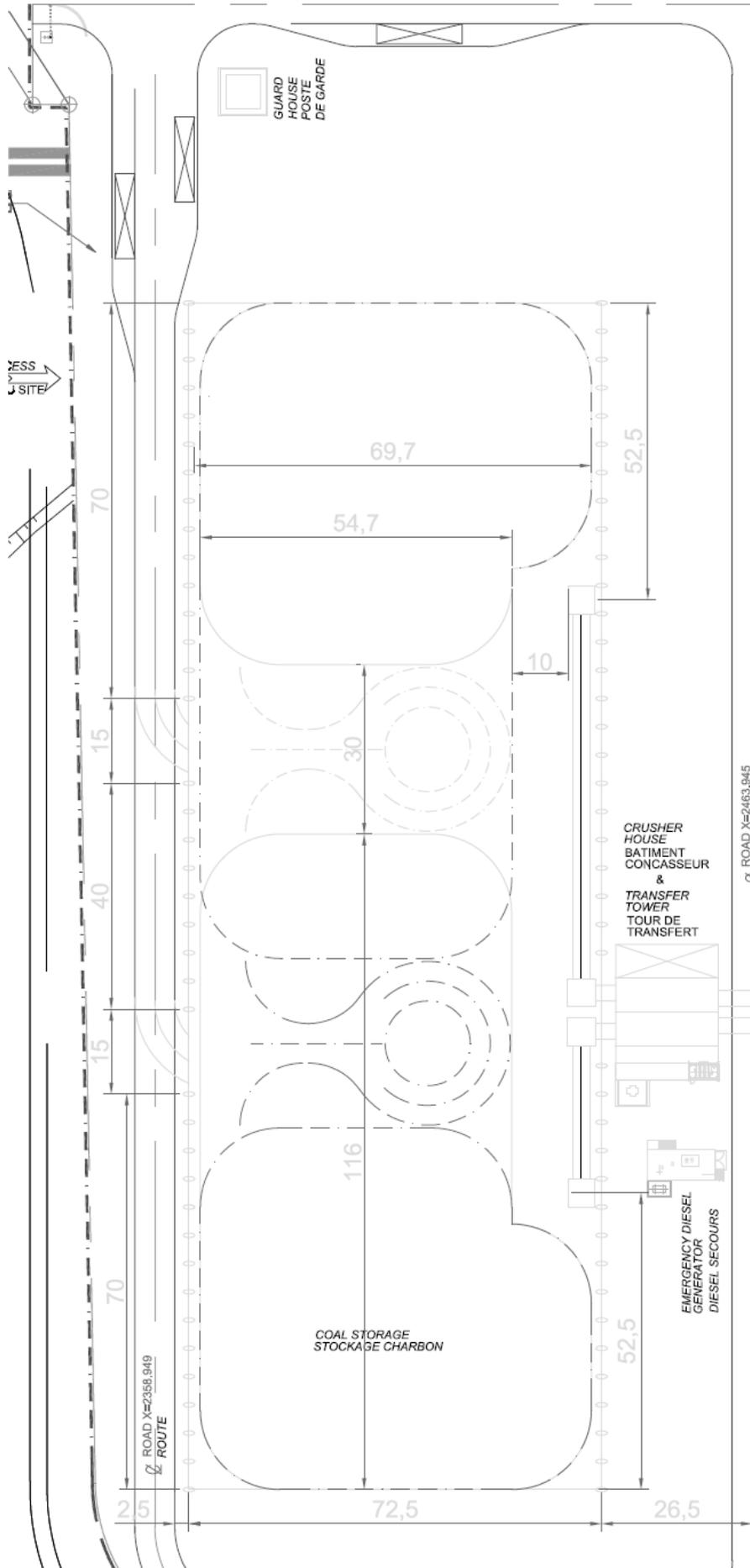
[1] Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels (DRA 35 – rapport Omega 11), Connaissances des phénomènes d'auto-échauffement des solides combustibles, 2005.

