

p

Projet industriel de recyclage et valorisation énergétique sur le site SUEZ de Gueltas (56)



Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter
Annexe 3 - Modélisation dispersion des fumées toxiques

Août 2024 – Réf. 23NIF014

Demande de compléments de la DREAL/DDTM relative à la dispersion des fumées toxiques d'un incendie :

20	Concernant la modélisation de la dispersion des fumées toxiques d'un incendie, l'étude de danger retient les conditions météorologiques réglementaires (D, 5) et (F, 3) correspondant à un rejet horizontal au niveau du sol. La circulaire du 10 mai 2010 à laquelle il est fait référence (fiche 2) précise que pour les projets présentant des rejets en altitude, il convient de prendre en compte les conditions météorologiques (A, 3), (B, 3), (B, 5), (C, 5), (C, 5), (C, 10), (D, 5), (D, 10), (E, 3) et (F, 3). L'étude de danger devra être complétée en ce sens.
----	--

Réponse du pétitionnaire :

La modélisation de la dispersion des fumées toxiques d'un incendie de la zone de stockage en silo passif pour l'activité de chaufferie haut PCI (incendie de plus grande ampleur de l'étude, PhD5) a été complétée en réalisant des modélisations pour les 7 conditions météorologiques supplémentaires conformément à la circulaire du 10 mai 2010.

Les résultats de ces modélisations sont présentés ci-dessous.

1. ETUDES DE DANGERS

Il est nécessaire de modéliser la dispersion des fumées toxiques pour les phénomènes d'incendie. Dans une approche majorante, la modélisation de la dispersion des fumées a été réalisée pour l'incendie de plus grande ampleur parmi tous les phénomènes de feu considérés dans cette étude. Il s'agit de l'incendie de la zone de stockage en silo passif pour l'activité de chaufferie haut PCI (Ph5).

1.1 Evaluation de la gravité du PhD 9 : Dispersion des fumées toxiques de l'incendie de la zone de stockage en silo passif pour l'activité de chaufferie haut PCI

Pour rappel, dans une approche majorante, la modélisation de la dispersion des fumées est réalisée pour l'incendie de plus grande ampleur parmi tous les phénomènes de feu considérés dans cette étude. Il s'agit de l'incendie de la zone de stockage en silo passif pour l'activité de chaufferie haut PCI (Ph5).

La modélisation de la dispersion des fumées a été réalisé avec le logiciel PHAST v8.9 sur la base des résultats déterminé pour la modélisation de l'incendie correspondant (PhD5).

La méthode utilisée prend en compte simultanément la dispersion de plusieurs gaz toxiques, sans pour autant préjuger des interactions entre ceux-ci.

La modélisation du phénomènes dangereux passe en premier lieu par :

- La définition du « terme source », caractérisé dans le cas présent par un débit de fumées, une hauteur d'émission, une vitesse ascensionnelle ainsi que la concentration initiale des fumées en gaz toxiques,
- Le calcul de la dispersion atmosphérique des fumées selon les caractéristiques précédemment calculées,
- La comparaison des concentrations au sol avec les seuils d'effets.

La méthodologie de l'étude ainsi que les principales hypothèses sont présentées ci-dessous.

1.1.1 Mode de défaillance retenu

La dispersion atmosphérique des fumées de combustion est étudiée lors de l'incendie généralisé. La combustion est alors à son plein régime avec une vitesse maximale.

La hauteur d'émission des fumées toxiques a été fixée à la hauteur de flamme. L'incendie est considéré dans sa phase développée. Ceci implique que le débit de fumées est maximal.

La combustion complète de la plupart des produits organiques conduit en théorie à la formation de CO₂, CO, H₂O, HCN et selon les atomes présents de N₂, NO₂, SO₂,... La combustion incomplète entraîne la formation de suies en quantité importante.

En l'absence totale d'oxygène ou à défaut d'oxygène, il y a pyrolyse avec apparition de carbone et d'une série complexe de produits de faible poids moléculaire, généralement très difficiles à analyser. Les produits de pyrolyse s'accompagnent en outre d'autres composés qui se forment sous l'action de la chaleur en présence de quantités variables d'oxygène.

