

Annexe 14 – Scénario avec méthode PHAST 8.22

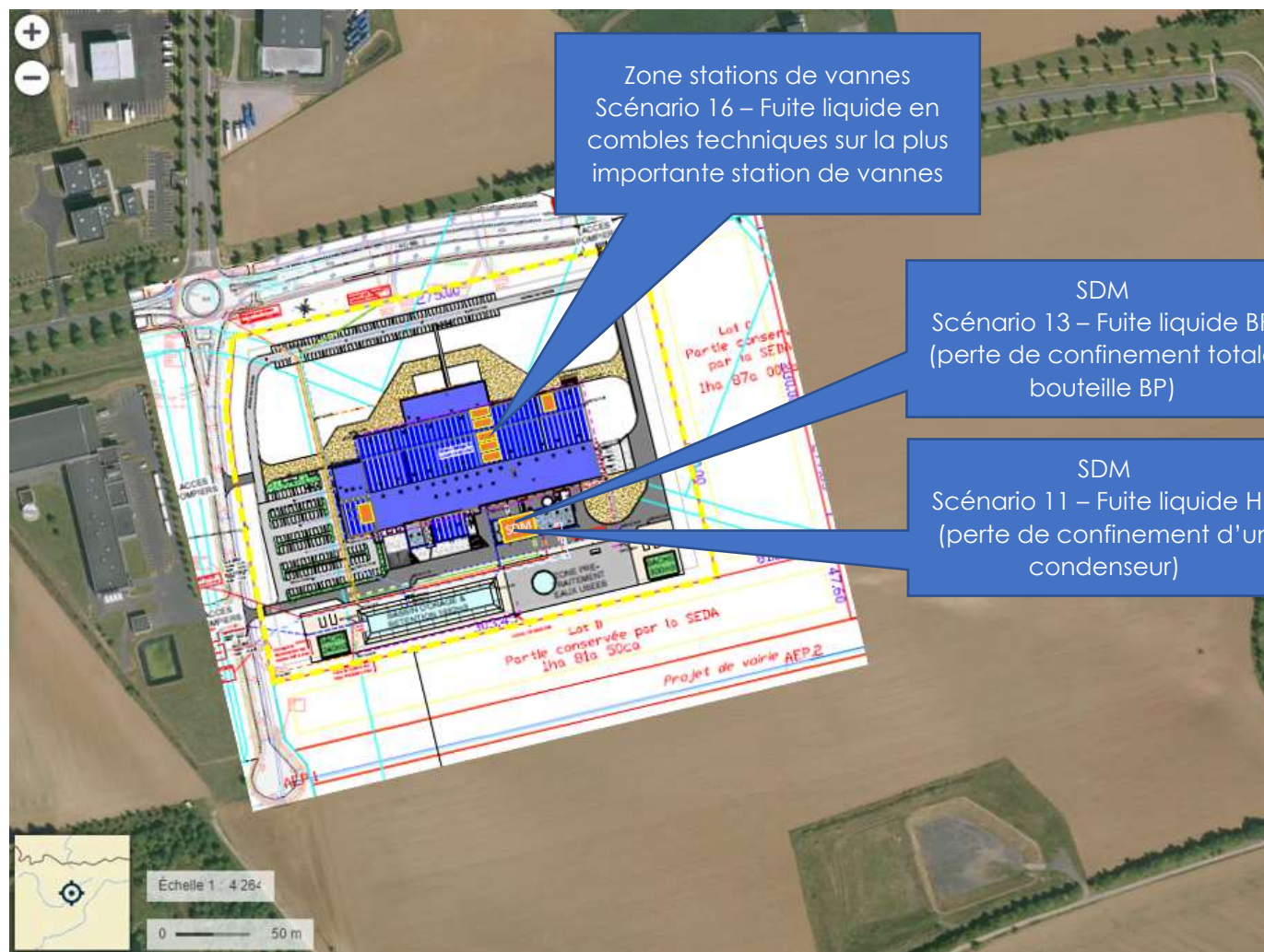
CITE MARINE – Saint Quentin (02)

Table des matières

1. Localisation des scénarii.....	2
2. Rejet depuis bouteille BP (avec les pompes NH3) – SDM (scénario 13.1).....	3
3. Rejet depuis bouteille BP (avec les pompes NH3) – SDM (scénario 13.2) avec vannes de sécurité.....	6
4. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM (scénario 11).....	12
5. Rejet depuis la station de vannes intérieur combles – Evaporateur Surgélateur (scénario 16).....	14

1. Localisation des scénarii

La carte du site est téléchargée dans le logiciel PHAST pour positionnement des scénarii retenus (Locaux techniques). Les scénarii modélisés sont les scénarii majorants au point de rejet considéré.



2. Rejet depuis bouteille BP (avec les pompes NH3) – SDM (scénario 13.1)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **5 500 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale du circuit BP de l'installation est considérée + les retours postes à l'arrêt), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 88,9 mm de diamètre extérieur 77,9 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 30 m² à l'intérieur de la SDM.

