

Annexe 8 - Etude de la dispersion - Méthode intégrale PHAST

VANDEMOORTELE

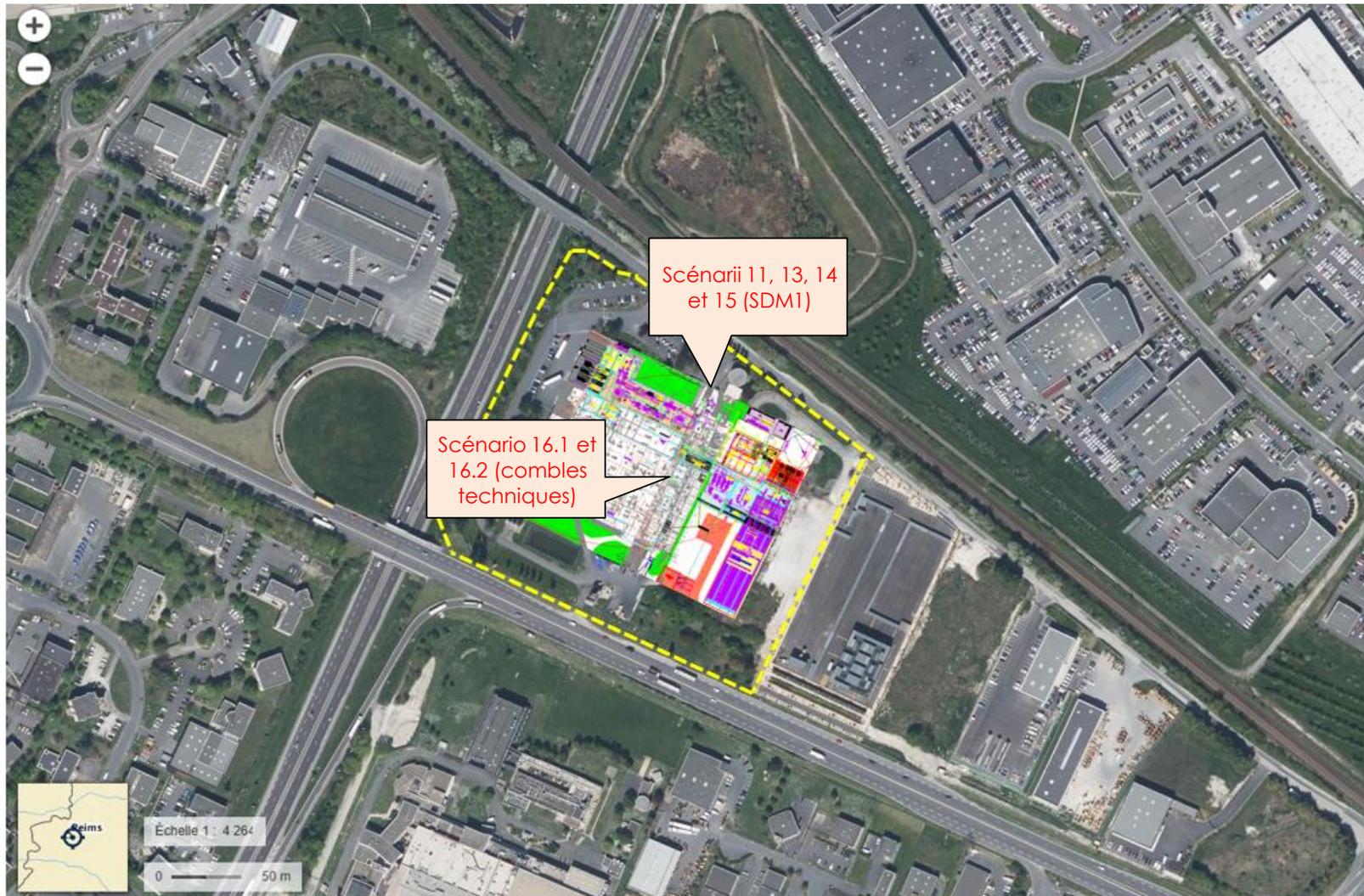
Système NH3 - Circuit n°1 - SDM1

- 1 - Localisation des scénarii
- 2 - Rejet depuis une tuyauterie liquide HP – SDM (scénario 11)
- 3 - Rejet depuis bouteille BP – SDM (scénario 13)
- 4 - Rejet depuis un tube condenseur extérieur (scénario 14)
- 5 - Rejet Soupapes de sécurité – Local SDM (scénario 15)
- 6 - Rejet depuis une station de vannes T9 – Galerie technique (scénario 16.1)
- 7 - Rejet depuis une station de vannes CF22B – Galerie technique (scénario 16.2)

Information : Version du logiciel PHAST 8.22

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 une tuyauterie liquide HP – SDM (scénario 11)

Données de calculs

L'installation est **supposée en fonctionnement**. Le débit considéré correspond au débit masse HP pour une perte de confinement d'un condenseur + les tuyauteries associées. Le condenseur est considéré à +50°C sous 20 bars absolus (Etat à saturation). Il est fait l'hypothèse d'une rupture d'une tuyauterie en phase liquide, un phénomène de détente est pris en compte dans le calcul de dispersion. L'ammoniac se répand alors dans la rétention sous le condenseur.

Volume local technique	2 385	m ³	
k pondérateur si grand volume	1,0		Pour les grands volumes (ex. dans les combles ou galeries techniques)
Volume de local technique	2 337	m ³	
Masse NH3 dans le condenseur + tuyauteries	200	kg	La charge du condenseur (+ tuyauteries, détenteur à flotteur)
Débit d'extraction	36 000	m ³ /h	La mise en service de l'extracteur de sécurité est asservie au système de détection d'ammoniac
Masse d'air du local technique	2 783	kg	

Modélisation du terme source (Fuite)

Les caractéristiques du rejet dans le local technique considéré sont les suivantes :

Diamètre nominal (DN)		50	
Diamètre intérieur		52,48	mm
S	Section	0,0021631	m ²
t1	Température saturante	50	°C
P1	Pression saturante interne	2 034 721	Pa
P ₂	Pression saturante extérieure	1 322 569	Pa
T ₂	Température du rejet	34,20	°C
M'	débit de fuite	13,41	kg/s
	vitesse de rejet	147,17	m/s
T rejet	Temps de vidange	14,92	s
x _{v2}	taux de vaporisation	0,23	
m'	débit de fuite vapeur	7,91	kg/s

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. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure T rejet à un débit M' (liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente). La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out », par conséquent la masse directement émise en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité est liée à au calcul du taux de vaporisation combinée avec l'évaporation de la nappe .

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 0,080 kg/s.

Débit de fuite impliquant directement la formation du nuage dans les conditions du terme source

Débit de vapeur + aérosol + évaporation de la nappe :

$$m' = (x_{v,1} + 2 \cdot x_{v,2} \cdot (1 - x_{v,1})) \cdot M'$$

Q **118** kg

Pour le calcul de l'évaporation de la nappe "rain-out" on utilise le Modèle de MacKay et Matsugu présenté dans le Yellow Book du TNP (7) et basé sur le modèle de Cavanaugh (30); source Rapport d'étude INERIS-DRA-2005-P46055-C51076

Modélisation du scénario final (rejet en extérieur)

La masse d'air dans le local vaut **2783** kg En prenant en compte une masse volumique de **1,2** kg/m³

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

Y_{NH_3} **0,0408315**

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que :

$$T_f = [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air}]$$

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)

T_f **15,68** °C

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

M_f **0,02801** kg/mol

La masse volumique moyenne du mélange à **15,68** °C est donc ρ_m

ρ_m **0,8638** kg/m³

m_{ext}	Débit d'extraction	8,638	kg/s	Le débit volumique est supposé constant
D	Diamètre du conduit	450	mm	
S	Section du conduit	0,1590	m ²	
w	Vitesse de rejet	62,876	m/s	

A ce rythme le temps d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $(Q / (Y_{NH_3} \times m_{ext}))$

Temps d'extraction **336** secondes

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

m_{ext}	Débit d'extraction	8,638	kg/s	S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées dans la circulaire du 10 mai 2010 sont envisagées.
	Temps d'extraction	336	secondes	
T finale	Température de rejet	15,68	°C	Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués dans le document de l'INERIS-DRC-03-47021-ETSC-Sti de août 2003, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition sont les suivantes :
w	Vitesse de rejet	62,876	m/s	
	% ammoniac	4%		
	% air	96%		

H **Altitude du rejet** **18** m

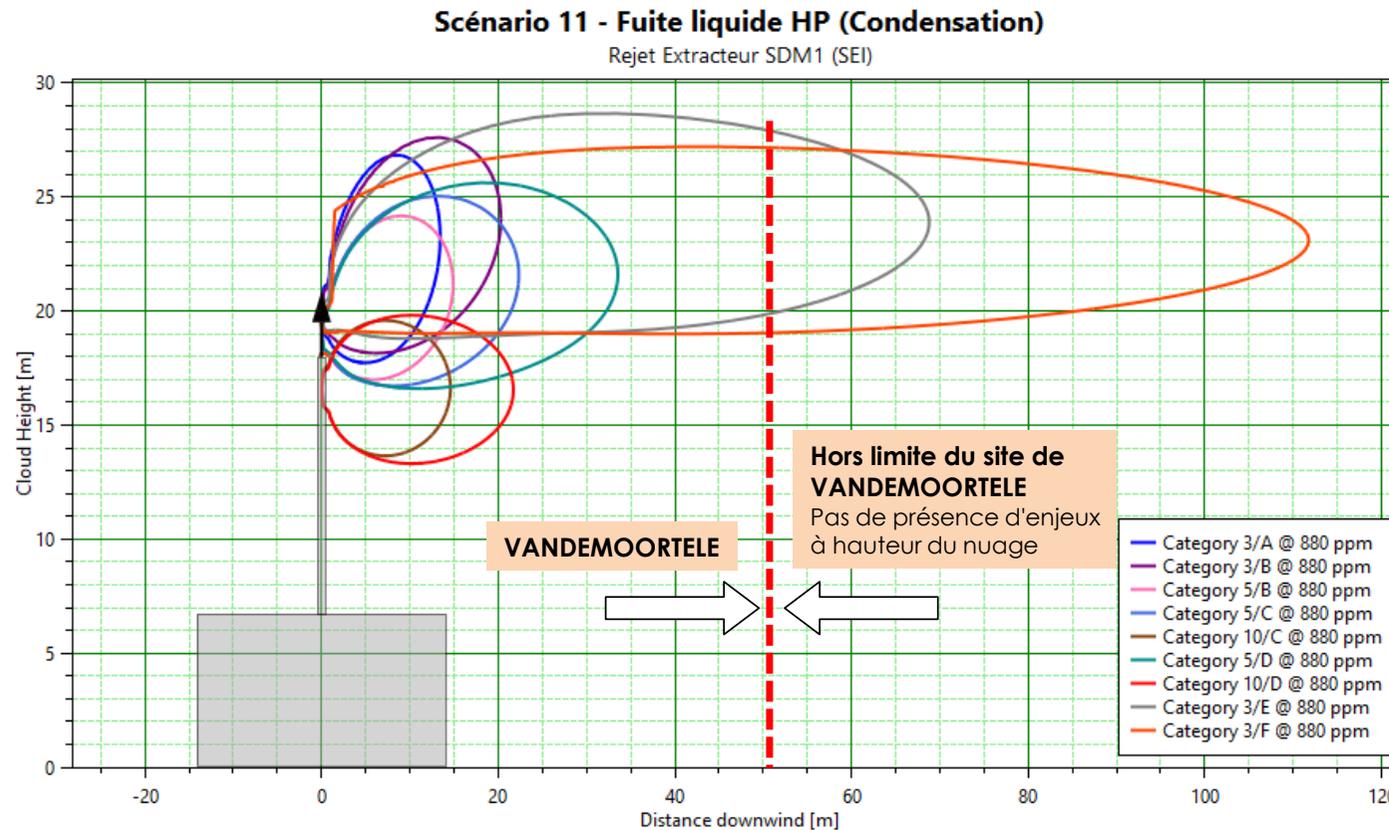
Seuils d'effets irréversibles	SEI :	880	ppm
Seuils d'effets létaux	SEL :	10 857	ppm
Seuils d'effets létaux significatifs	SELS :	11 851	ppm

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniacé)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010).