Les produits de décomposition les plus complexes sont en quantité limitée. Il est difficile d'en évaluer la quantité exacte qui dépend de la dégradation thermique.

Dans la définition du terme source, on retiendra un rendement d'oxydation de 100 % (ce qui est peu probable et majorant), et un rejet de gaz stables chimiquement qui ne subiront pas ou peu de transformation d'origine chimique.

1.1.2 Hypothèses

1.1.2.1 Caractérisation de l'émission des fumées

○ Détermination du combustible représentatif

Nous étudions le cas de l'incendie du silo passif de stockage haut PCI. Les caractéristiques du silo passif sont les suivantes :

- Surface : 559 m²,
- Hauteur de stockage : 24 m,
- Volume / Masse : 13 416 m³ / 2 600 t.

Le combustible considéré est donc les déchets haut PCI. La composition des déchets haut PCI pouvant être stockés dans le silo est aléatoire et complexe à définir. En l'absence de données sur la composition et la répartition des déchets, la composition suivante est retenue :

- 10% d'incombustibles,
- 90% de combustibles assimilés à des DAE et OM.

Nous retiendrons la composition suivante évaluée par l'ADEME juin 2009 à travers sa campagne de caractérisation des ordures ménagères et assimilés :

Tableau 1 : Evolution de la toxicité des OMR : comparaison entre 1993 et 2007

Composant	Unité	2007	1993	Composant	Unité	2007	1993
Taux d'humidité	%	36,7	35,0	Chlore	mg/kg	2 878	14 000
Matière Organique totale	%	65,8	59,2	Fluor	mg/kg	100	58
Soufre	%	0,17	0,28	Cuivre	mg/kg	56	1 048
Hydrogène	%	5,2	4,4	Cadmium	mg/kg	1,3	4
PCI (humide)	J/g	9 284	7 592	Chrome	mg/kg	87	183
PCI (sec)	J/g	16 123	12 992	Nickel	mg/kg	20	48
PCS (sec)	J/g	17 163	13 943	Zinc	mg/kg	301	1 000
Carbone organique	%	34,9	33,4	Mercure	mg/kg	0,1	3
Azote kjeldhal	%	1,1		Arsenic	mg/kg	2,5	5
Azote organique	%	0,71	0,73	Sélénium	mg/kg	0,22	0,02
Azote ammoniacal	%	0,014					

Afin de modéliser la dispersion des fumées de leur combustion, nous retiendrons donc les compositions de la part de combustible suivantes :

- 65,8 % de matières organiques ($C_6H_{10}O_5$) : 1 710.8 t,
- 5,2 % d'hydrogène (H) : 135.2 t,
- 0,17 % de soufre (S) : 4.4 t,
- 1,1 % d'azote (N) : 28.6 t,
- 0,29 % de chlore (Cl) : 7.5 t,
- 0,01 % de fluor (F) : 0.26 t.

Nous pouvons ainsi déterminer les fractions massiques des éléments intervenant dans la réaction de combustion.

Tableau 2 : Fraction massique des éléments intervenant dans la réaction de combustion

Eléments (fraction massique)	C	H	O	N	Cl	F	S
	0.403	0.128	0.448	0.015	0.004	0.0001	0.002

○ Détermination de l'énergie thermo-cinétique des fumées

La première étape pour caractériser l'émission des fumées est de déterminer la hauteur d'émission des fumées. Pour ce faire on retiendra la hauteur de flamme comme hauteur d'émission. Par la suite, une vitesse moyenne d'élévation des fumées est déterminée en fonction de la puissance thermique de l'incendie qui est convectée par les fumées. Selon le rapport Oméga 16 de l'INERIS, 60% de la puissance thermique de l'incendie est convectée.

La puissance thermique est calculée à partir de l'énergie de combustion des produits stockés qui est également fonction de :

- La masse de matières combustibles brûlée,
- Le pouvoir calorifique inférieur (PCI) des matières combustibles. Nous retenons la valeur de 13 MJ/kg pour le PCI,
- La vitesse de combustions de ces matières combustibles. Nous retenons la valeur de 26.32 g/m²/s pour la vitesse de combustion.

Les fumées d'incendie sont émises en partie supérieure du volume formé par les flammes. Une température des fumées à la hauteur des flammes de 300°C a été retenue pour la modélisation.