Dimensions		Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. Le débit extrait est de 16 650 m³/h. Le point de rejet est à une hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint) . La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 9,2 m/s.
Longueur	20,5 m	
Largeur	15,0 m	
Hauteur	7,0 m	
Volume	2 156 m ³	

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes :

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	21,1	Kg/s
Durée du rejet	260	Sec
Température du rejet	-33,4	°C
Vitesse de rejet	78	m/s
Diamètre des gouttes	124	µm
Fraction liquide	78,35	%

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **5 500 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 271 sec à un débit (*liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente*) de 21,1 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 78 %, par conséquent 1 190 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 792 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH_3} est donnée par :

$$Y_{NH_3} = m_{NH_3} / (m_{air} + m_{NH_3})$$

La masse d'air dans le local vaut 2 566 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH_3} = 0,316$

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH_3} C_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) C_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} C_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) C_{p,air}]$

Avec:

C_{p,NH_3}	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH_3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambiant (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : $T_f = -5,8^\circ\text{C}$

La masse molaire M_f du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH_3} / M_{NH_3} + (1 - Y_{NH_3}) / M_{air}]$

Où M_{NH_3} désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et M_{air} désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : $M_f = 0,0236$ kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à $-5,8^\circ\text{C}$ est donc de 1,06 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 4,74 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $1\ 190 / (0,316 \times 4,74) = 792$ s (13 minutes).

Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (69 % ammoniac, 31 % air)
Débit de rejet (extracteur)	4,74 kg/s
Durée du rejet	792 sec
Température du rejet	-9,61 °C
Vitesse du rejet	9,2 m/s (diamètre 800 mm)
Altitude du rejet	14,0 m

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.

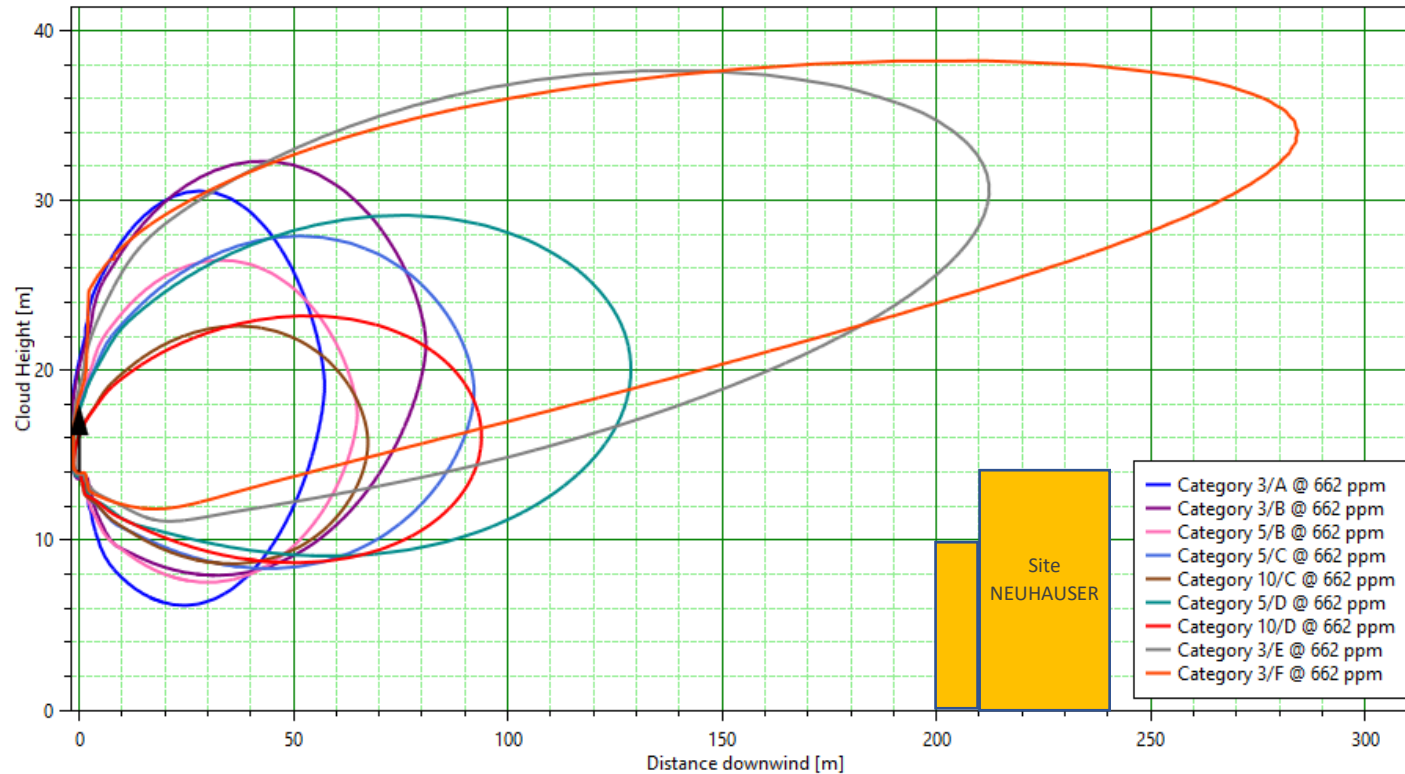
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (792 s) sont les suivantes :

- SEI : 662 ppm
- SPEL : 7 128 ppm

Audit Number	27843	*
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Local SDM	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/AMMONIA_SDM	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur SDM	
View Time	791,999 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD CITE MARINE 2021	

Scénario 13 - Fuite liquide installation à l'arrêt avec pression BP +10°C

Rejet Extracteur SDM



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de CITE MARINE à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

3. Rejet depuis bouteille BP (avec les pompes NH3) – SDM (scénario 13.2) avec vanes de sécurité

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP contient **5 500 kg** d'ammoniac à saturation (la charge totale du circuit BP de l'installation est considérée + les retours postes à l'arrêt), à +10°C sous 6,15 bars absolus. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de ligne de 88,9 mm de diamètre extérieur 77,9 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention de 30 m² à l'intérieur de la SDM. **Le rejet est diminué par la mise en place de vanes de sécurité à l'aspiration des pompes.**