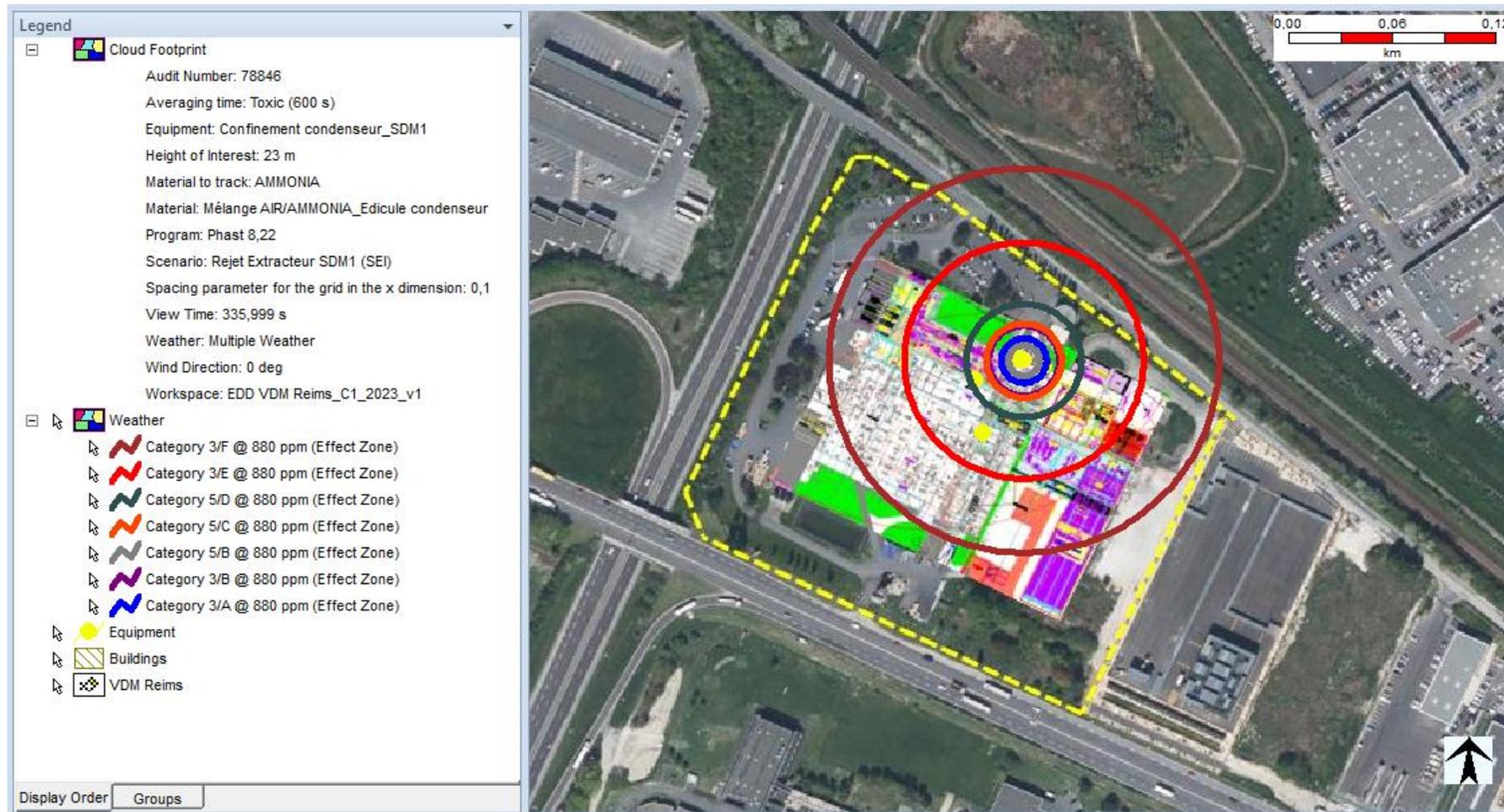
H Altitude du rejet **18** m

Audit Number	78846	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Confinement condenseur_S DM1	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_Edi cule condenseur	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur SDM1 (SEI)	
View Time	335,999 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023 _v1	



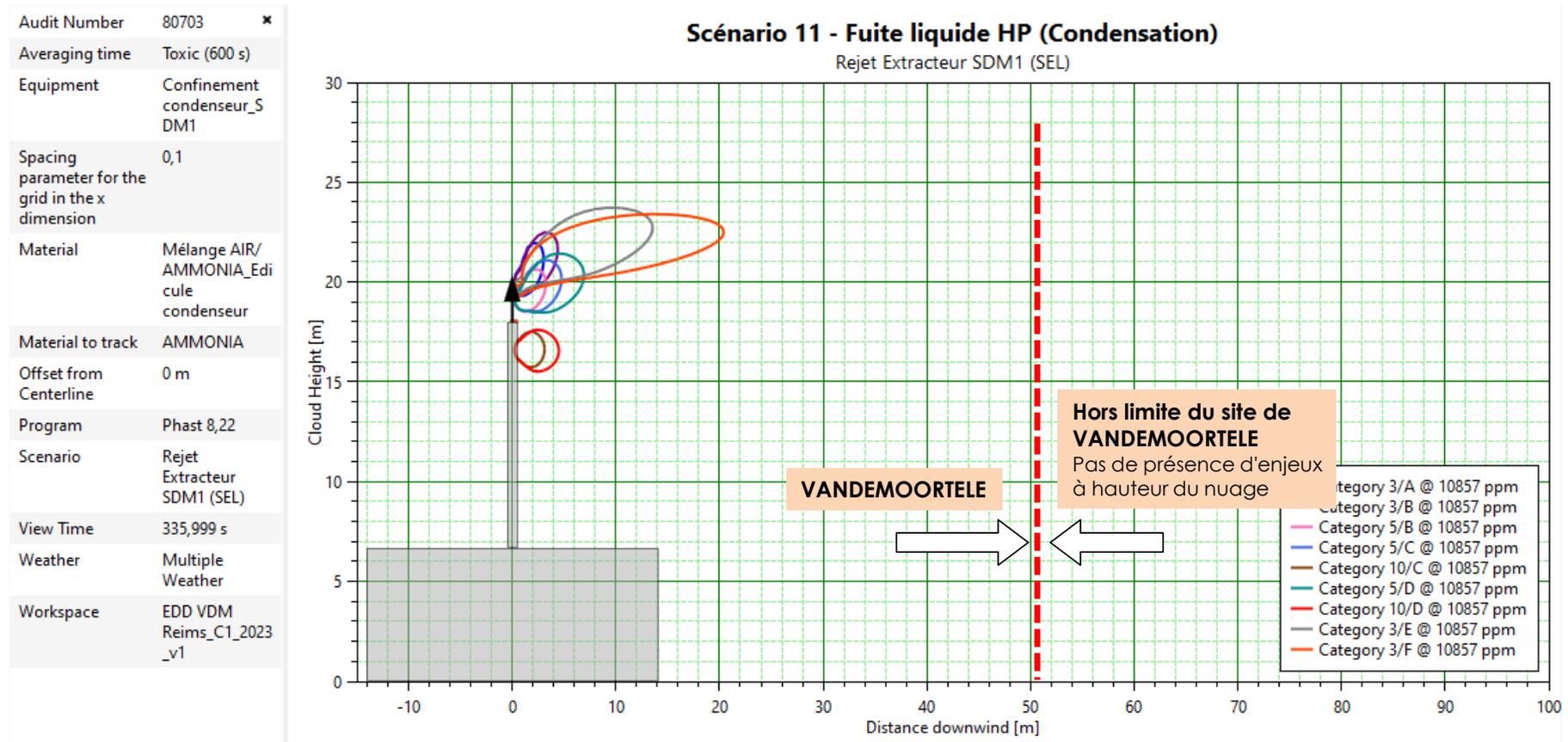
La hauteur de 18 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 18 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

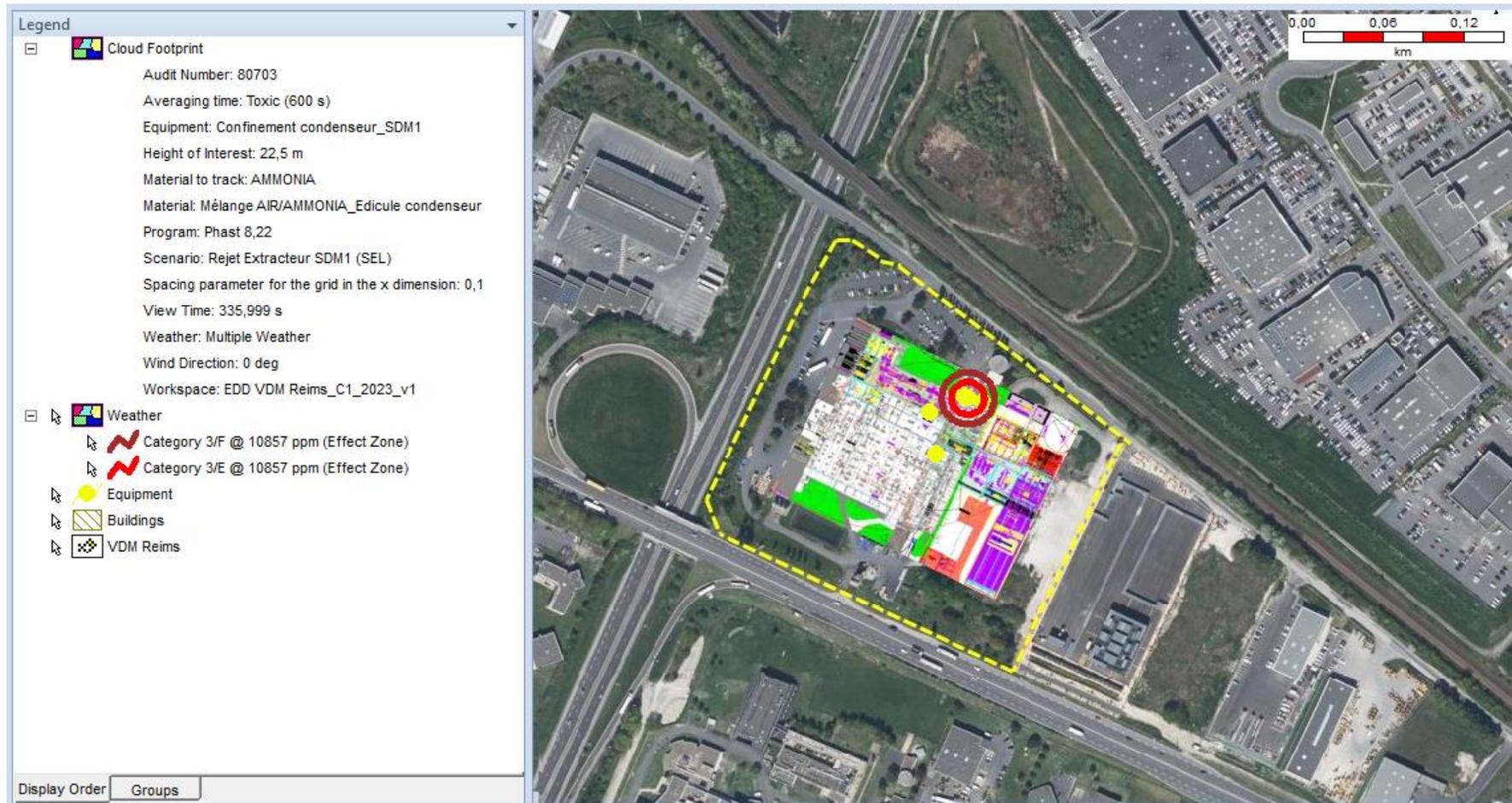
« N.B. D'un point de vue toxicologique, il n'est pas pertinent de déterminer de valeur seuil pour un effet donné (léta, irréversible ou réversible) pour des durées d'exposition inférieures à 10 minutes. Ceci s'explique en raison de la physiologie respiratoire et les apnées réflexes mis en jeu en cas d'exposition à des substances irritantes par inhalation. Ainsi, la valeur du seuil de toxicité aiguë pour une exposition d'une minute est purement une donnée mathématique calculée sans réelle valeur toxicologique. Il est donc illusoire de vouloir déterminer des valeurs pour des durées d'exposition inférieures à une minute. »

Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010).



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

3 - Rejet depuis bouteille BP – SDM (scénario 13)

Données de calculs

L'installation est supposée à l'arrêt. La capacité BP d'ammoniac est considérée à +10°C sous 6,15 bars absolus (Etat à saturation). Il est fait l'hypothèse d'une rupture d'une tuyauterie en partie basse (Sous la capacité). La fuite est en phase liquide, un phénomène de détente est pris en compte dans le calcul de dispersion. L'ammoniac se répand alors dans la rétention sous la capacité à l'intérieur de la SDM.

Volume local technique	2 340	m ³	
k pondérateur si grand volume	1,0		Pour les grands volumes (ex. dans les combles ou galeries techniques)
Volume de local technique	2 293	m ³	
Masse NH3 dans le séparateur basse pression	5 411	kg	La charge de la capacité (+ le retour utilisateur, tuyauteries, batteries, échangeurs)
Débit d'extraction	36 000	m ³ /h	La mise en service de l'extracteur de sécurité est asservie au système de détection d'ammoniac
Masse d'air du local technique	2 730	kg	

Modélisation du terme source (Fuite)

Les caractéristiques du rejet dans le local technique considéré sont les suivantes :

Diamètre nominal (DN)		80	
Diamètre intérieur		77,92	mm
S	Section	0,0047686	m ²
t1	Température saturante	1	°C
P1	Pression saturante interne	446 205	Pa
P ₂	Pression saturante extérieure	290 033	Pa
T ₂	Température du rejet	-10,07	°C
M'	débit de fuite	9,64	kg/s
	vitesse de rejet	69,86	m/s
T rejet	Temps de vidange	561,55	s
x _{v2}	taux de vaporisation	0,08	
m'	débit de fuite vapeur	2,16	kg/s

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. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure T rejet à un débit M' (liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente). La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out », par conséquent la masse directement émise en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité est liée à au calcul du taux de vaporisation combinée avec l'évaporation de la nappe.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 0,080 kg/s.