Tableau 3 : Caractéristiques générales des fumées

PCI moyen selon la formule de BOIE (MJ/Kg)	Vitesse de combustion (g/m ² /s)	Hauteur du panache (m)	Vitesse d'émission (m/s)	Débit des fumées (air entraîné + polluants) (kg/s)	Temps estimé de l'incendie à débit constant (h)
13	26.32	18 m mais sortie du bâtiment à 40 m	10	620	35.62

○ Détermination de la composition des fumées

La composition des fumées d'incendie dépend de la composition chimique des produits. A partir de la composition chimique des produits présents on peut déterminer le tonnage respectif des atomes représentatifs.

Sur la base des hypothèses prises ci-dessus pour la composition des déchets haut PCI, le bilan de combustion des fumées est :

Tableau 4 : Composition des fumées du silo passif

Masse de polluants (t)	CO	CO2	HCl	NO2	N2	SO2	HCN	HF	Total polluants (t)
	177.4	2 509.2	7.8	23.5	28.6	8.8	13.8	0.3	2 769

1.1.2.2 Modèle de calcul

La dispersion des fumées a été calculée avec le logiciel PHAST 8.9. Le modèle utilisé est un modèle classique de dispersion gaussienne : le polluant émis est « dynamiquement passif » et la dispersion atmosphérique ne dépend plus que des conditions orographiques (conditions liées au relief) et météorologiques.

1.1.2.3 Hauteur d'émission

La hauteur d'émission des fumées toxiques a été fixée à la hauteur du bâtiment soit 40 m, les murs étant en béton armé REI 120.

1.1.2.3.1 Conditions météorologiques

Pour ce qui concerne les conditions météorologiques, il est rappelé ici qu'elles sont décrites par de nombreux paramètres, dont notamment ceux qui sont liés, d'une part, à la turbulence atmosphérique, et, d'autre part, à la vitesse du vent.

9 conditions météorologiques réglementaires, repérées par les doublets (A,3), (B,3), (B,5), (C,5), (C,10), (D,5), (D,10), (E,3) et (F,3) ont été retenues. La première lettre correspond à la classe de stabilité atmosphérique de Pasquill et le chiffre en seconde position à la vitesse du vent en m/s représentative de chacune des classes ainsi :

- A,3 : Un vent de 3 m/s associé à une classe atmosphérique très instable (A),
- B,3 : Un vent de 3 m/s associé à une classe atmosphérique instable (B),
- B,5 : Un vent de 5 m/s associé à une classe atmosphérique instable (B),
- C,5 : Un vent de 5 m/s associé à une classe atmosphérique légèrement instable (C),
- C,10 : Un vent de 10 m/s associé à une classe atmosphérique légèrement instable (C),
- D,5 : Un vent de 5 m/s associé à une classe atmosphérique neutre (D),
- D,10 : Un vent de 10 m/s associé à une classe atmosphérique neutre (D),
- E,3 : Un vent de 3 m/s associé à une classe atmosphérique stable (E),
- F,3 : Un vent de 3 m/s associé à une stabilité atmosphérique très stable (F).

Le choix des classes est basé sur la fiche n°2 « dispersion atmosphérique » de la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Les calculs ont été effectués pour une valeur du paramètre de rugosité de 0.1 m, ce qui correspond à l'encombrement d'un espace végétalisé.

1.1.2.3.2 Seuil des effets équivalents

Pour chaque gaz toxique, sont déterminées des concentrations correspondant à trois seuils d'effets, dénommés SEI (Seuil des Effets Irréversibles), SEL_{1%} (Seuil des Effets Létaux pour 1% de la population exposée) et SELS (Seuil des Effets Létaux Significatifs).

Lorsque les polluants sont susceptibles de se retrouver mélangés dans les fumées de combustion, il faut alors déterminer le SEI équivalent ainsi que le SEL et le SELS équivalents de ces fumées. Ceci permet de prendre en compte de façon sommaire l'effet simultané de tous les gaz toxiques. Le seuil des effets irréversibles équivalent est alors déterminé tel que :

$$\sum_i Q_i / SEI_{.i} = Q_{total} / SEI_{\text{équivalent}}$$

Avec pour chaque gaz toxique i :

- La concentration SEI.i, exprimée en masse de gaz toxique par m³ ou en ppm, correspondant à l'apparition des effets irréversibles pour une exposition de 60 min,
- Et le débit massique Qi du gaz dans les fumées.