Dimensions		
Longueur	20,5 m	Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniaqué se met en route. Le débit extrait est de
Largeur	15,0 m	16 650 m³/h. Le point de rejet est à une hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint) . La vitesse des gaz en
Hauteur	7,0 m	sortie de conduite est fixée à 9,2 m/s.
Volume	2 156 m ³	

Modélisation du terme source

Les caractéristiques du rejet en salle des machines sont les suivantes : **Avec vanes de sécurité (temps de réaction 45 secondes)**

Phase	Diphasique liquide + gaz	
Débit de rejet	21,1	Kg/s
Durée du rejet	45 (260)	Sec
Température du rejet	-33,4	°C
Vitesse de rejet	78	m/s
Diamètre des gouttes	124	µm
Fraction liquide	78,35	%

Les valeurs sont données par un premier calcul « leak » sur « pressure vessel », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le plus important récipient **5 500 kg**. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure 45 sec à un débit (*liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente*) de 21,1 kg/s. La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique soit -33,4°C. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out » est de 78 %, par conséquent 158 kg sont directement émis en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,89 kg/s.

Les effets à distance sont prépondérants pendant la phase de rejet c'est-à-dire pendant les 674 secondes initiales (durée calculée en fonction du débit de l'extracteur d'air ammoniaqué). La phase d'évaporation de la nappe n'est pas prise en compte par la suite (phase descendante du nuage).

Modélisation du scénario final

Dans le local, il est par conséquent fait l'hypothèse que, suite au rejet, un mélange air/ammoniac se crée à l'intérieur du local. La fraction massique d'ammoniac à l'équilibre Y_{NH_3} est donnée par :

$$Y_{NH_3} = m_{NH_3} / (m_{air} + m_{NH_3})$$

La masse d'air dans le local vaut 2 566 kg en prenant en compte une masse volumique de 1,2 kg/m³. Par conséquent : $Y_{NH_3} = 0,027$

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que : $T_f = [Y_{NH_3} C_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) C_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} C_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) C_{p,air}]$

Avec:

C_{p,NH_3}	Chaleur massique à pression constante de l'ammoniac gazeux (2 000 J/kg.K)
T_{NH_3}	Température d'ébullition de l'ammoniac (239,6 K)
T_{air}	Température de l'air ambiant (293 K)
$C_{p,air}$	Chaleur massique à pression constante de l'air (1 004 J/kg.K)

Et donc : $T_f = -14,01^\circ\text{C}$

La masse molaire M_f du mélange est déduite de la relation : $M_f = 1 / [Y_{NH_3} / M_{NH_3} + (1 - Y_{NH_3}) / M_{air}]$

Où M_{NH_3} désigne la masse molaire de l'ammoniac (0,017 kg/mol) et M_{air} désigne la masse molaire de l'air (0,0288 kg/mol). Ainsi : $M_f = 0,0277$ kg/mol. La masse volumique moyenne de mélange à $-14,01^\circ\text{C}$ est donc de 0,87 kg/m³.

En supposant que le débit volumique de l'extracteur reste constant, le débit massique du mélange gazeux rejeté à la cheminée vaut 4,04 kg/s. A ce rythme le temps total d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $158 / (0,027 \times 4,04) = 674$ s (11 minutes).

Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

Phase	Vapeur (4 % ammoniac, 96 % air)
Débit de rejet (extracteur)	4,04 kg/s
Durée du rejet	674 sec
Température du rejet	14,01 °C
Vitesse du rejet	9,2 m/s (diamètre 800 mm)
Altitude du rejet	14,0 m

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.

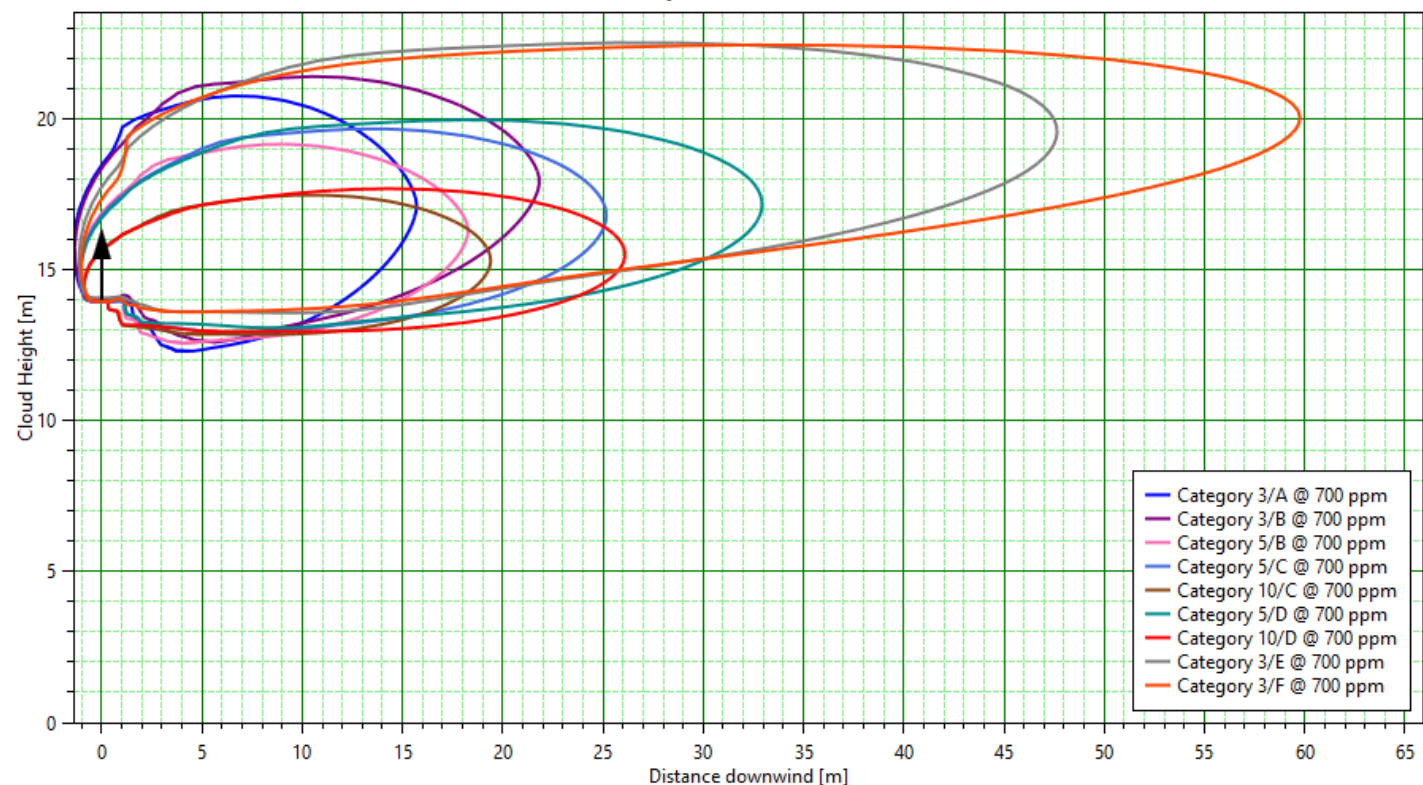
Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (792 s) sont les suivantes :