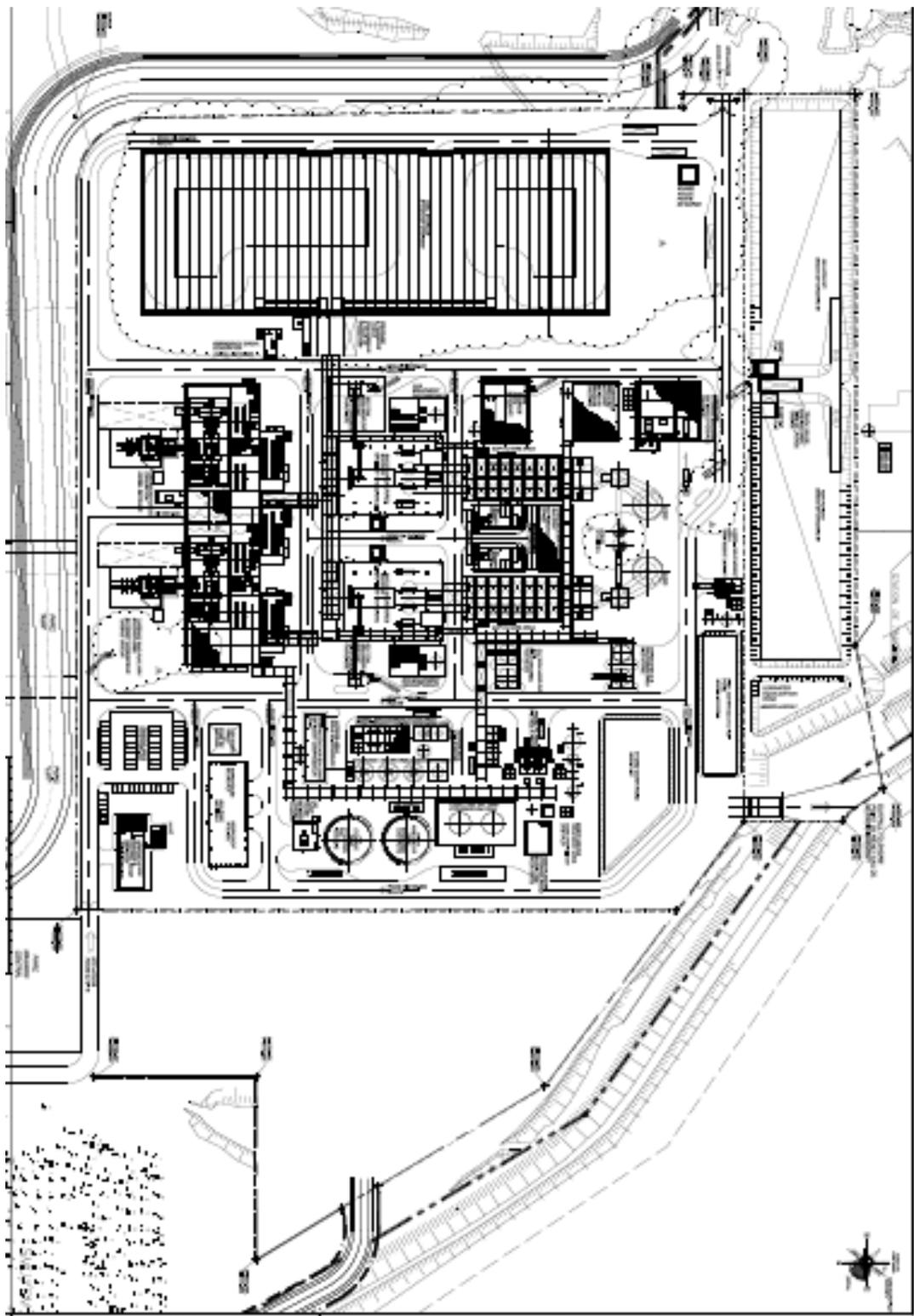
[2] Incendie des matériaux solides combustibles, CERCHAR, 1990.

[3] Auto-échauffement de matériaux solides combustibles - Etude bibliographique, CERCHAR, 1990.