Débit de fuite impliquant directement la formation du nuage dans les conditions du terme source

avec vannes de sécurité

Débit de vapeur + aérosol + évaporation de la nappe :

$$m' = (x_{v,1} + 2 \cdot x_{v,2} \cdot (1 - x_{v,1})) \cdot M'$$

Q **135** kg

Pour le calcul de l'évaporation de la nappe "rain-out" on utilise le Modèle de MacKay et Matsugu présenté dans le Yellow Book du TNP (7) et basé sur le modèle de Cavanaugh (30); source Rapport d'étude INERIS-DRA-2005-P46055-C51076

Modélisation du scénario final (rejet en extérieur)

La masse d'air dans le local vaut **2 730** kg En prenant en compte une masse volumique de **1,2** kg/m³

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

Y_{NH_3} **0,0469688**

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que :

$$T_f = [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air}]$$

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)

T_f **15,08** °C

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

M_f **0,02789** kg/mol

La masse volumique moyenne du mélange à **15,08** °C est donc ρ_m

ρ_m **0,8674** kg/m³

m_{ext}	Débit d'extraction	8,674	kg/s	Le débit volumique est supposé constant
D	Diamètre du conduit	1 000	mm	
S	Section du conduit	0,7854	m ²	
w	Vitesse de rejet	12,732	m/s	

A ce rythme le temps d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $(Q / (Y_{NH_3} \times m_{ext}))$

Temps d'extraction **330** secondes

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

m_{ext}	Débit d'extraction	8,674	kg/s	S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées dans la circulaire du 10 mai 2010 sont envisagées.
	Temps d'extraction	330	secondes	
T finale	Température de rejet	15,08	°C	Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués dans le document de l'INERIS-DRC-03-47021-ETSC-Sti de août 2003, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition sont les suivantes :
w	Vitesse de rejet	12,732	m/s	
	% ammoniac	3%		
	% air	97%		

H **Altitude du rejet** **18** m

Seuils d'effets irréversibles	SEI :	885	ppm
Seuils d'effets létaux	SEL :	10 947	ppm
Seuils d'effets létaux significatifs	SELS :	11 951	ppm

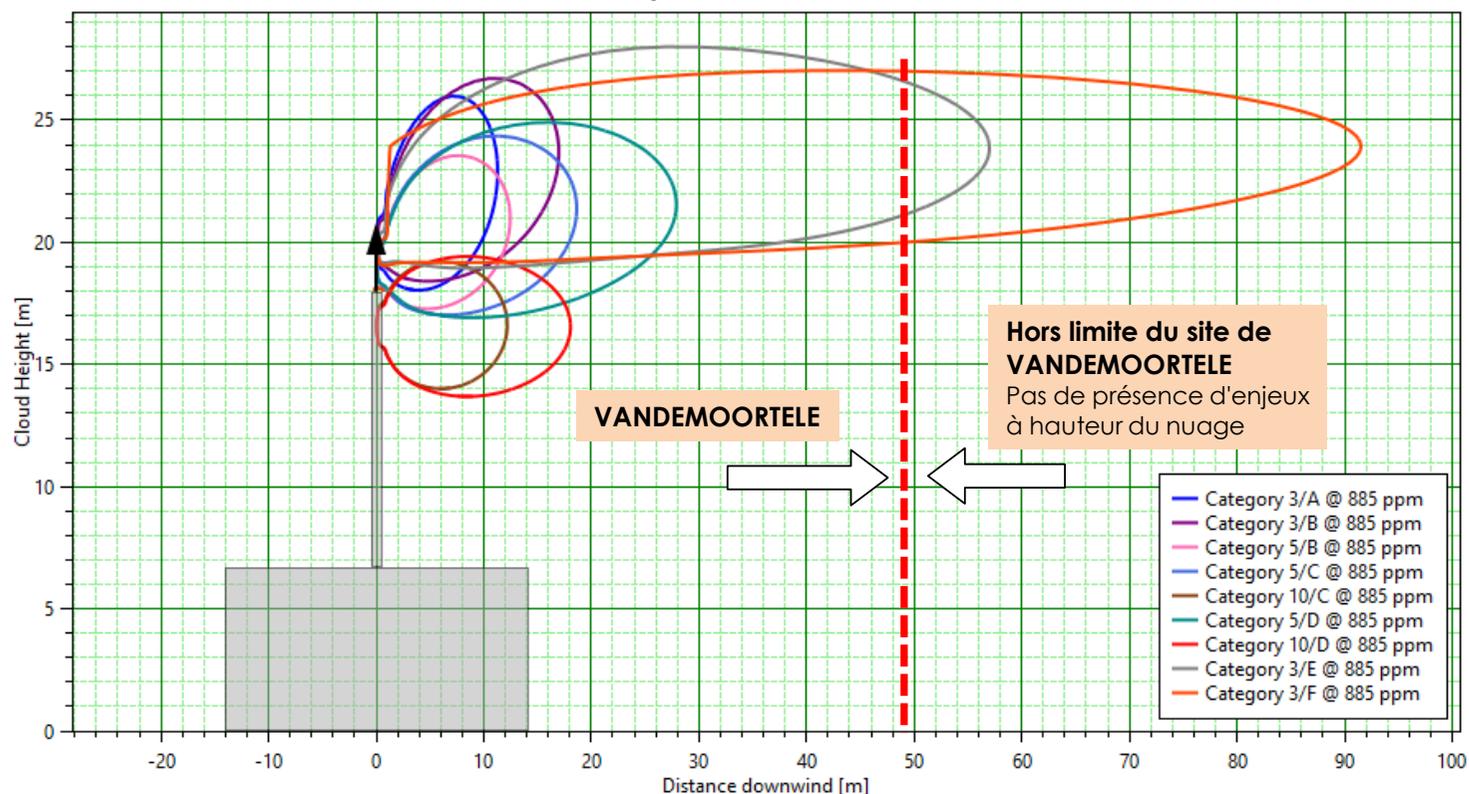
Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniacqué) - Avec vannes de sécurité sous la bouteille BP

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010), avec vannes de sécurité.

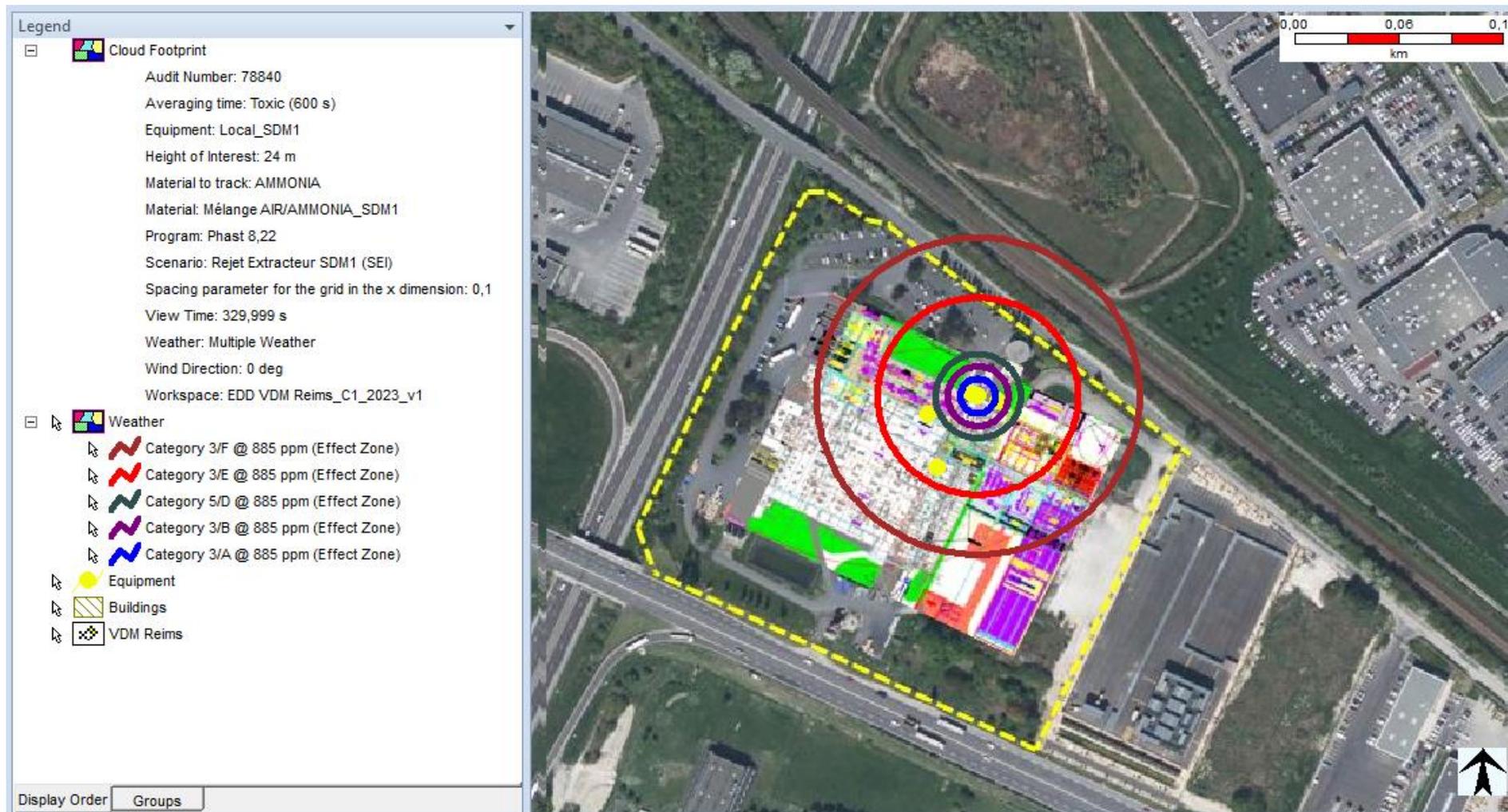
H Altitude du rejet **18** m

Audit Number	78840	✘
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Local_SDM1	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/AMMONIA_SDM1	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur SDM1 (SEI)	
View Time	329,999 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1	

Scénario 13 - Fuite liquide installation à l'arrêt avec pression BP élevée à +1°C (sat) avec vannes de sécurité
Rejet Extracteur SDM1 (SEI)



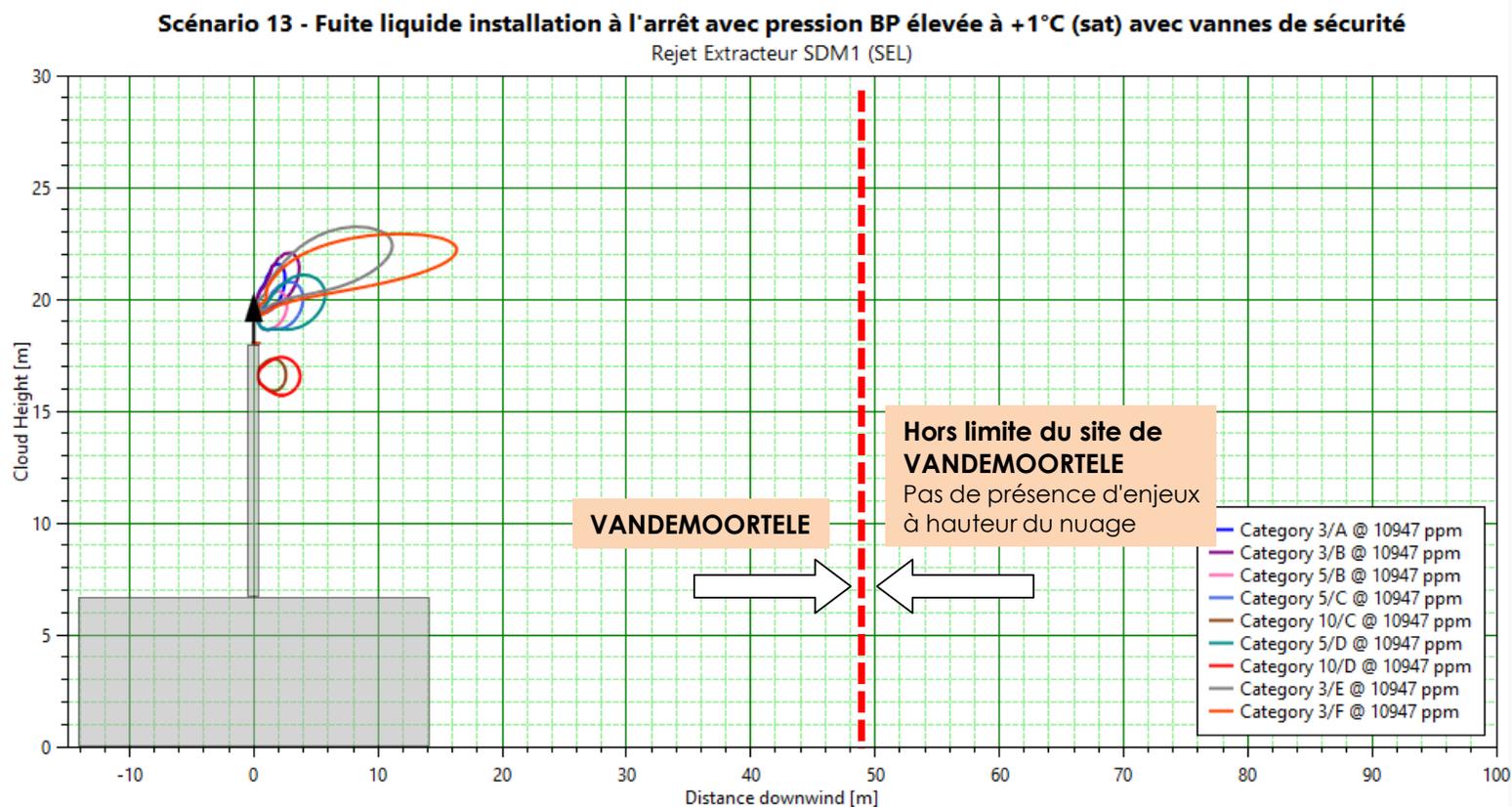
La hauteur de 18 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 18 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