- SEI : 700 ppm
- SPEL : 7 743 ppm

Audit Number	31365
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local SDM (avec vannes de sécurité)
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SD M avec Vannes de sécurité
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM
View Time	673,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD CITE MARINE 2021

Scénario 13 - Fuite liquide installation à l'arrêt avec pression BP à +10°C (sat)

Rejet Extracteur SDM



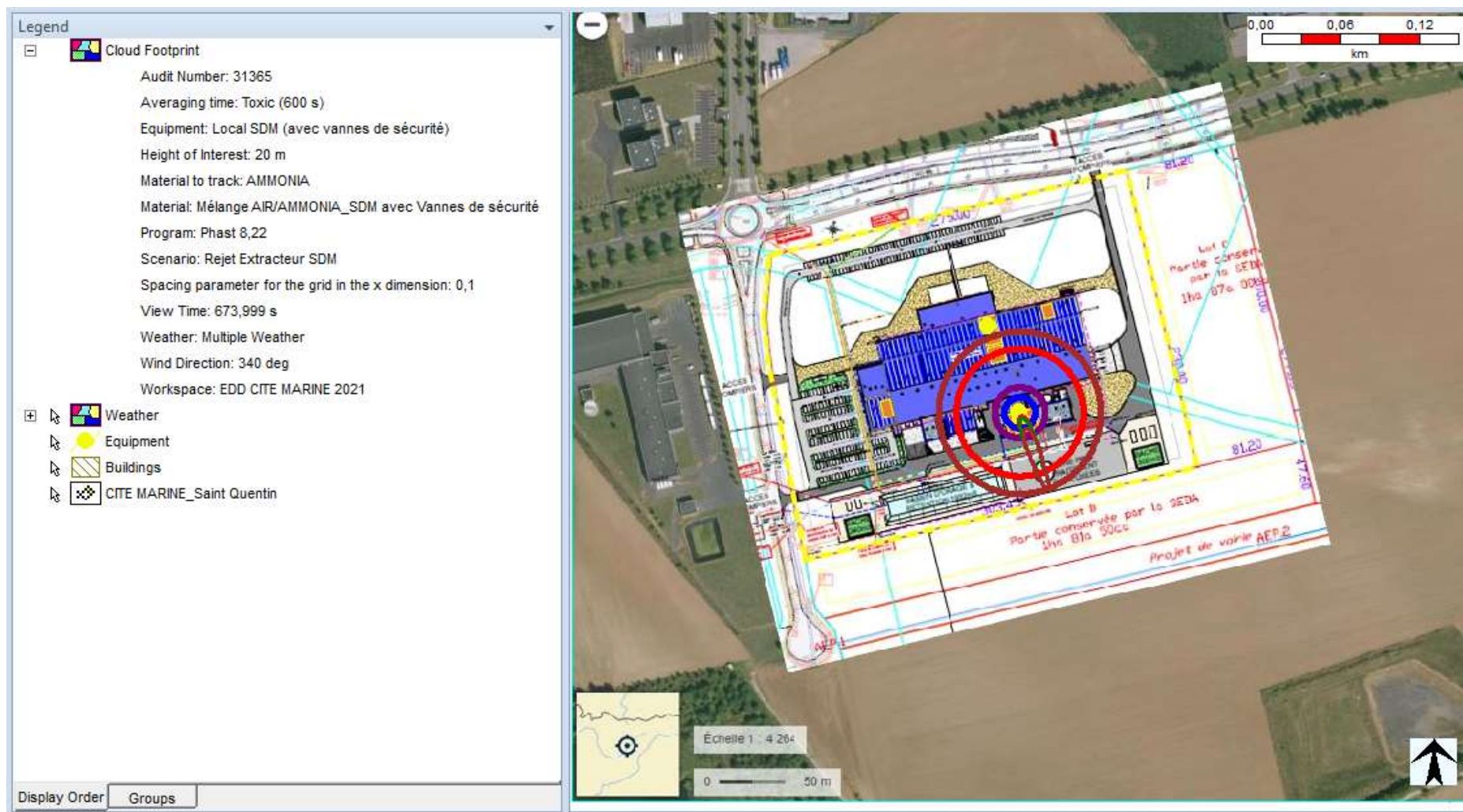
La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de CITE MARINE à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