ANNEXE 1

PLAN DE BÂTIMENT DE STOCKAGE DU CHARBON



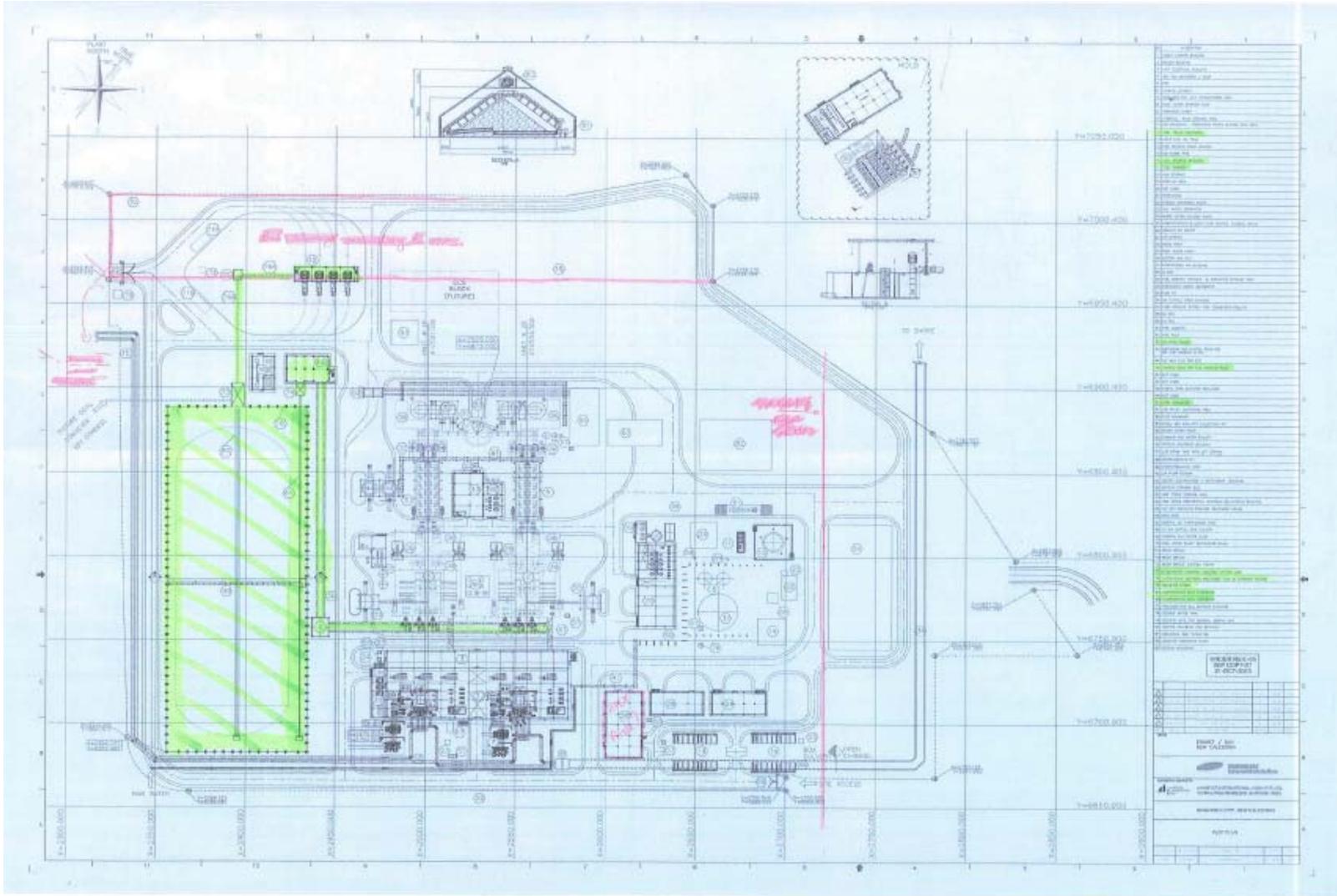


PROJECT INFORMATION PROJECT NO. 2015-001 PROJECT NAME: [REDACTED] CLIENT: [REDACTED]	
DATE 10/15/2015	SCALE 1/8" = 1'-0"
DESIGNER [REDACTED]	CHECKED BY [REDACTED]
APPROVED BY [REDACTED]	DATE 10/15/2015

THIS PLAN IS THE PROPERTY OF [REDACTED] AND IS NOT TO BE REPRODUCED OR TRANSMITTED IN ANY FORM OR BY ANY MEANS, ELECTRONIC OR MECHANICAL, INCLUDING PHOTOCOPYING, RECORDING, OR BY ANY INFORMATION STORAGE AND RETRIEVAL SYSTEM, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF [REDACTED].