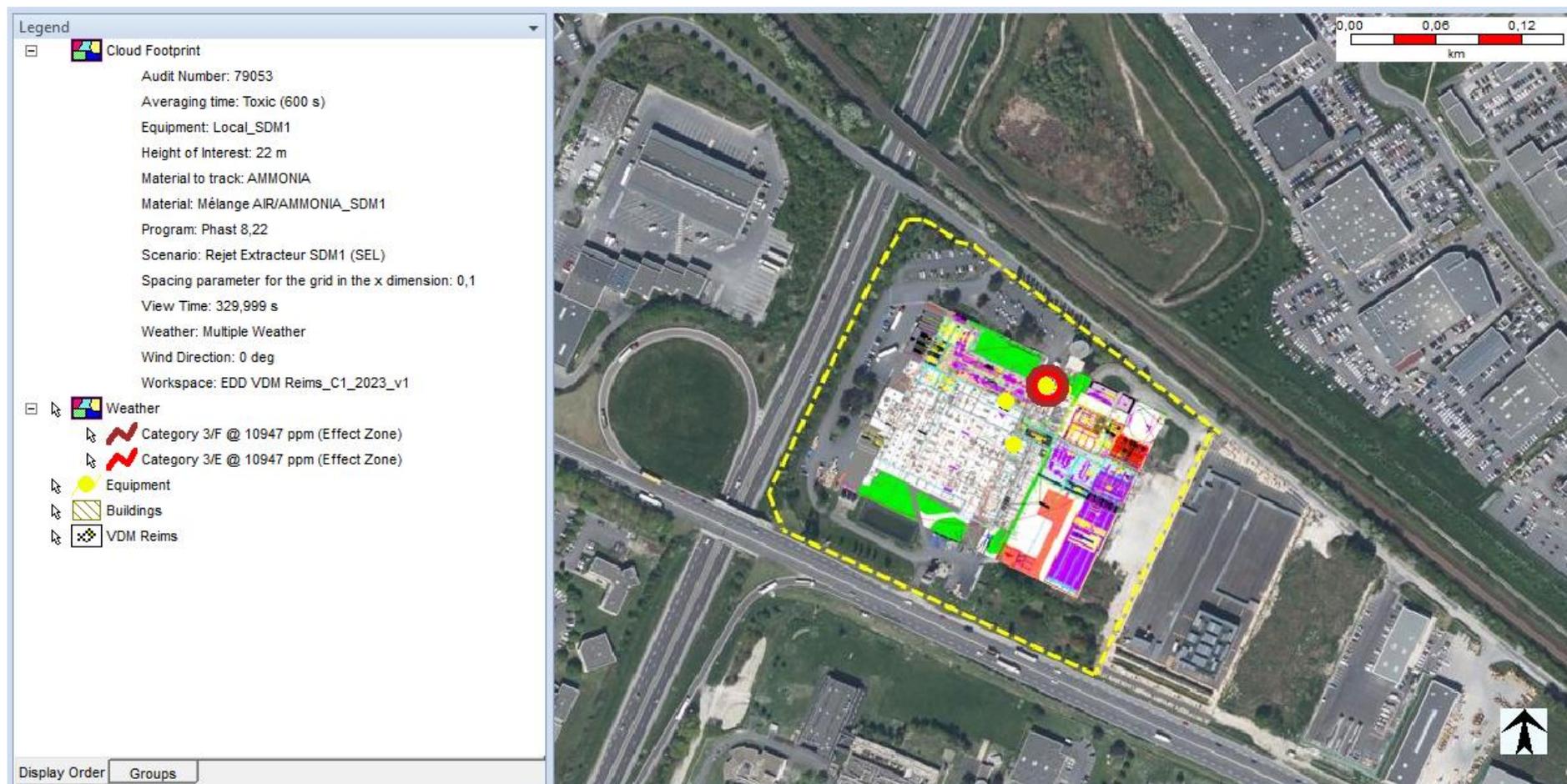
Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué) - Avec vannes de sécurité sous la bouteille BP

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010), avec vannes de sécurité.

Audit Number	79053
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local_SDM1
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/AMMONIA_SDM1
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM1 (SEL)
View Time	329,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1



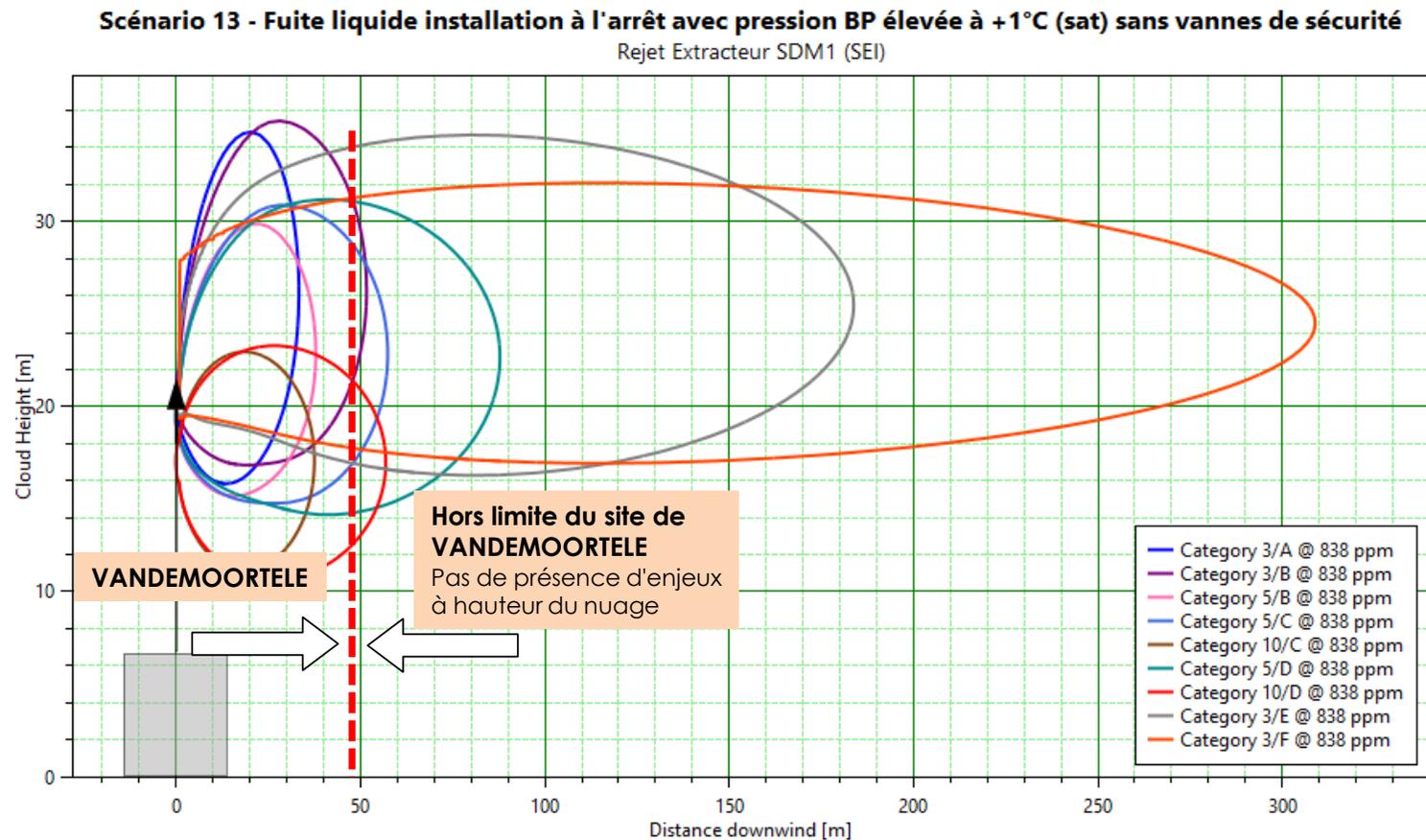
Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEL :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniacé) - Sans vannes de sécurité sous la bouteille BP

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010), avec vannes de sécurité.

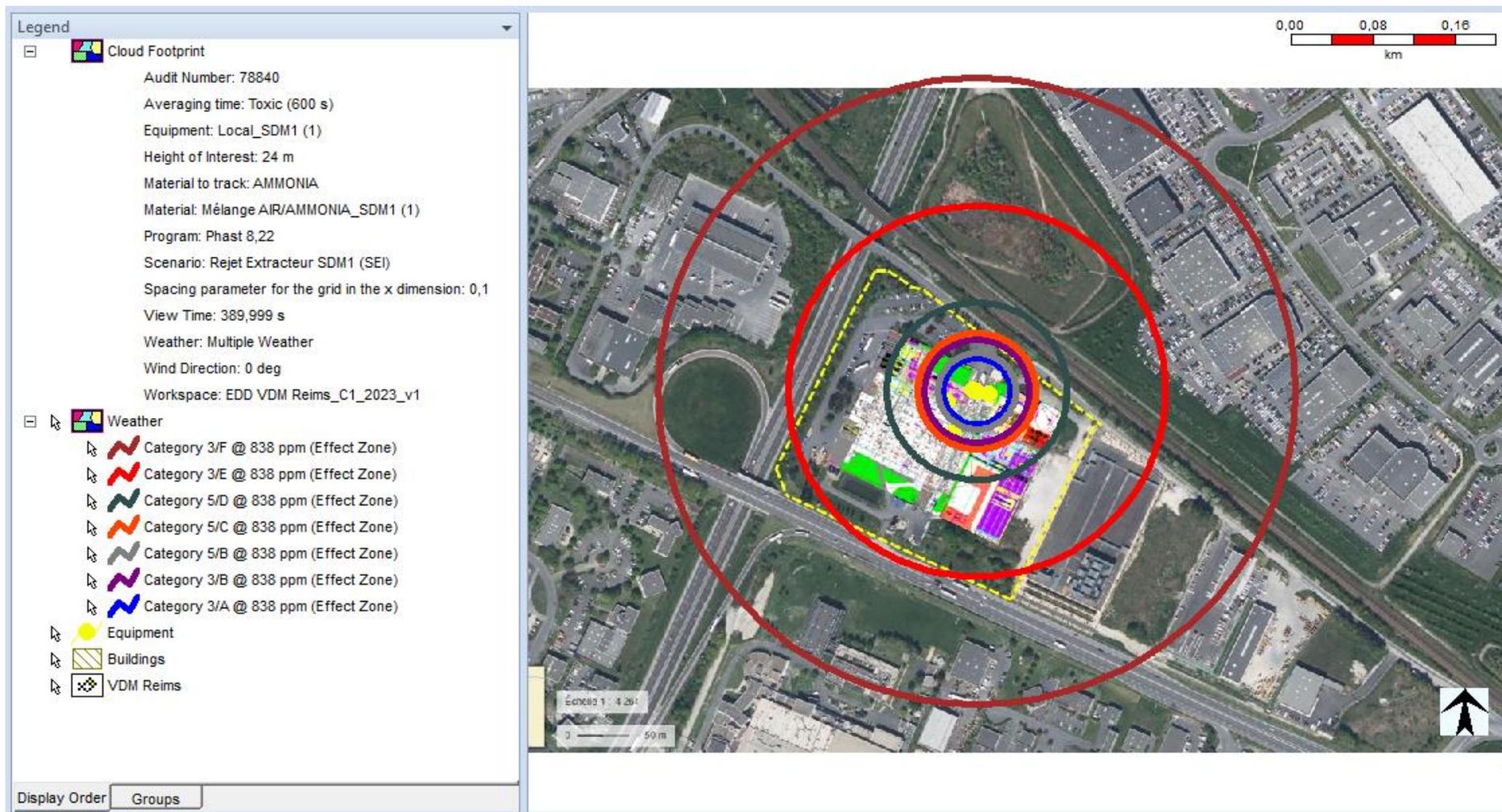
H Altitude du rejet **18** m

Audit Number	78840
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Local_SDM1 (1)
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_SD M1 (1)
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur SDM1 (SEI)
View Time	389,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1