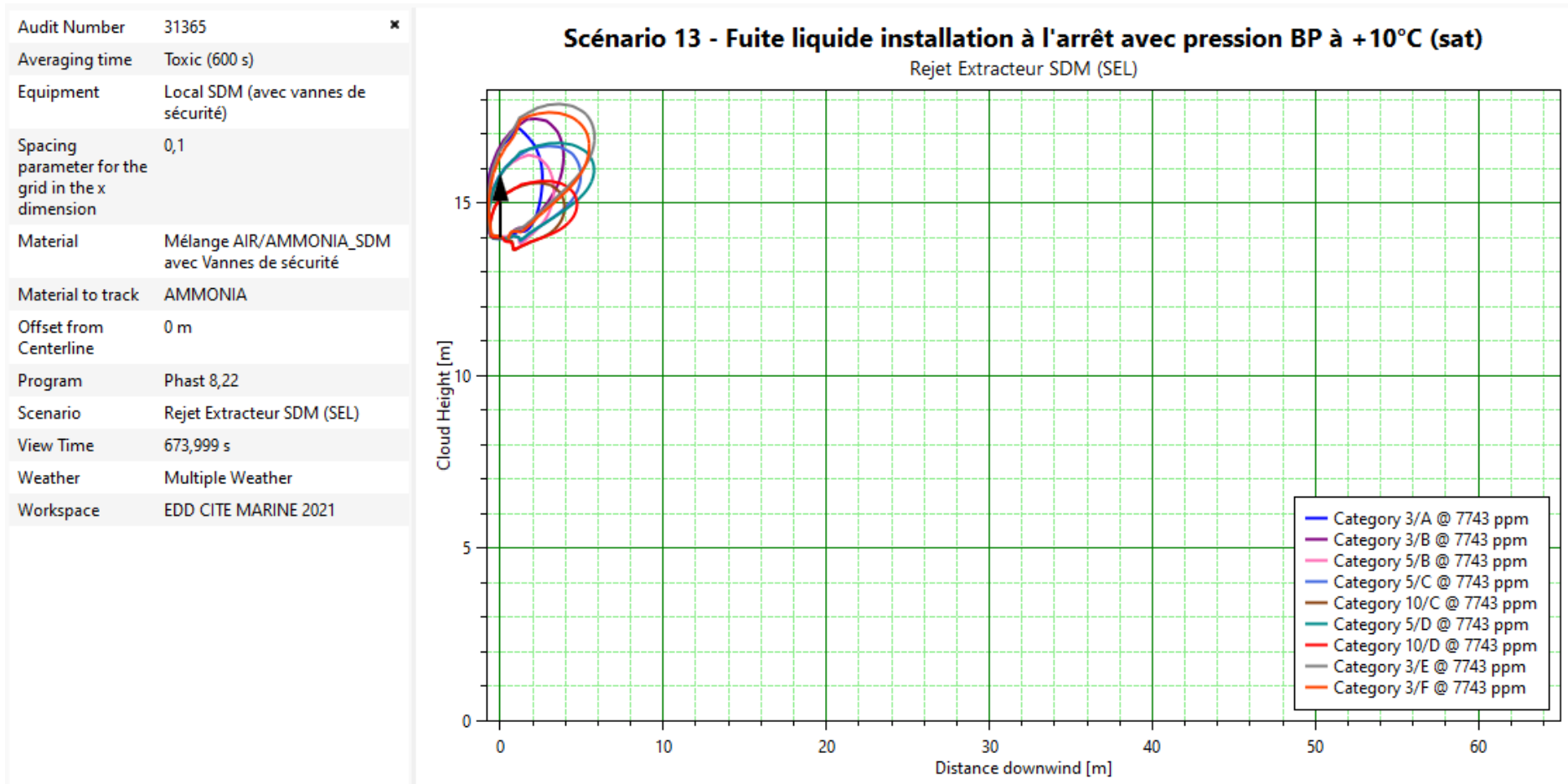
Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