ALL RIGHTS RESERVED.

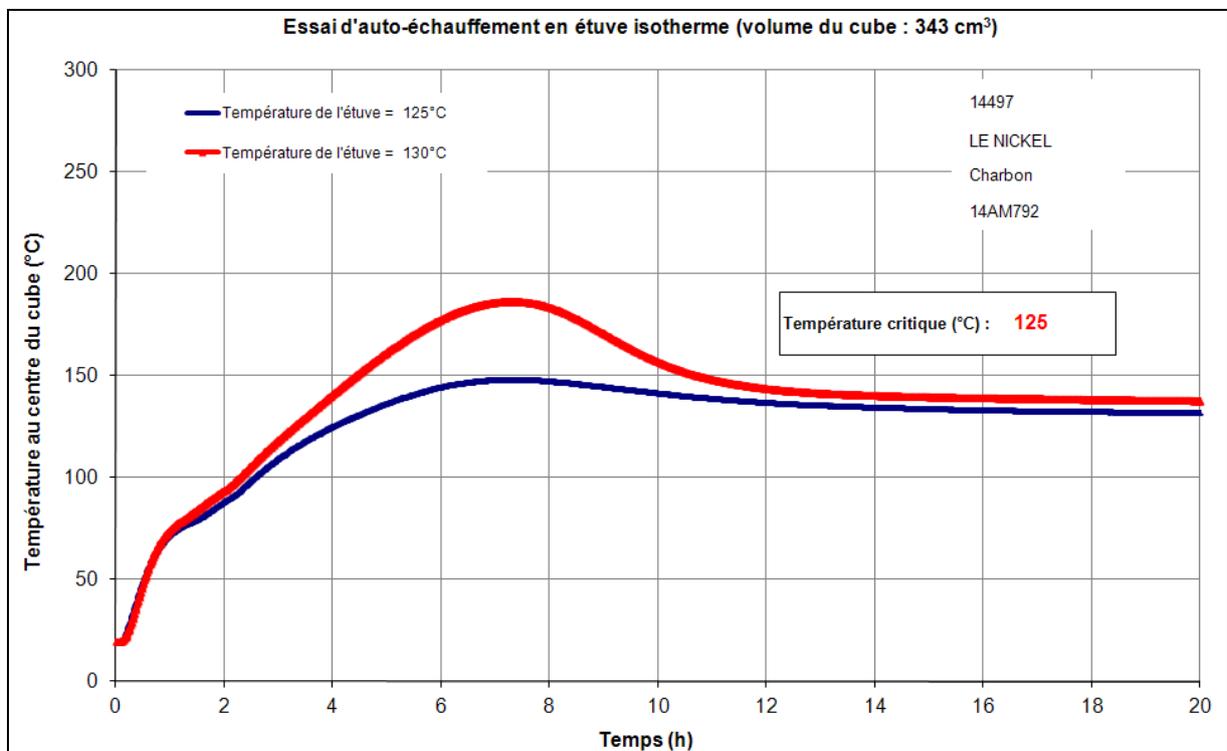