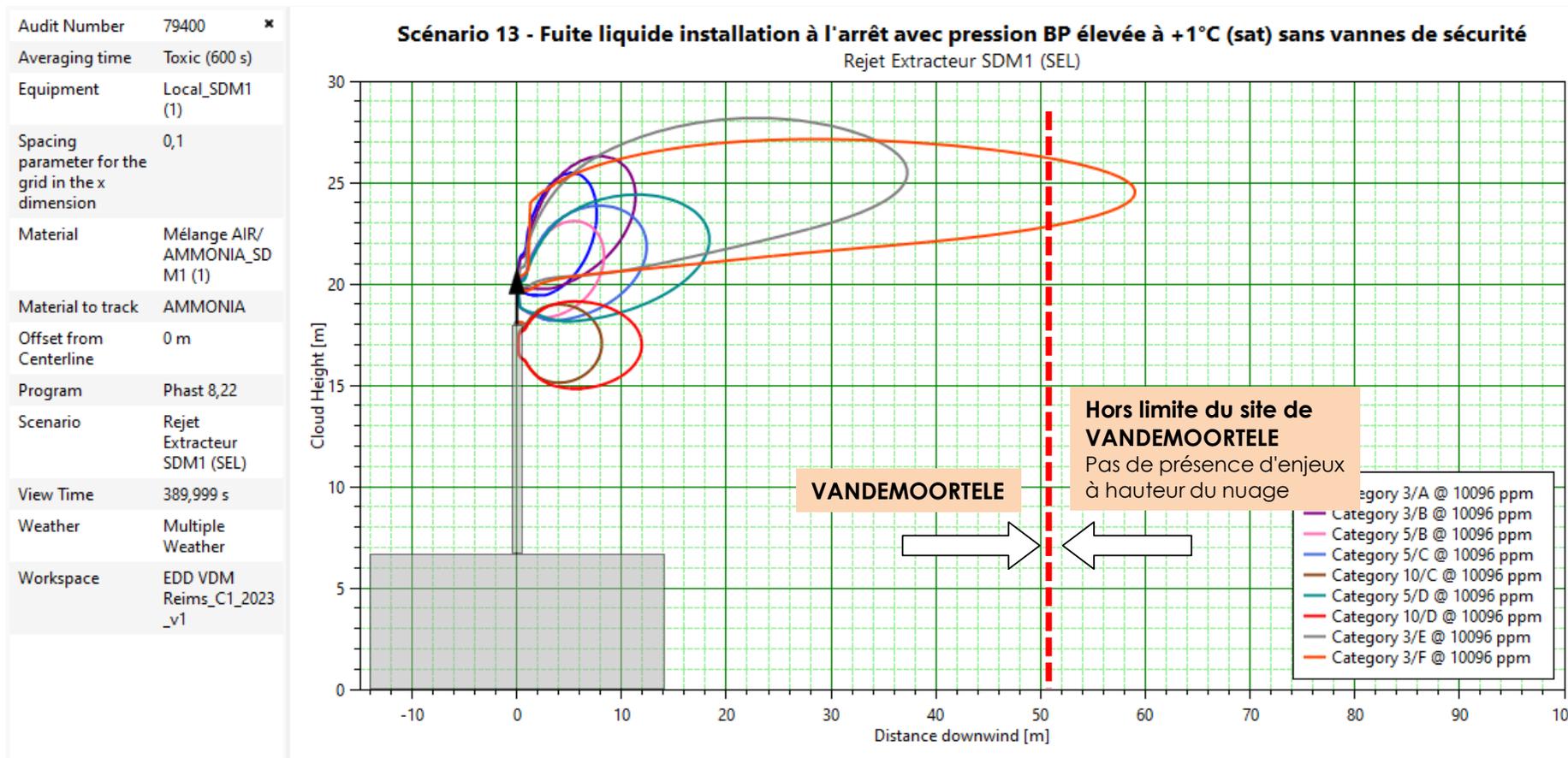
La hauteur de 18 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). Avec ce point de rejet à 18 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

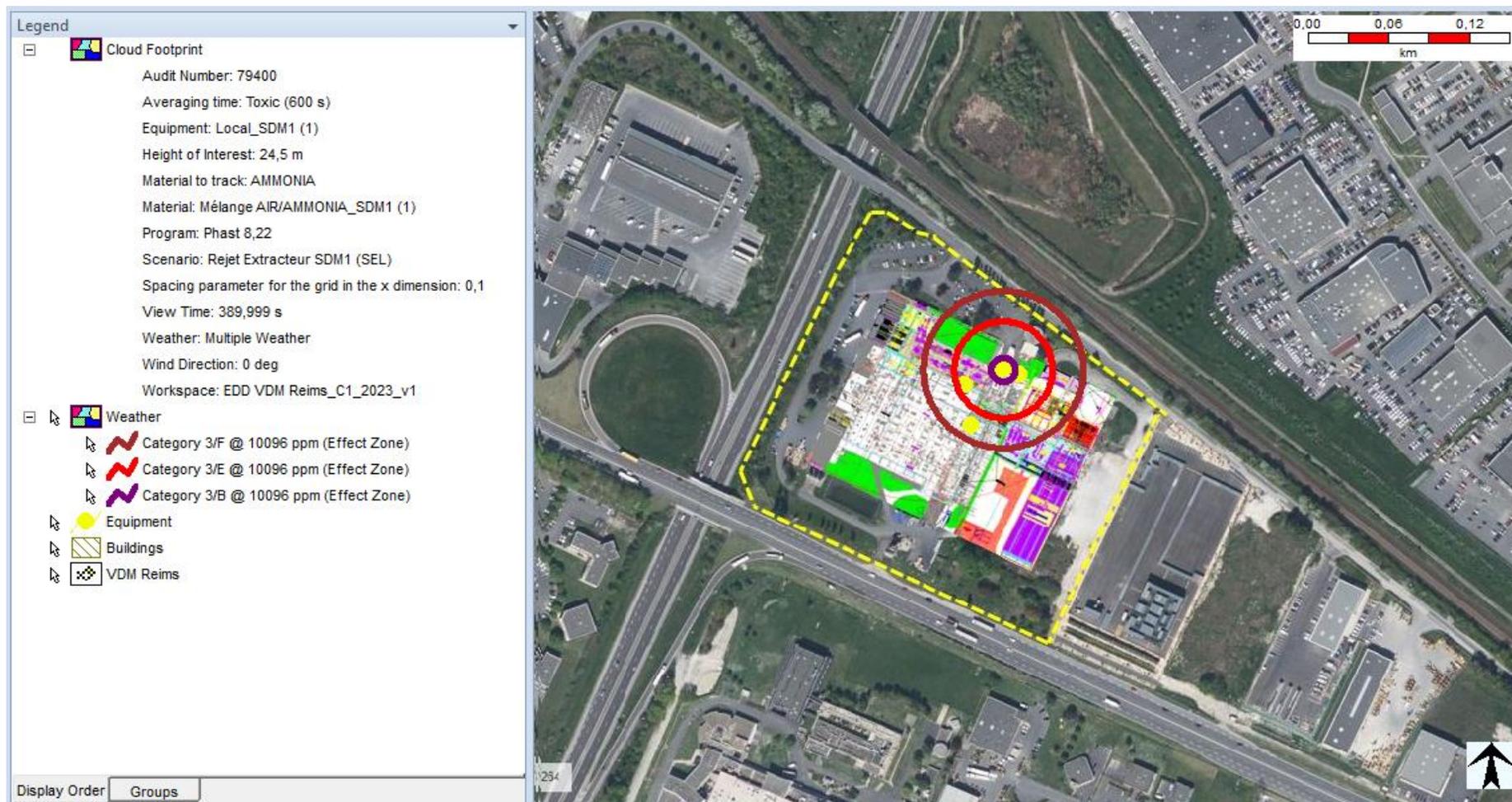
Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :



Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué) - Sans vannes de sécurité sous la bouteille BP

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010), avec vannes de sécurité.



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

4 - Rejet depuis un tube condenseur extérieur (scénario 14)

Données de calculs

L'installation est **supposée en fonctionnement**. Le débit considéré correspond au débit masse HP pour une perte de confinement d'un condenseur + les tuyauteries associées. Le condenseur est considéré à +35°C sous 13,4 bars absolus (Etat à saturation). Il est fait l'hypothèse d'une rupture d'une tuyauterie en phase liquide, un phénomène de détente est pris en compte dans le calcul de dispersion. L'ammoniac se répand alors dans la rétention sous le condenseur.

Seuils d'effets irréversibles	SEI :	1 104	ppm
Seuils d'effets létaux	SEL :	15 167	ppm
Seuils d'effets létaux significatifs	SELS :	16 657	ppm

Modélisation du terme source (Fuite extérieure)

Les caractéristiques du rejet dans le local technique considéré sont les suivantes :

Diamètre nominal (DN)		8	
Diamètre intérieur		11 mm	
S	Section	9,50332E-05	m ²
t1	Température saturante	50	°C
P1	Pression saturante interne	2 034 721	Pa
P ₂	Pression saturante extérieure	1 322 569	Pa
T ₂	Température du rejet	34,20	°C
M'	débit de fuite	0,59	kg/s
	vitesse de rejet	147,17	m/s
T rejet	Temps de vidange	169,79	s
x _{v2}	taux de vaporisation	0,23	
m'	débit de fuite vapeur	0,35	kg/s

Les valeurs sont données par un premier calcul « **leak** » sur « **pressure vessel** », la charge considérée est la charge maximum contenue dans la batterie du condenseur. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure T rejet à un débit M' (liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente). La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out », par conséquent la masse directement émise en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité est liée à au calcul du taux de vaporisation combinée avec l'évaporation de la nappe.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 0,080 kg/s.

Débit de fuite impliquant directement la formation du nuage dans les conditions du terme source

Débit de vapeur + aérosol + évaporation de la nappe :

$$m' = (x_{v,1} + 2 \cdot x_{v,2} \cdot (1 - x_{v,1})) \cdot M'$$

Q **64** kg

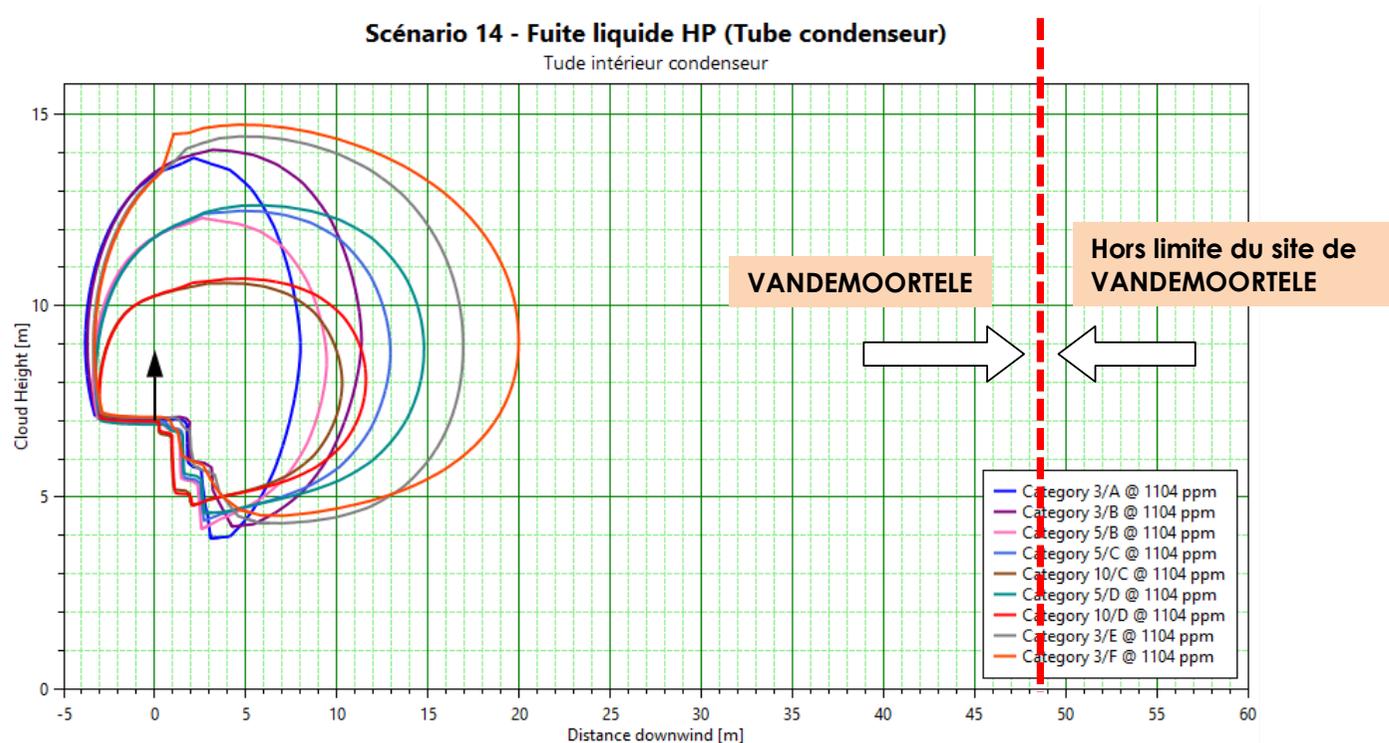
Pour le calcul de l'évaporation de la nappe "rain-out" on utilise le Modèle de MacKay et Matsugu présenté dans le Yellow Book du TNP (7) et basé sur le modèle de Cavanaugh (30); source Rapport d'étude INERIS-DRA-2005-P46055-C51076

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion ammoniac direct)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010).

H Altitude du rejet **7** m

Audit Number	75082
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Condenseur extérieur
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/AMMONIA_Condenseur
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Tude intérieur condenseur
View Time	169,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1



La hauteur de 7 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de tube). **Avec ce point de rejet à 7 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

Complément sur la détermination de la valeur seuil pour un effet donné en fonction du temps d'exposition (suivant le document de l'INERIS DRC-07-82347-07520A) :

« N.B. D'un point de vue toxicologique, il n'est pas pertinent de déterminer de valeur seuil pour un effet donné (létal, irréversible ou réversible) pour des durées d'exposition inférieures à 10 minutes. Ceci s'explique en raison de la physiologie respiratoire et les apnées réflexes mis en jeu en cas d'exposition à des substances irritantes par inhalation.