La méthode et la formule sont similaires pour définir les SEL et SELS équivalents. Les seuils équivalents pour une exposition de 60 minutes sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 : Seuils d'effets retenue

Temps d'exposition : 60 min		
SEI équivalent (ppm)	SEL _{1%} équivalent (ppm)	SELS équivalent (ppm)
25 307	92 740	111 699

1.1.2.4 Résultats

Aucune concentration toxique significative (SEI, SEL, SELS) n'est rencontrée au niveau du sol comme montré sur les figures ci-dessous. En effet, les 3 figures présentées ci-dessous illustrent respectivement la délimitation du nuage aux seuils des effets irréversibles (SEI) / létaux (SEL) / létaux significatifs (SELS). Elles indiquent que la zone de toxicité si situe aux alentours des 35 m d'altitude pour les plus basses altitudes et que, selon les différentes conditions météorologiques étudiées et modélisées, cette zone de toxicité ne retombe jamais au niveau sol. Dans ce cas, nous pouvons donc considérer que la toxicité des fumées n'impacte pas les cibles au sol.

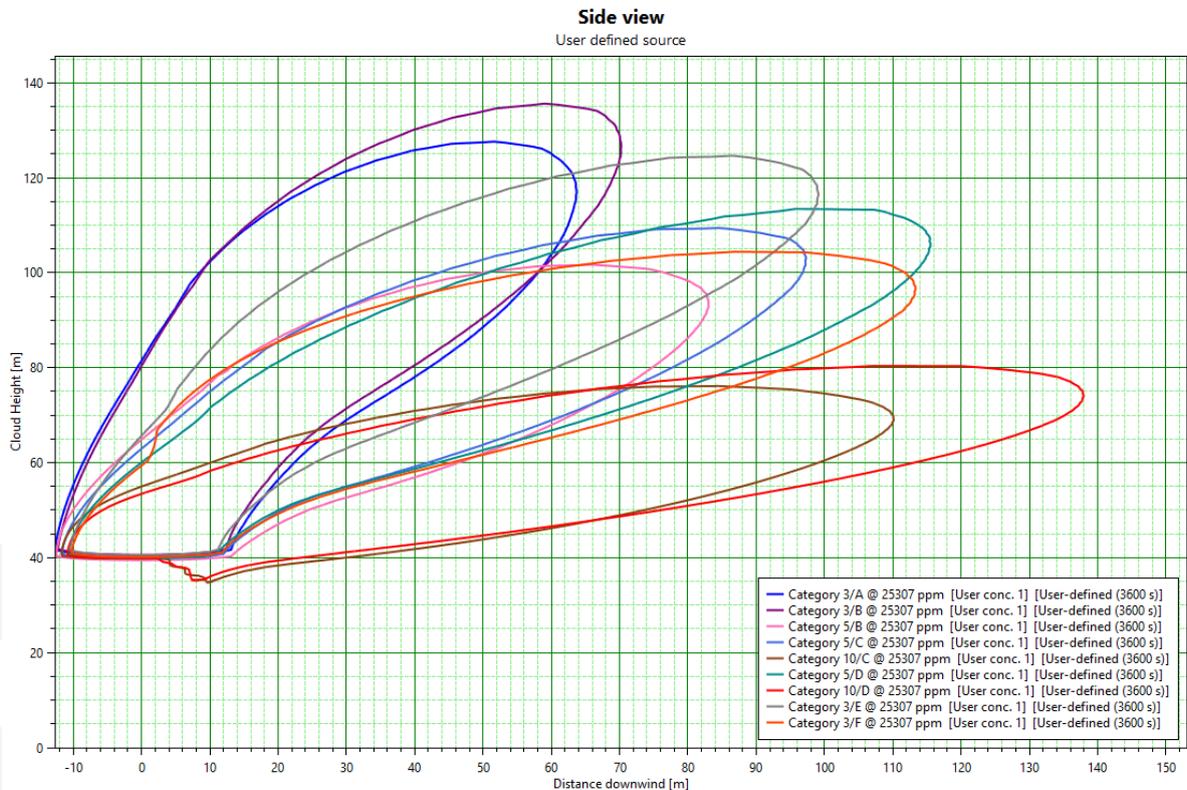


Figure 1 : Panache de fumées à la concentration SEI pour les 9 conditions météorologiques