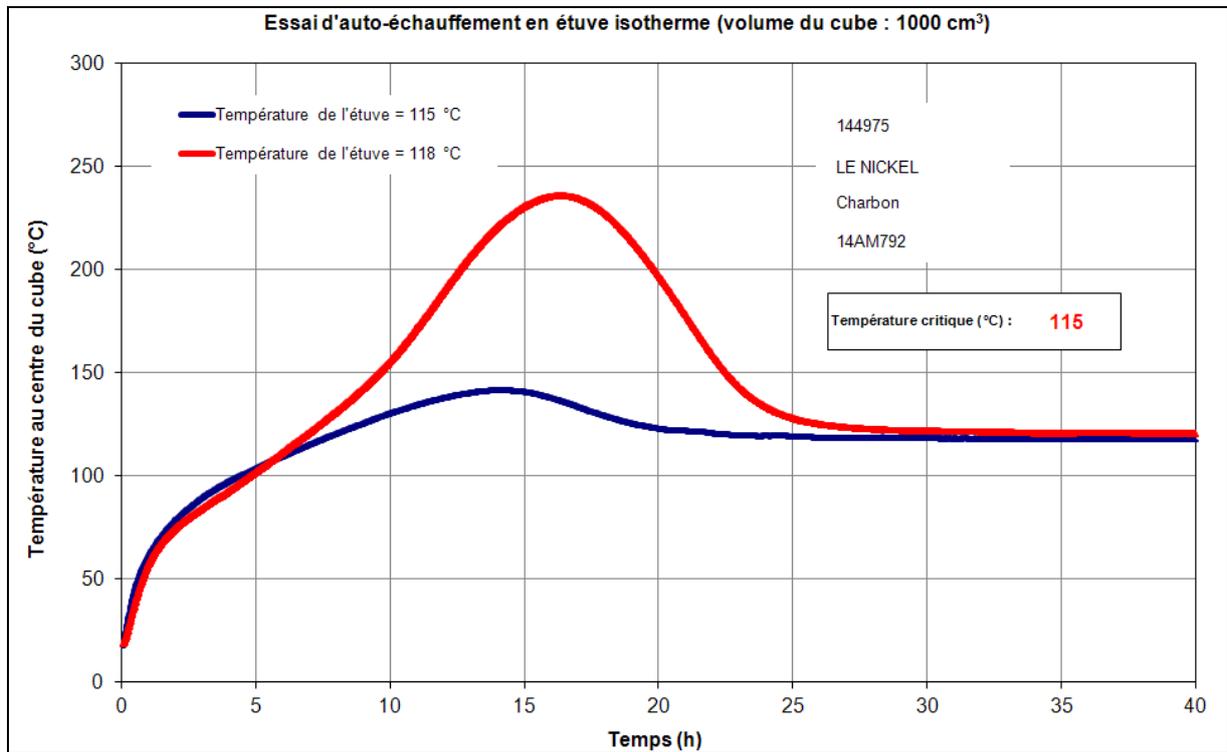