Ainsi, la valeur du seuil de toxicité aiguë pour une exposition d'une minute est purement une donnée mathématique calculée sans réelle valeur toxicologique. Il est donc illusoire de vouloir déterminer des valeurs pour des durées d'exposition inférieures à une minute. »

Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

5 - Rejet Soupapes de sécurité – Local SDM (scénario 15)Données de calculs

L'installation est supposée en fonctionnement. La modélisation suivante est réalisée dans le cas d'un **incendie dans le local technique**. L'ammoniac contenu dans l'installation sera rejeté par les soupapes de sécurité via le collecteur de rejet.

		Equipements soumis au flux thermique de l'incendie						
Equipement (réservoir)		Bouteille BP	outeille Economiset	Bouteille MP				
Nombre (réservoir)		1	1	1				
Niveau de liquide dans le réservoir		400	500	400				
Echangeur					Condenseur	Désurchauffeur		
Nombre d'échangeur					1	1		
Caractérisation limiteur de pression								
P _{max}	Pression effective de réglage (PS)	11	19	11	20,0	20,0	20,0	bars
P _o	Pression réelle de décharge à l'atmosphère	13,1	21,9	13,1	23,0	23,0	23,0	bars
Tr	Température sat à Pr	33,90	52,89	33,90	54,84	54,84	54,84	°C
h _{vap}	Chaleur latente de vaporisation (à 1,1 x PS)	1 097,9	1 006,2	1 097,9	996,4	996,4	996,4	kJ/kg
A1	Surface externe de (des) équipement à protéger	28,00	6,72	15,39	-	-	-	m ²
A2	Surface externe de (des) équipement à protéger	-	-	5,78	-	5,78	3,39	m ²
A	Surface externe (A1 + A2)	28,00	6,72	21,17	-	5,78	3,39	m ²
φ	Densité de flux thermique	10	10	10	10	10	10	kW/m ²
M'	Débit de refoulement minimal requis	0,255	0,067	0,193	-	0,058	0,034	kg/s
	Débit de refoulement minimal requis	918	241	694	-	209	122	kg/h
C	Fonction des exposants isentropique du fluide	2,641	2,641	2,641	2,641	2,641	2,641	
	Diamètre de la soupapes (DN)	20	20	20	15	15	15	
	Diamètre intérieur	21,16	21,16	21,16	15,76	15,76	15,76	mm
	section de passage	0,000351659	0,000351659	0,000351659	0,000195075	0,000195075	0,000195075	m ²
k _{dr}	Coéfficient de décharge réduit de la soupape	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	
k _b	Coéfficient de correction sous-critique (critique = 1)	1	1	1	1	1	1	
Q _m	Débit masse calculé de la soupape	0,638	1,068	0,638	0,623	0,623	0,623	kg/s
	Débit masse calculé de la soupape	2 295	3 844	2 295	2 241	2 241	2 241	kg/h

Caractérisation de l'échappement

	Diamètre DN	40	40	40	25	20	20
	Diamètre intérieur	40,94	40,94	40,94	26,94	21,16	21,16 mm
	section de passage	0,001316393	0,001316393	0,001316393	0,000570013	0,000351659	0,000351659 m ²
ρ _{2v}	masse volumique vapeur	10,23	17,18	10,23	18,07	18,07	18,07 kg/m ³
w	vitesse de rejet (débit nominal soupape)	18,93	2,95	14,31	-	9,13	5,35 m/s
w	vitesse de rejet (débit réel)	5,12					m/s

Modélisation du terme source

	Diamètre nominal (DN)	100
	Diamètre intérieur	102,26 mm
	Section	0,008212993 m ²
k	coefficient de décharge dont la valeur couramment retenue est de	0,611
ρ _{2v}	masse volumique vapeur	10,23 kg/m ³
w	vitesse de rejet (débit collecteur soupapes)	3,66 m/s
	Temps de vidange	20 132 seconde
t	temps d'extraction	20 132 secondes 05:35:32 h:min:sec

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 sont les suivantes :

Les valeurs sont données par un premier calcul « **short pipe avec relief valve de sélectionné** » sur « **pressure Vessel** », la charge considérée est la charge maximum contenue dans le(s) plus important récipient.

Diamètre d'ouverture est déterminé par l'ensemble des soupapes MP BP par rapport aux données d'information sur la sélection des soupapes.

Quantité d'ammoniac dans l'installation

Q **6 200** kg

INERIS DRA71 §8.2 : La durée d'exposition aux nuages toxiques correspond aux durées de persistance des nuages toxiques, qui dépendent du scénario envisagé. **La durée maximale d'exposition retenue est de 1 heure.**

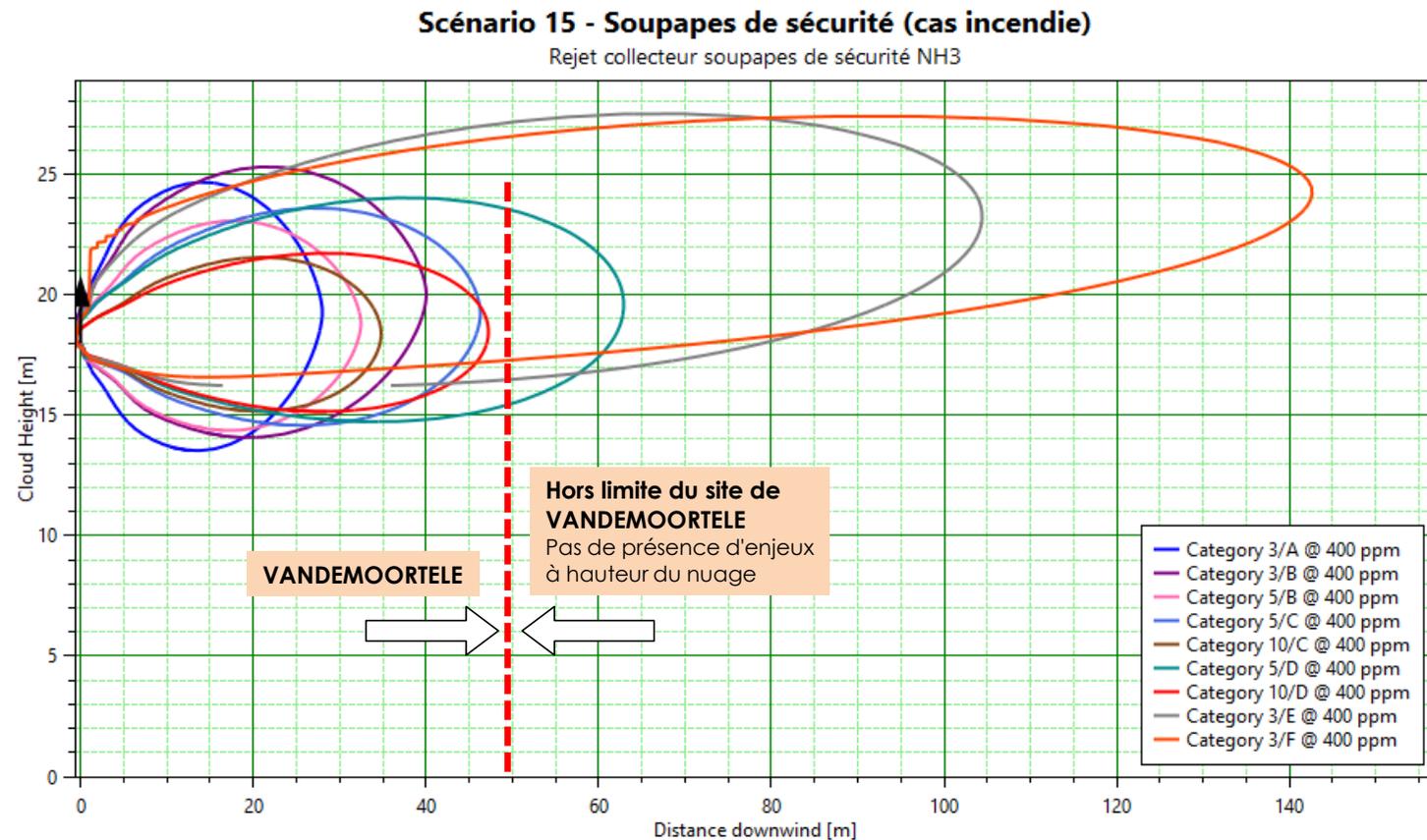
SEI	Seuils Effets Irréversibles	400	ppm
SEL	Seuils Effets Létaux	3 396	ppm
SELS	Seuils Effets Létaux significatifs	3 628	ppm

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

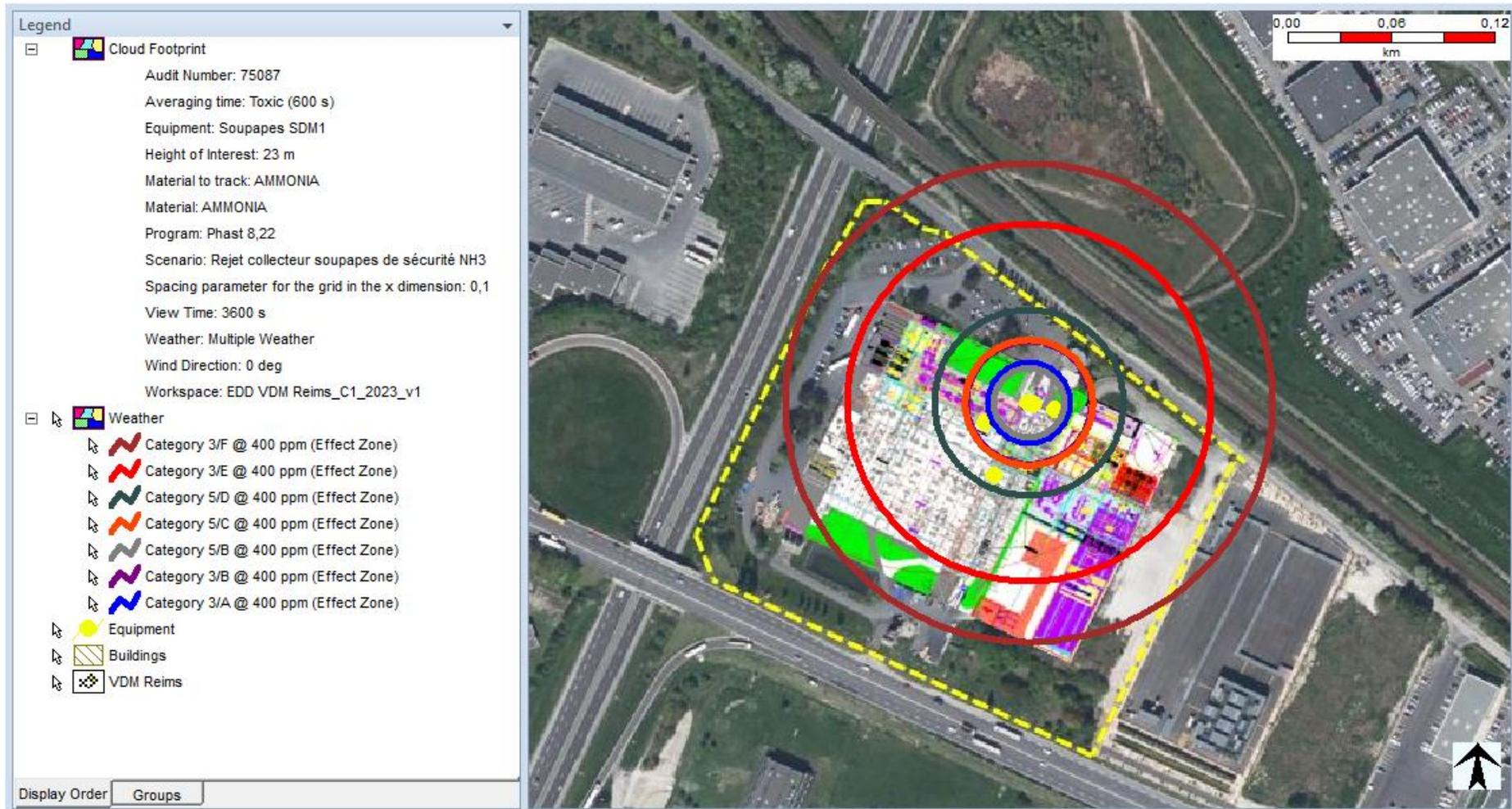
Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010).