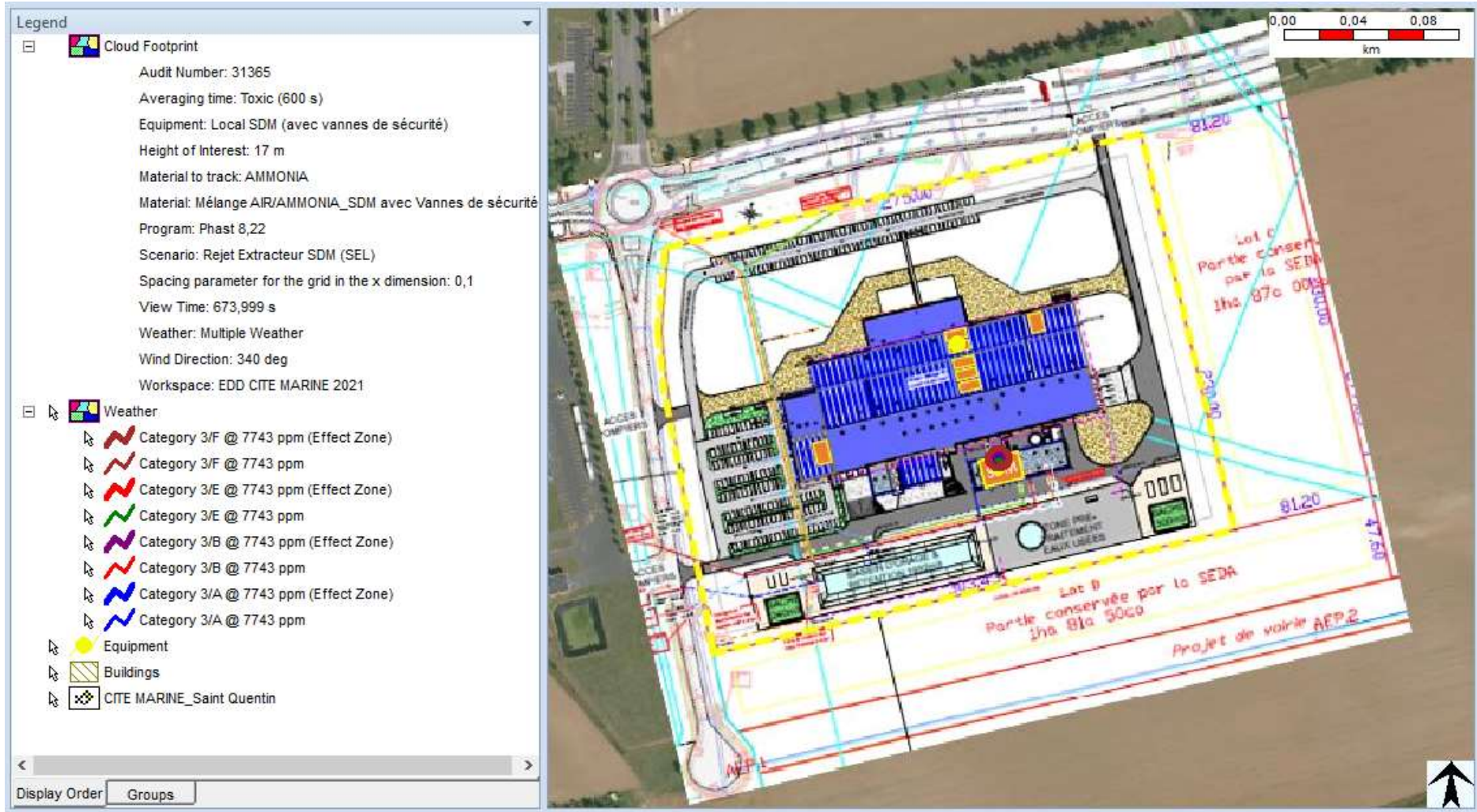
Vue en coupe du nuage (scénario liquide +10°C, perte de confinement total) à la hauteur correspondant au maximum du nuage (en distance)
– SEI :



Vue en coupe du nuage pour les effets létaux SEL :



Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage (en distance) – SEL :



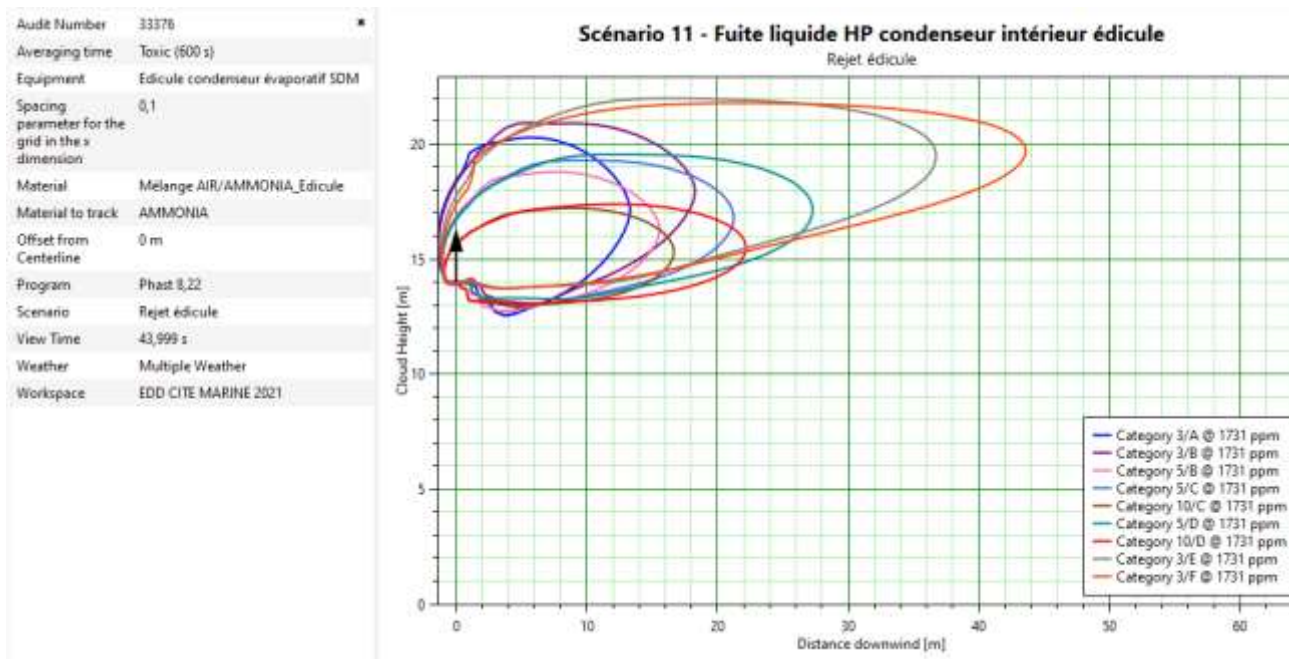
4. Rejet depuis une tuyauterie liquide HP dans l'édicule – SDM (scénario 11)

Données de calculs

L'installation est **supposée en fonctionnement**. Le débit considéré correspond au débit masse HP 11,52 kg/s pour une perte de confinement d'un condenseur + les tuyauteries associées (**44 kg en liquide HP**, 44 kg sur une batterie, 88 kg correspondant à 2 x batteries).