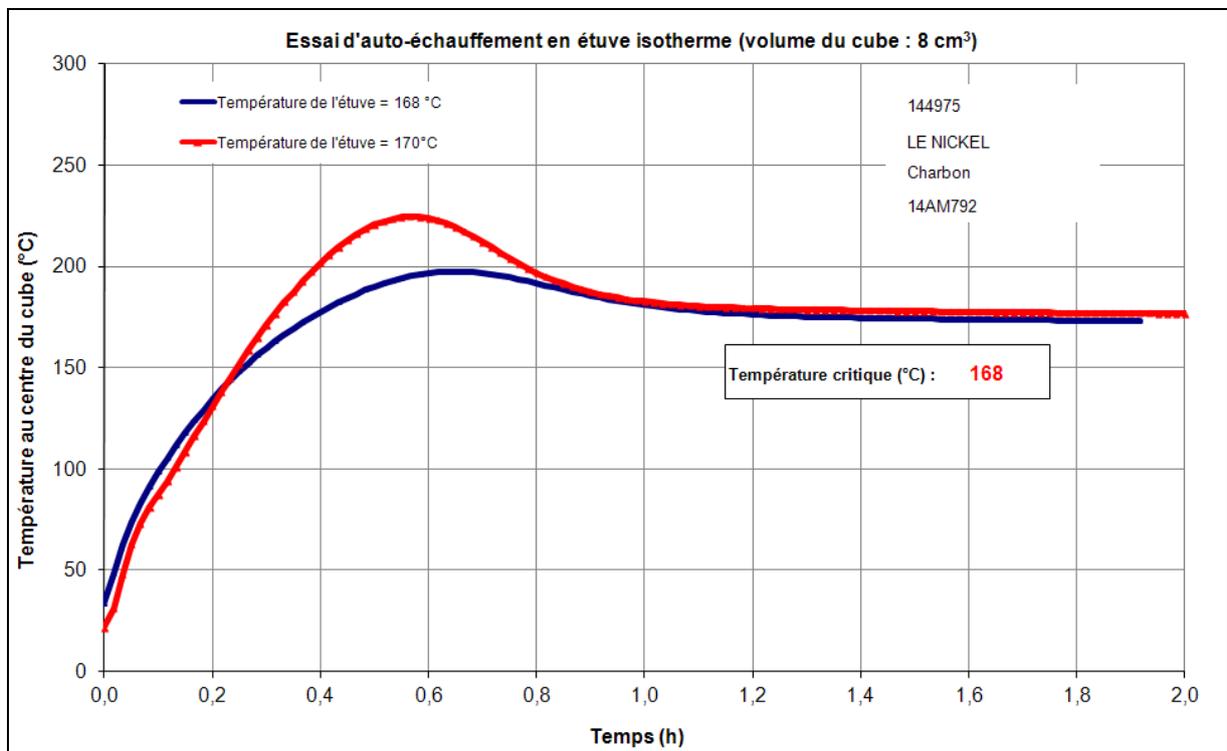
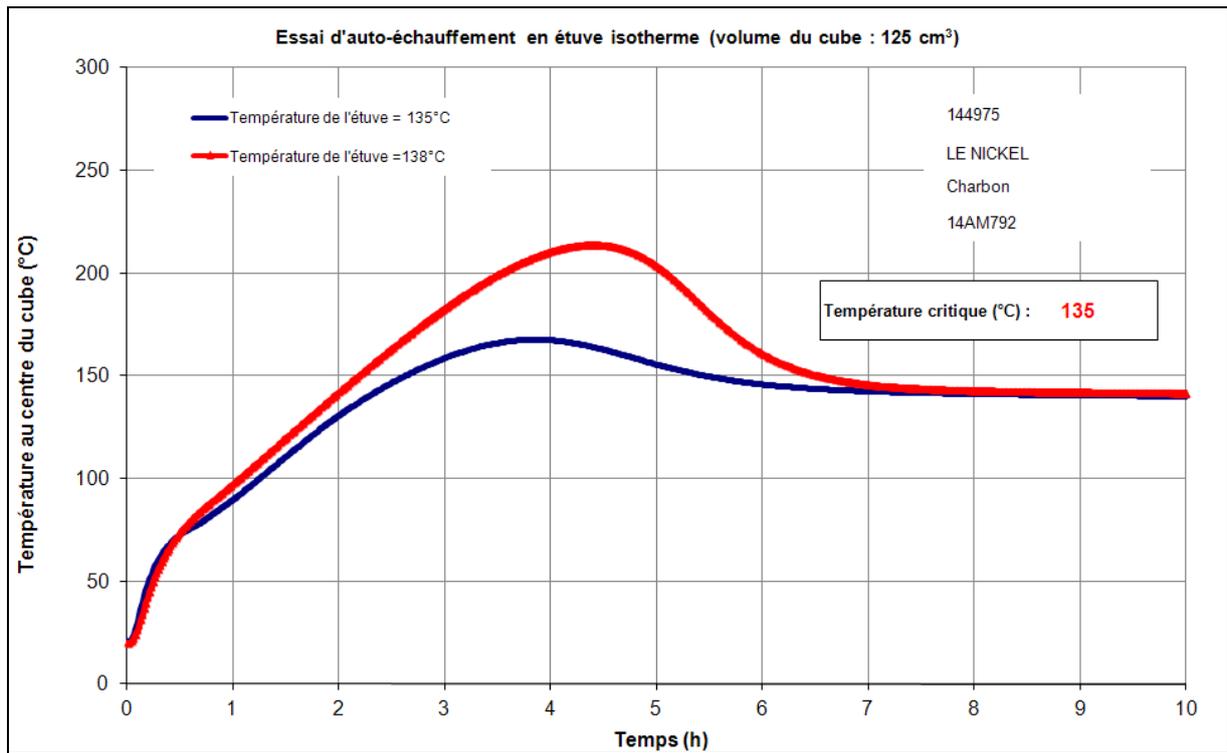