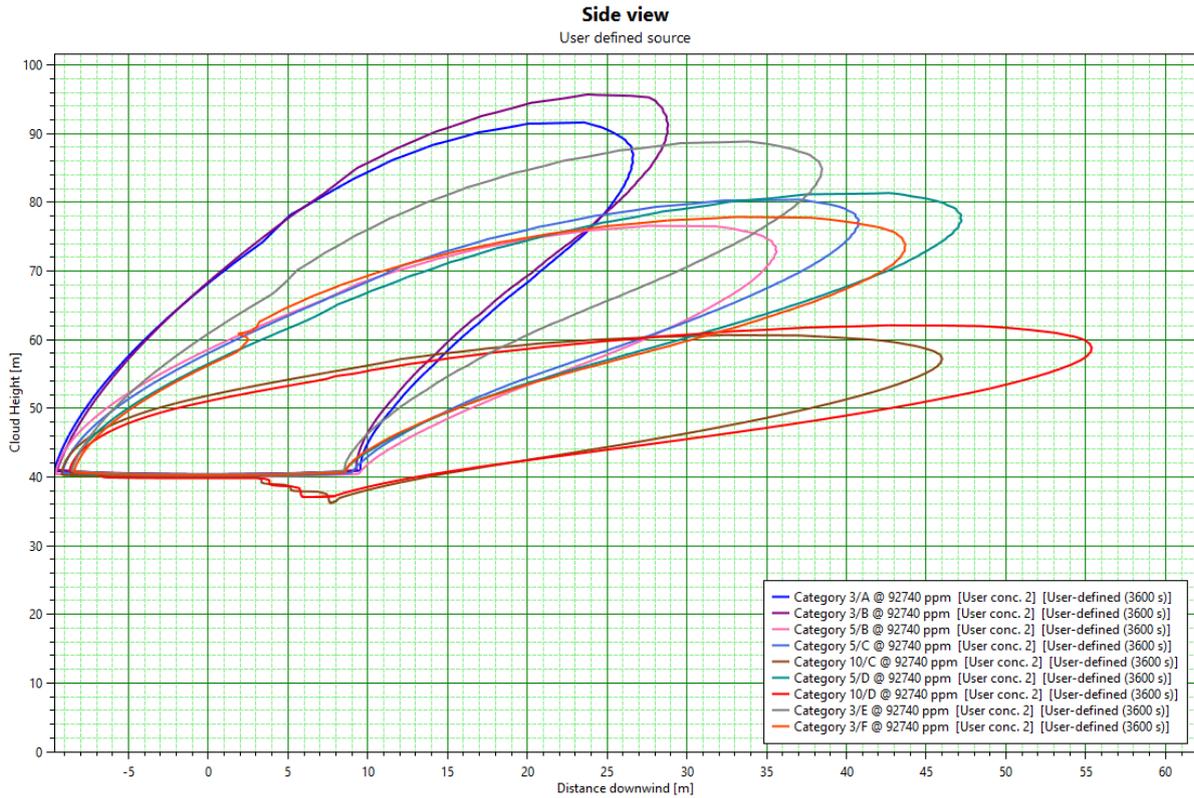


Figure 2 : Panache de fumées à la concentration SEL pour les 9 conditions météorologiques