On utilise le modèle « user defined source » avec ma même méthode que pour le scénario 13. Il est fait l'hypothèse d'une rupture de la ligne liquide 60,3 mm de diamètre extérieur, 55,1 mm diamètre intérieur en phase liquide dans l'édicule condenseurs.

Ensuite c'est la section d'ouverture de la protection qui engendre l'émission extérieure (voir le graphe ci-après).



Résultats de calcul :

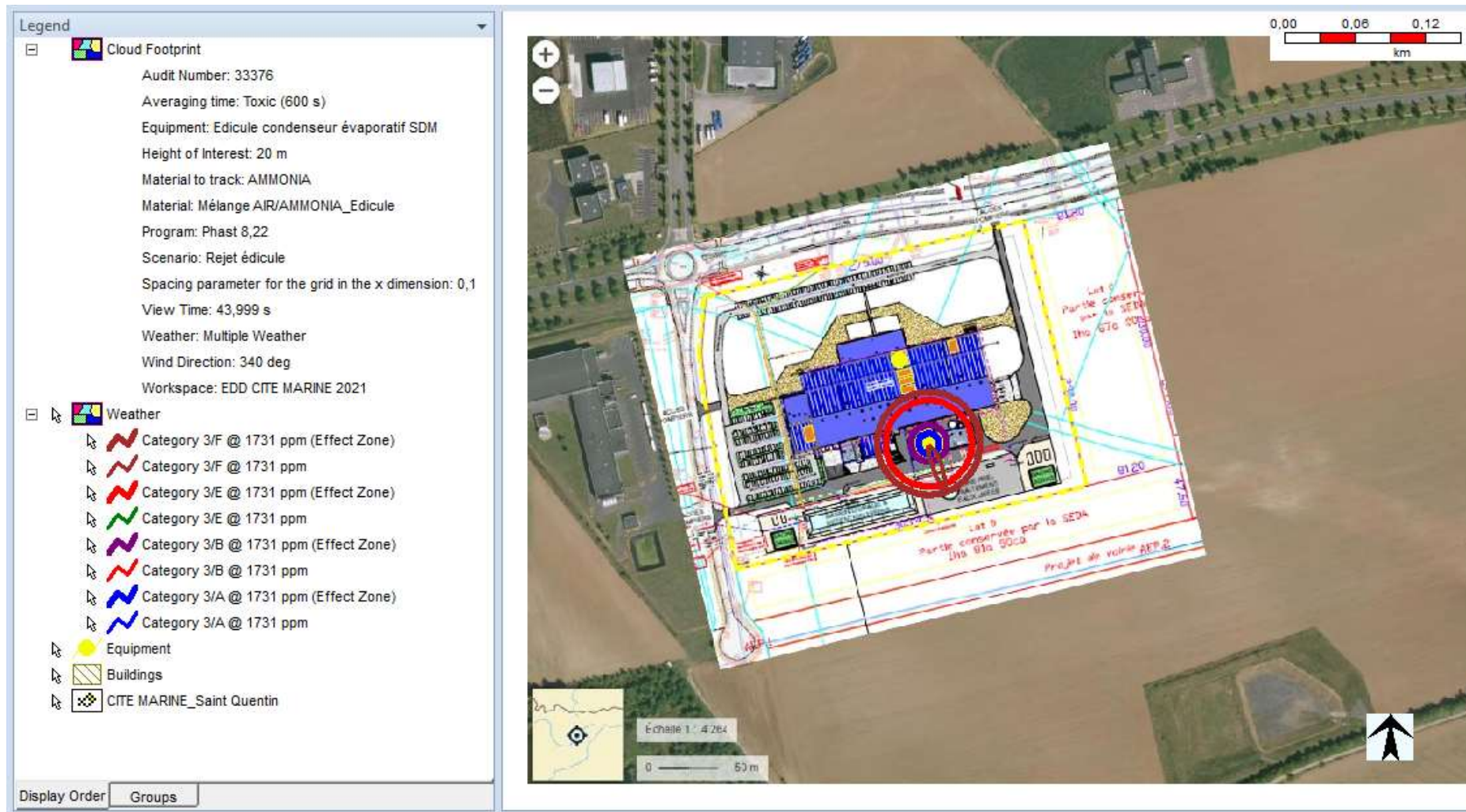
Le résultat montre qu'avec la protection édicule il n'y a pas d'effet au sol.

Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessous) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles) dans toutes les conditions atmosphériques, pour la concentration liée aux effets irréversibles et calculée pour le temps de rejet majorant.

Vue en coupe du nuage (scénario liquide HP) à la hauteur correspondant au maximum du nuage (en distance) – SEI :



5. Rejet depuis la station de vannes intérieur combles – Evaporateur Surgélateur (scénario 16)

Données de calculs

L'installation est **supposée en fonctionnement**. La quantité d'ammoniac considérée correspond à la quantité d'ammoniac nécessaire pour le fonctionnement de l'évaporateur associé au débit des pompes de la SDM. Ici la quantité d'ammoniac mis en jeu est de **471 kg dans une batterie émis par les pompes pendant 45 sec**. Ammoniac à saturation, à -40°C sous une pression de 3 bars absolus (*pression générée par les pompes de distribution d'ammoniac*). Il est fait l'hypothèse d'une rupture de la ligne liquide de 48,3 mm de diamètre extérieur, 41 mm diamètre intérieur en phase liquide. L'ammoniac se répand alors dans une rétention (station de vannes en rétention intérieur combles techniques).