NO.	DESCRIPTION	QTY	UNIT	REMARKS
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50

ANNEXE 2

**RÉSULTATS DES ESSAIS D'AUTO-ÉCHAUFFEMENT
EN ÉTUVE ISOTHERMES**





ANNEXE 3

**CARACTÉRISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE
DU CHARBON 'WHITEHAVEN'**

CERTIFICATE OF WEIGHT

REFERENCE NO: NNW13-34174

VESSEL: MV "Lake Arafura"

SHIPPER: Whitehaven Coal Limited

CARGO DESCRIPTION: Australian Low Phosphorus Steaming Coal

LOADING PORT: Newcastle, Australia

DISCHARGING PORT: Doniambo Berth, Noumea

LOADING: Commenced 1828 HRS 07.10.2013
Completed 0839 HRS 08.10.2013

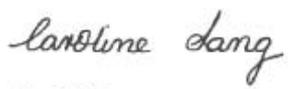
WEIGHT: This is to certify that the cargo weight as determined by Draft Survey was found to be:

27,152 Metric Tonnes

or

26,723 Long Tons

Signed and dated
at Newcastle
09/10/2013


for and behalf of
ACIRL QUALITY TESTING SERVICES PTY LTD

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

REFERENCE NO: NNW13-34174
VESSEL: MV "Lake Arafura"
SHIPPER: Whitehaven Coal Limited
CARGO DESCRIPTION: Australian Low Phosphorus Steaming Coal
LOADING PORT: Newcastle, Australia
DISCHARGING PORT: Doniambo Berth, Noumea
WEIGHT: 27,152 METRIC TONNES

THIS IS TO CERTIFY that we have carried out the inspection, sampling and analysis of the above mentioned shipment of coal.

SAMPLES: Samples on a unit basis were drawn from the conveyor system at Newcastle in accordance with ISO Standards for sampling coal and coke as the consignment was being loaded onto the vessel.

ANALYSIS: Samples were prepared according ISO Standards and analysed according to the following ISO Standards or equivalent.
The following is the composite results of analysis performed.

Property		
Total Moisture	(As received basis)	12.2%
Ash	(As received basis)	8.3%
Volatile Matter	(Dry basis)	30.7%
Fixed Carbon	(Dry basis)	59.9%
Total Sulphur	(As received basis)	0.37%
Net Calorific Value	(As received basis)	6125 kcal/kg
Grindability		50
Carbon	(Dry ash free basis)	83.1%
Hydrogen	(Dry ash free basis)	4.86%
Nitrogen	(Dry ash free basis)	1.93%
Sulfur	(Dry ash free basis)	0.47%
Oxygen (by difference)	(Dry ash free basis)	9.6%
Phosphorous	(Dry basis)	0.001%
Chlorine	(Dry basis)	0.02%
Ash Fusion Temperature	(Reducing Atmosphere)	
Deformation		1210 Degree C
Hemispherical		1290 Degree C
Flow		1340 Degree C
Size Distribution	0 x 50mm	98.9%
	0 x 2mm	23.4%

Signed and dated
at Newcastle
09/10/2013

Caroline Long

for and behalf of
ACIRL QUALITY TESTING SERVICES PTY LTD

CERTIFICATE OF SAMPLING AND ANALYSIS

REFERENCE NO: NNW13-34174
VESSEL: MV "Lake Arafura"
SHIPPER: Whitehaven Coal Limited
CARGO DESCRIPTION: Australian Low Phosphorus Steaming Coal
LOADING PORT: Newcastle, Australia
DISCHARGING PORT: Doniambo Berth, Noumea
WEIGHT: 27,152 METRIC TONNES

THIS IS TO CERTIFY that we have carried out the inspection, sampling and analysis of the above mentioned shipment of coal.

SAMPLES: Samples on a unit basis were drawn from the conveyor system at Newcastle in accordance with ISO Standards for sampling coal and coke as the consignment was being loaded onto the vessel.

ANALYSIS: Samples were prepared according ISO Standards and analysed according to the following ISO Standards or equivalent.
The following is the composite results of analysis performed.

ASH ANALYSIS	(Dry Basis)
SiO ₂	49.7%
Al ₂ O ₃	25.4%
Fe ₂ O ₃	9.5%
CaO	4.81%
MgO	2.68%
Na ₂ O	1.53%
K ₂ O	0.20%
TiO ₂	1.32%
Mn ₃ O ₄	0.26%
P ₂ O ₅	0.03%
SO ₃	5.2%
BaO	0.06%
Undetermined	0%

Signed and dated
at Newcastle
09/10/2013

Caroline Dang
for and behalf of
ACIRL QUALITY TESTING SERVICES PTY LTD

CERTIFICATE OF ORIGIN

REFERENCE NO: NNW13-34174

VESSEL: MV "Lake Arafura"

SHIPPER: Whitehaven Coal Limited

CARGO DESCRIPTION: Australian Low Phosphorus Steaming Coal

LOADING PORT: Newcastle, Australia

DISCHARGING PORT: Doniambo Berth, Noumea

WEIGHT: 27,152 METRIC TONNES

THIS IS TO CERTIFY that the above mentioned cargo of coal is of Australian Origin.