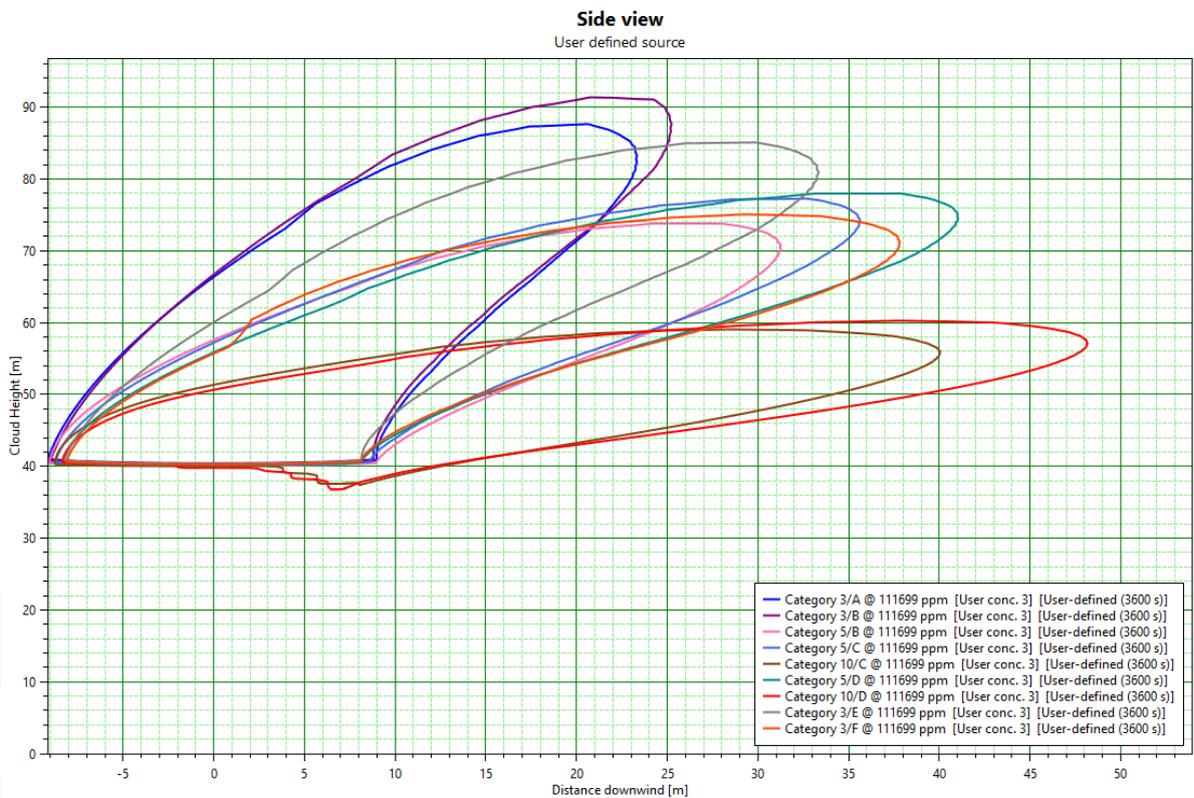


Figure 3 : Panache de fumées à la concentration SELS pour les 9 conditions météorologiques

Les résultats varient en fonction des conditions météorologiques. Les distances d'effets aux seuils réglementaires les plus grandes sont obtenues à différentes hauteurs. Les distances d'effets maximales sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 6 : Distances d'effets toxiques aux seuils réglementaires maximales

Distance d'effets (m) / Hauteur (m)	SEI	SEL	SELS
A,3	D : 64 m / H : 117 m	D : 27 m / H : 87 m	D : 23 m / H : 83 m
B,3	D : 70 m / H : 127 m	D : 29 m / H : 91 m	D : 25 m / H : 88 m
B,5	D : 83 m / H : 93 m	D : 36 m / H : 73 m	D : 31 m / H : 70 m
C,5	D : 97 m / H : 103 m	D : 41 m / H : 77 m	D : 36 m / H : 74 m
C,10	D : 110 m / H : 70 m	D : 46 m / H : 57 m	D : 40 m / H : 56 m
D,5	D : 116 m / H : 106 m	D : 47 m / H : 77 m	D : 41 m / H : 75 m
D,10	D : 138 m / H : 74 m	D : 55 m / H : 59 m	D : 48 m / H : 57 m
E,3	D : 99 m / H : 117 m	D : 38 m / H : 85 m	D : 33 m / H : 81 m
F,3	D : 113 m / H : 97 m	D : 44 m / H : 74 m	D : 38 m / H : 71 m

1.1.2.5 Conclusion

○ Toxicité des fumées

Les différents gaz dégagés par les produits stockés, mélangés aux fumées de l'incendie, sont dispersés par les mouvements atmosphériques et les concentrations dangereuses pour l'homme ne sont pas rencontrées au niveau du sol, quelles que soient les conditions météorologiques.