Dimensions
combles

Longueur	40 m	Sur détection ammoniac, l'extracteur de sécurité d'air ammoniacué se met en route. Le débit extrait est de 7 000 m³/h . Le point de rejet est à une hauteur de rejet de 14 m (voir résultat ci-joint) . La vitesse des gaz en sortie de conduite est fixée à 9,9 m/s (Conduit de diamètre 400 mm).
Largeur	30 m	
Hauteur	2 m	
Coefficient k	0,75	
Volume x k	1 800 m ³	

On procède avec la même méthodologie décrite pour le scénario 13.

Modélisation du terme source (*ce qui se passe à l'intérieur du local station de vannes*).

On prendra toute la quantité d'ammoniac de l'évaporateur relié à la station de vanne, par conséquent **120 kg sont directement émis en phase gazeuse** et évacués par l'extracteur de sécurité. Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol en combles s'évapore lentement à un débit de vapeur de 1,2 kg/s.

Modélisation du scénario final

Finalement, le scénario est défini à l'aide du modèle « user defined » avec les valeurs imposées suivantes :

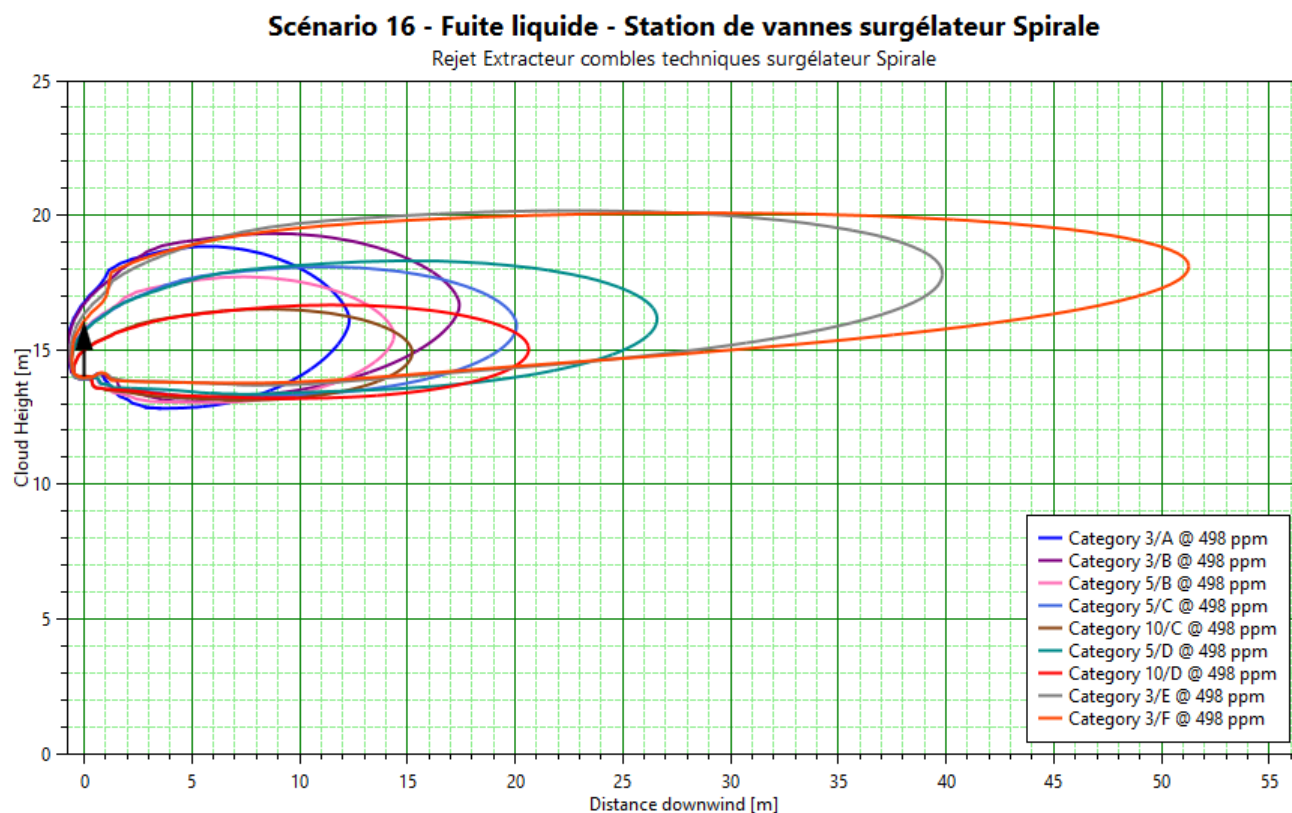
Phase	Vapeur (8% ammoniac, 92% air)
Débit de rejet (extracteur)	1,7 kg/s
Durée du rejet	1 863 sec
Température du rejet	+14,57°C
Vitesse du rejet	9,9 m/s (diamètre 500 mm)
Altitude du rejet	14 m

S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées au paragraphe sont envisagées.

Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués au paragraphe, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition (1 336 s) sont les suivantes :

- SEI : 556 ppm
- SPEL : 5 520 ppm
- SELS : 5 951 ppm

Audit Number	27844	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Local combles techniques surgélateur Spirale	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_St V Surgélateur	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur combles techniques surgélateur Spirale	
View Time	1870 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD CITE MARINE 2021	



La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du bâtiment (zone surgélateur 1, 2 et 3, au-dessus de la station de vannes). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme** et n'engendre **pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de CITE MARINE à une hauteur au sol de 1,5 m.

Résultats de calcul :

Le graphique ci-dessus illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées à hauteur d'homme (1,5 m voir ci-dessus) sont les suivantes, en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010) :

	3A	3B	5B	5C	10C	5D	10D	3E	3F
SEI	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SPEL	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SELS	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Vue en coupe du nuage (scénario combles) à la hauteur correspondant au maximum du nuage (en distance) – SEI :