H Altitude du rejet **18** m

Audit Number	75087	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Soupapes SDM1	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	AMMONIA	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet collecteur soupapes de sécurité NH3	
View Time	3600 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1	



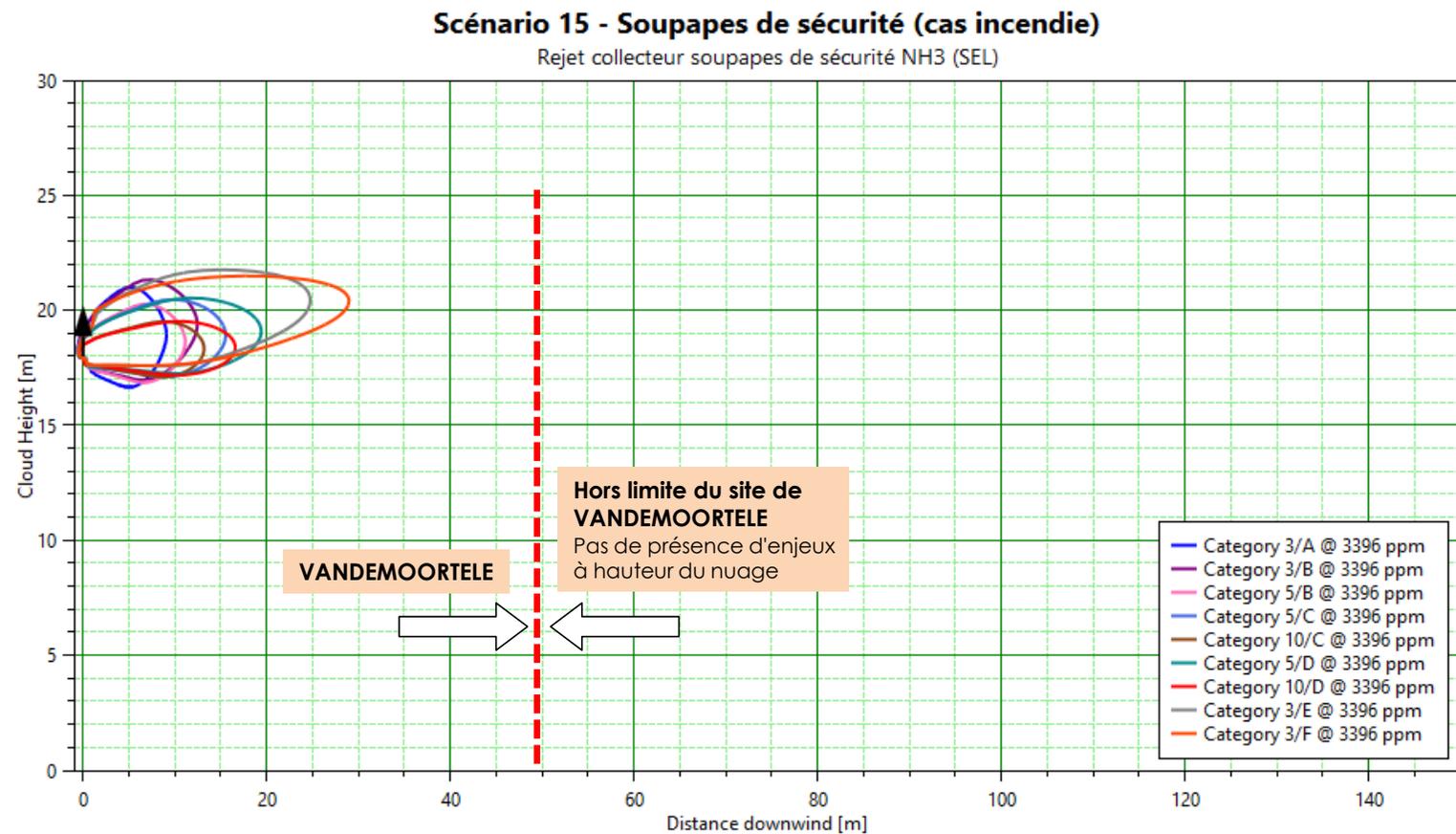
La hauteur de 18 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 18 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

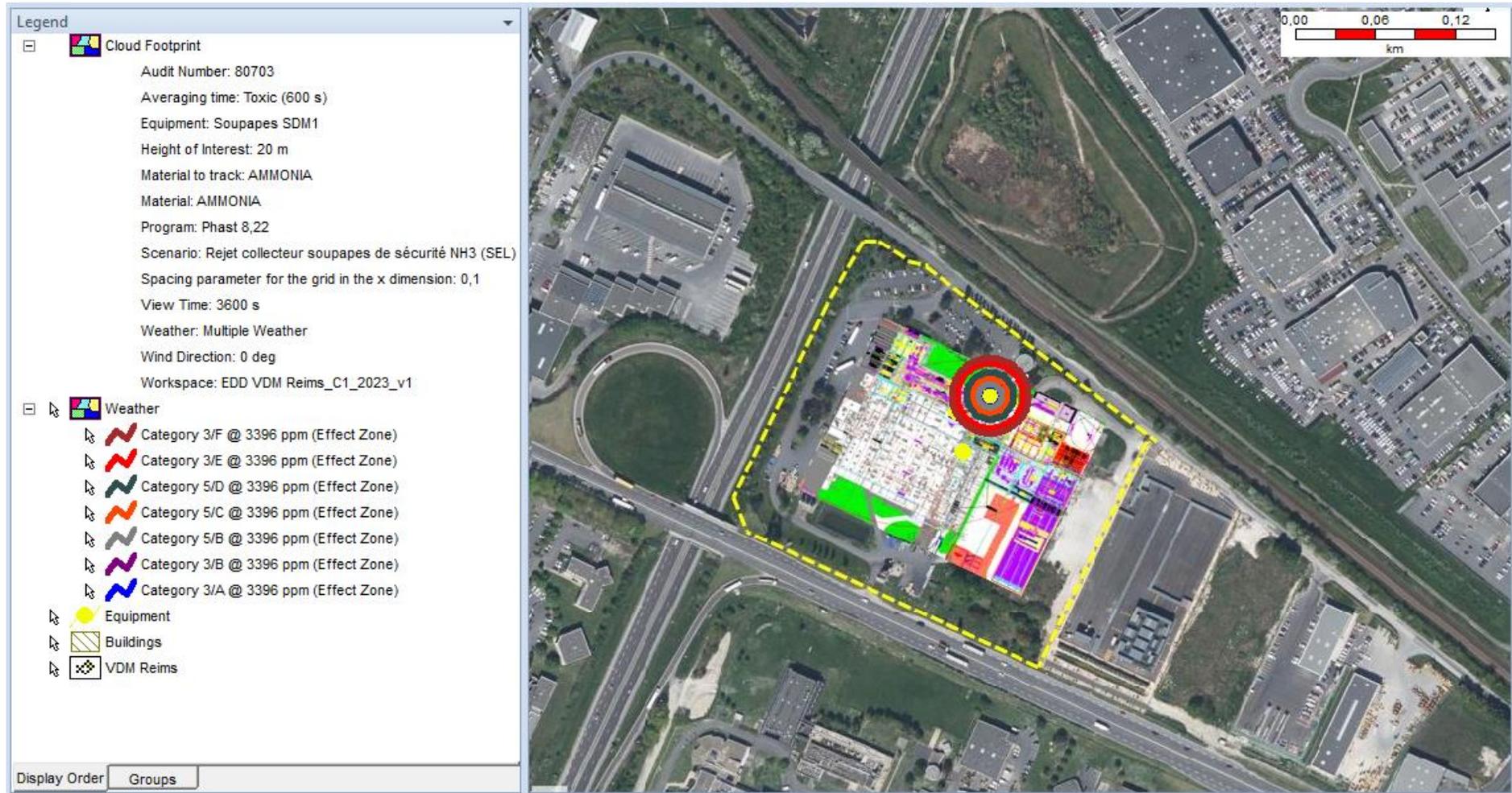
Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010).

Audit Number	80708	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Soupapes SDM1	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet collecteur soupapes de sécurité NH3 (SEL)	
View Time	3600 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023 _v1	



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

6 - Rejet depuis une station de vannes T9 – Galerie technique (scénario 16.1)

Données de calculs

L'installation est supposée à +10°C sous 6,15 bars absolus (Etat à saturation). Il est fait l'hypothèse d'une rupture d'une tuyauterie sur la station de vannes. La fuite est en phase liquide, un phénomène de détente est pris en compte dans le calcul de dispersion. L'ammoniac se répand alors dans la rétention sous la station de vannes à l'intérieur des combles techniques (Galerie technique).

Volume local technique	4 125	m ³	
k pondérateur si grand volume	1,0		Pour les grands volumes (ex. dans les combles ou galeries techniques)
Volume de local technique	4 125	m ³	
Masse NH3 Station de vannes	500	kg	La charge de la capacité (+ tuyauteries, batteries)
Débit d'extraction	1 640	m ³ /h	La mise en service de l'extracteur de sécurité est asservie au système de détection d'ammoniac
Masse d'air du local technique	4 911	kg	

Modélisation du terme source (Fuite)

Les caractéristiques du rejet dans le local technique considéré sont les suivantes :

Diamètre nominal (DN)		25	
Diamètre intérieur		26,94	mm
S	Section	0,00057	m ²
t1	Température saturante	10	°C
P1	Pression saturante interne	616 049	Pa
P ₂	Pression saturante extérieure	338 827	Pa
T ₂	Température du rejet	-6,19	°C
M'	débit de fuite	1,29	kg/s
	vitesse de rejet	78,57	m/s
T rejet	Temps de vidange	388,09	s
x _{v2}	taux de vaporisation	0,09	
m'	débit de fuite vapeur	0,33	kg/s

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. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure T rejet à un débit M' (liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente). La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out », par conséquent la masse directement émise en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité est liée à au calcul du taux de vaporisation combinée avec l'évaporation de la nappe.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 0,080 kg/s.

Débit de fuite impliquant directement la formation du nuage dans les conditions du terme source

Débit de vapeur + aérosol + évaporation de la nappe : $m' = (x_{v,1} + 2 \cdot x_{v,2} \cdot (1 - x_{v,1})) \cdot M'$

Q 161 kg

Pour le calcul de l'évaporation de la nappe "rain-out" on utilise le Modèle de MacKay et Matsugu présenté dans le Yellow Book du TNP (7) et basé sur le modèle de Cavanaugh (30); source Rapport d'étude INERIS-DRA-2005-P46055-C51076

Modélisation du scénario final (rejet en extérieur)

La masse d'air dans le local vaut **4 911** kg En prenant en compte une masse volumique de **1,2** kg/m³

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

Y_{NH_3} **0,0317388**

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que :

$$T_f = [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air}]$$

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)

T_f **16,58 °C**

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

M_f **0,02818** kg/mol

La masse volumique moyenne du mélange à **16,58 °C** est donc ρ_m

ρ_m **0,8585** kg/m³

m_{ext}	Débit d'extraction	0,391	kg/s	Le débit volumique est supposé constant
D	Diamètre du conduit	300	mm	
S	Section du conduit	0,0707	m ²	
w	Vitesse de rejet	6,445	m/s	

A ce rythme le temps d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $(Q / (Y_{NH_3} \times m_{ext}))$

Temps d'extraction **12 968** secondes

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

m_{ext}	Débit d'extraction	0,391	kg/s	S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées dans la circulaire du 10 mai 2010 sont envisagées.
	Temps d'extraction	12 968	secondes	
T finale	Température de rejet	16,58	°C	Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués dans le document de l'INERIS-DRC-03-47021-ETSC-Sti de août 2003, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition sont les suivantes :
w	Vitesse de rejet	6,445	m/s	
	% ammoniac	3%		
	% air	97%		

H **Altitude du rejet** **14** m

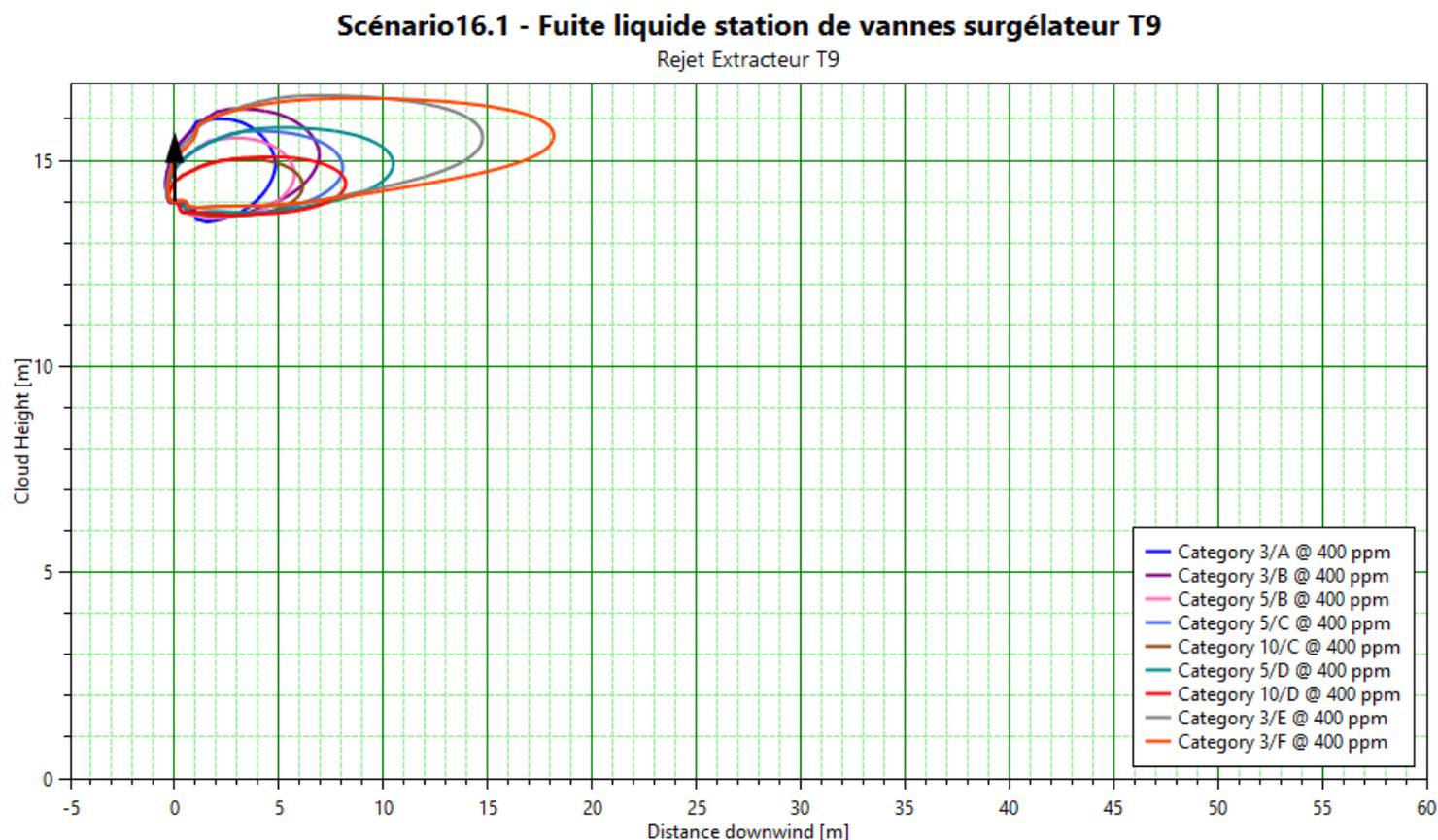
Seuils d'effets irréversibles	SEI :	400	ppm
Seuils d'effets létaux	SEL :	3 396	ppm
Seuils d'effets létaux significatifs	SELS :	3 628	ppm