Un incendie du silo passif du projet n'entraîne donc pas de risque significatif pour le voisinage car les concentrations aux seuils des effets irréversibles, létaux et létaux significatifs ne peuvent atteindre aucune cible humaine.

Pour l'intervention sur le site ou aux abords immédiats des zones émissives, les sapeurs-pompiers pourront se protéger à l'aide d'appareils respiratoires isolants.

Gravité

Non cotée - 0

○ Opacité des fumées

Les fumées de l'incendie sont colorées par les imbrûlés et les suies qui sont entraînés mécaniquement par la forte convection et la dynamique des flammes. Les incendies considérés se développant en extérieur, le panache pourra apparaître rapidement, dès le développement d'un incendie significatif.

Ces gaz et fumées vont s'élever au-dessus du foyer et se disperser dans le sens du vent dominant, se diluant au fur et à mesure de la dispersion. Les fumées de ce type de foyer sont chargées en suies et peuvent représenter une menace pour la visibilité sur les voies de circulation. Les suies se déposent en fonction de leur taille et de leur densité dans le sens de dispersion du nuage, en cas de pluie ce dépôt est plus rapide par effet de lessivage.

La rose des vents de la station de Pontivy (2020-2022) montre des vents majoritairement orientés nord-nord-est et sud-ouest (cf. figure ci-dessous), dans des directions où les premières habitations se situent à environ 1.7 km du silo au nord-nord-est et à environ 1.3 km au sud-ouest. Néanmoins, nous pouvons constater des vents dans toutes les directions (pas en même temps), ne permettant pas d'affirmer l'impossibilité d'une dispersion éparpillée. Il est tout de même à noter l'absence de toxicité des fumées au niveau du sol.

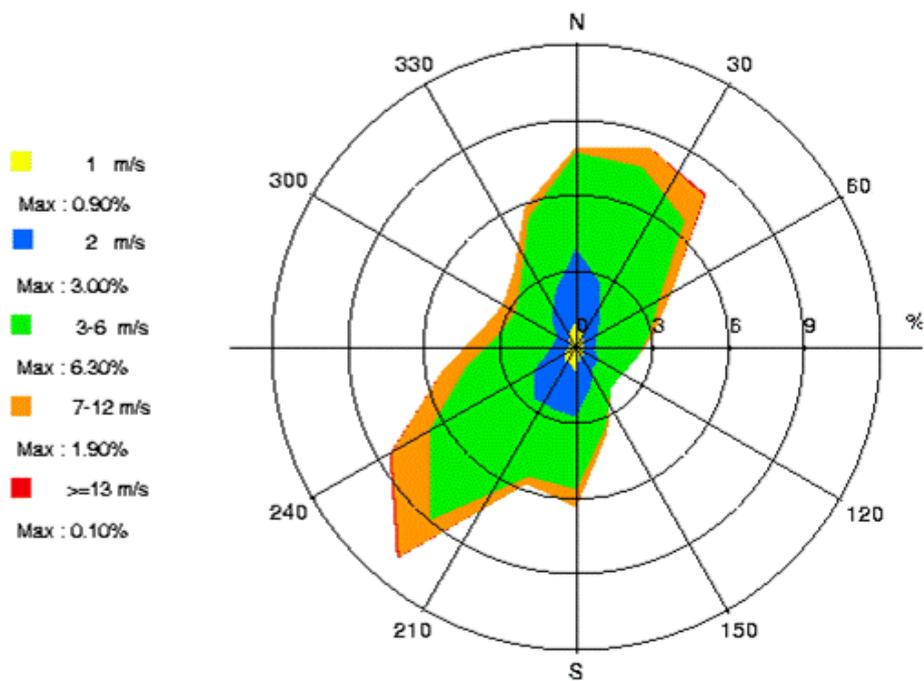


Figure 4 : Rose des vents de la station de Pontivy (Source : ARIA)

CONSULTING

Agence Ile de France
Parc de L'île 15-27, Rue du Port
92502 Nanterre

www.suez.com/fr/consulting-conseil-et-ingenierie