Signed and dated
at Newcastle
09/10/2013

Lawline Lang
for and behalf of
ACIRL QUALITY TESTING SERVICES PTY LTD

CODE NAME: "GENWAYBILL"

Shipper
WHITEHAVEN COAL LIMITED
LEVEL 28
259 GEORGE STREET
SYDNEY NSW 2000 AUSTRALIA

NON-NEGOTIABLE GSWB No. N - 1
GENERAL SEA WAYBILL Reference No.
Issued by The Baltic and International Maritime Council
(BIMCO), subject to the CMI Uniform Rules for Sea Waybills
Revised 1995

Consignee (not to order)

SOCIETE LE NICKEL - SLN
NOUMEA NEW CALEDONIA

Notify party/address

SOCIETE LE NICKEL - SLN
NOUMEA NEW CALEDONIA

Vessel Port of loading
"LAKE ARAFURA" NEWCASTLE, AUSTRALIA

Port of discharge
DONIAMBO BERTH, NOUMEA

Description of cargo Marks and Nos. Number and kind of packages Gross weight (kg) Measurement (cbm)

CARGO DESCRIPTION: AUSTRALIAN LOW PHOSPHORUS STEAMING COAL

SAID TO WEIGH

27152 METRIC TONNES
26723 LONG TONS

Particulars declared by the Shipper

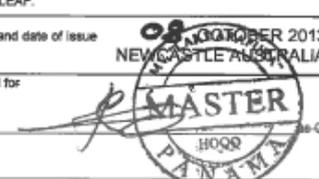
"FREIGHT PAYABLE AS PER CHARTER PARTY"

"ALL TERMS, CONDITIONS AND EXCEPTIONS OF THE CHARTER PARTY INCLUDING ARBITRATION CLAUSE ARE DEEMED TO BE FULLY INCORPORATED IN THIS SEA WAYBILL"

Transfer of Control Clause

It is hereby noted that the Shipper has irrevocably transferred the right of control (or disposal) of the Goods to the Consignee under Rule 6(ii) of the CMI Uniform Rules for Sea Waybills. The Carrier will hold the Goods to the order of the Consignee subject to any lien in favour of the Carrier.

(of which on deck at Shipper's risk; the Carrier not being responsible for loss or damage howsoever arising)

<p>Issued pursuant to Voyage Charter Party indicated hereunder</p> <p>RELEVANT</p>	<p>SHIPPED on board the cargo specified above, according to Shipper's declaration in apparent good order and condition - unless otherwise stated herein - weight, measure, marks, numbers, quality, contents and value unknown, for delivery at the port of discharge or so near thereto as the Vessel may safely get, always afloat.</p> <p>The cargo shipped under this Waybill will be delivered to the Party named as Consignee or its authorised agent, on production of proof of identity without any documentary formalities. Should the Shipper require delivery of the cargo to a party other than the Consignee stated in this Waybill, then written instructions must be given to the Carrier or his agent. The Shipper shall, however, be entitled to transfer right of control of the cargo to the Consignee, the exercise of such option to be noted on this Waybill and to be made no later than the receipt of the cargo by the Carrier. The Carrier shall exercise due care ensuring that delivery is made to the proper party. However, in case of incorrect delivery, the Carrier will accept no responsibility unless due to fault or neglect on his part.</p> <p>FOR CONDITIONS OF CARRIAGE SEE OVERLEAF.</p>
<p>Charter Party (Code name, place and date of issue)</p> <p>RELEVANT</p>	<p>Freight payable at _____</p> <p>Place and date of issue NEWCASTLE AUSTRALIA</p>
<p>Freight payable in accordance therewith.</p>	<p>Signed for _____</p> <p>by _____</p> <p>As agent(s) only to the Carrier</p> 

Printed and sold by
P. G. Knudtzon (Registriert) A/S, 61 Valensboelov, DK-2625 Valensboek
Telefax +45 43 55 07 08 by authority of
The Baltic and International Maritime Council (BIMCO), Copenhagen



INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** <http://www.ineris.fr>