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

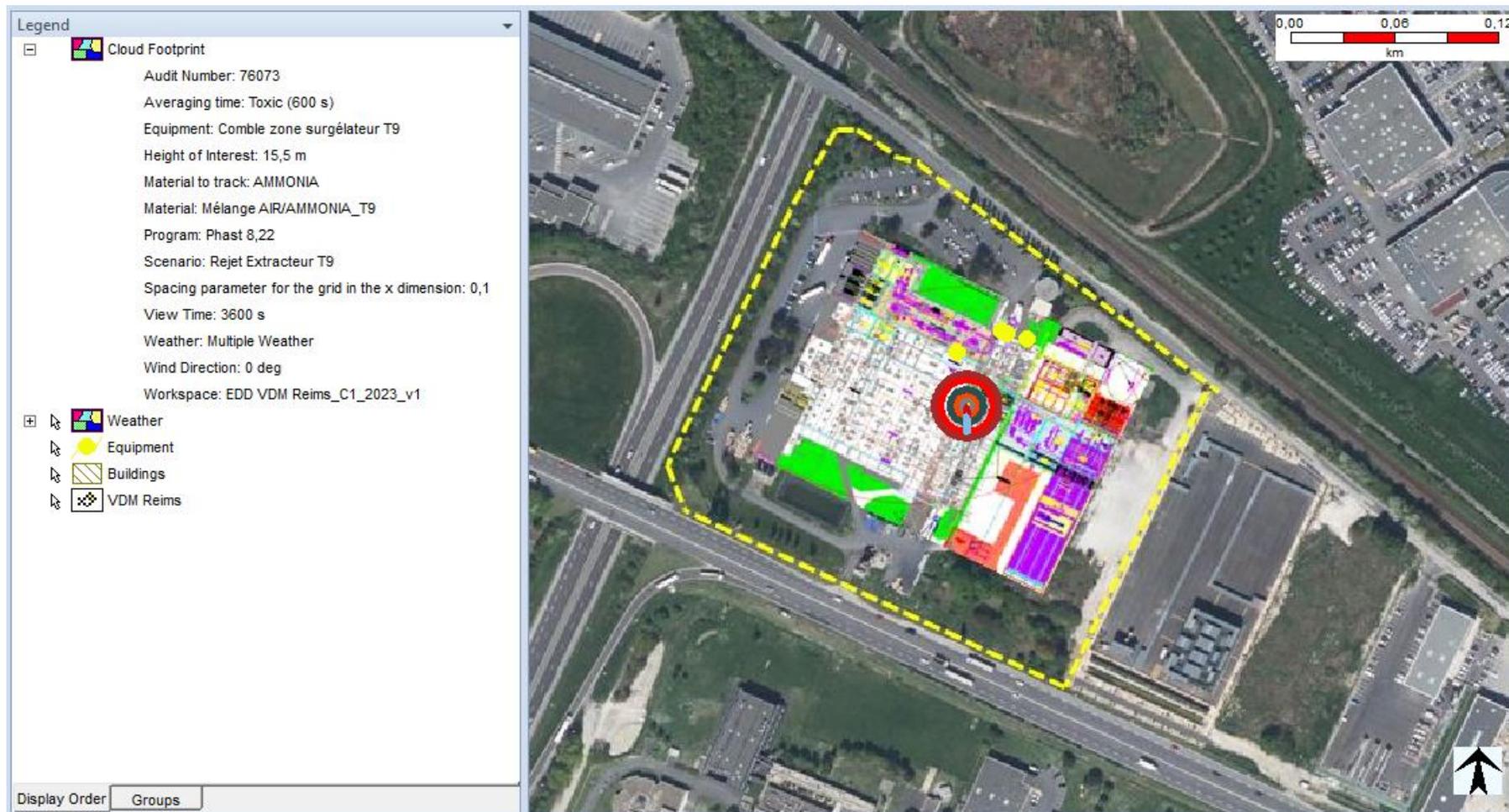
Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010).

H Altitude du rejet **14** m

Audit Number	76073 *
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Comble zone surgélateur T9
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/AMMONIA_T9
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur T9
View Time	3600 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1



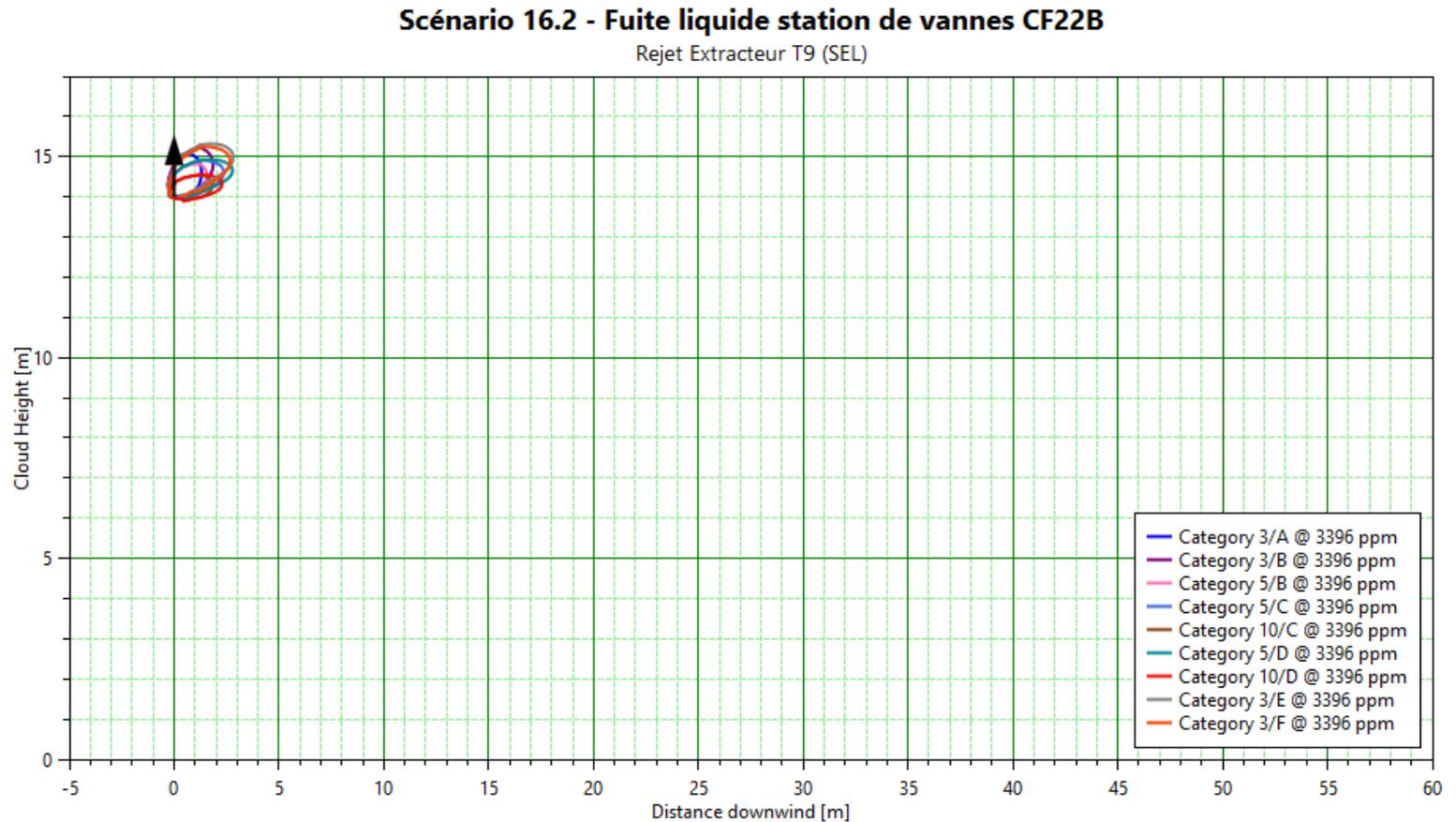
La hauteur de 14 m correspond à la hauteur du rejet (sortie de conduit). **Avec ce point de rejet à 14 m, on confirme que la hauteur actuelle est conforme et n'engendre pas d'effet indésirable hors des limites de propriété** du site de VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Circulaire du 10 mai 2010).

Audit Number	80703	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Comble zone surgélateur T9	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_T9	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur T9 (SEL)	
View Time	3600 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1	



7 - Rejet depuis une station de vanes CF22B – Galerie technique (scénario 16.2)

Données de calculs

L'installation est supposée à +10°C sous 6,15 bars absolus (Etat à saturation). Il est fait l'hypothèse d'une rupture d'une tuyauterie sur la station de vanes. La fuite est en phase liquide, un phénomène de détente est pris en compte dans le calcul de dispersion. L'ammoniac se répand alors dans la rétention sous la station de vanes à l'intérieur des combles techniques (Galerie technique).

Volume local technique	100	m ³	
k pondérateur si grand volume	0,4		Pour les grands volumes (ex. dans les combles ou galeries techniques)
Volume de local technique	40	m ³	
Masse NH3 Station de vanes	140	kg	La charge de la capacité (+ tuyauteries, batteries)
Débit d'extraction	1 640	m ³ /h	La mise en service de l'extracteur de sécurité est asservie au système de détection d'ammoniac
Masse d'air du local technique	48	kg	

Modélisation du terme source (Fuite)

Les caractéristiques du rejet dans le local technique considéré sont les suivantes :

Diamètre nominal (DN)		25	
Diamètre intérieur		26,94	mm
S	Section	0,00057	m ²
t1	Température saturante	10	°C
P1	Pression saturante interne	616 049	Pa
P ₂	Pression saturante extérieure	338 827	Pa
T ₂	Température du rejet	-6,19	°C
M'	débit de fuite	1,29	kg/s
	vitesse de rejet	78,57	m/s
T rejet	Temps de vidange	108,66	s
x _{v2}	taux de vaporisation	0,09	
m'	débit de fuite vapeur	0,33	kg/s

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. Lors de cette fuite il y a détente du liquide, le rejet dure T rejet à un débit M' (liquide avec fraction de vapeur du fait de la détente). La température finale correspond à la température d'ébullition de l'ammoniac à pression atmosphérique. La fraction formant une nappe liquide au sol « rain-out », par conséquent la masse directement émise en phase gazeuse et évacués par l'extracteur de sécurité est liée à au calcul du taux de vaporisation combinée avec l'évaporation de la nappe.

Ultérieurement la nappe qui recouvre le sol de la salle des machines s'évapore lentement à un débit de vapeur de 0,080 kg/s.

Débit de fuite impliquant directement la formation du nuage dans les conditions du terme source

Débit de vapeur + aérosol + évaporation de la nappe :
$$m' = (x_{v,1} + 2 \cdot x_{v,2} \cdot (1 - x_{v,1})) \cdot M'$$

Q **45** kg

Pour le calcul de l'évaporation de la nappe "rain-out" on utilise le Modèle de MacKay et Matsugu présenté dans le Yellow Book du TNP (7) et basé sur le modèle de Cavanaugh (30); source Rapport d'étude INERIS-DRA-2005-P46055-C51076

Modélisation du scénario final (rejet en extérieur)

La masse d'air dans le local vaut **48** kg En prenant en compte une masse volumique de **1,2** kg/m³

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

Y_{NH_3} **0,4862568**

La température finale T_f (en K) du mélange est telle que :

$$T_f = [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} T_{NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air} T_{air}] / [Y_{NH_3} c_{p,NH_3} + (1-Y_{NH_3}) c_{p,air}]$$

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)

T_f **-15,04 °C**

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

M_f **0,02153** kg/mol

La masse volumique moyenne du mélange à **-15,04 °C** est donc ρ_m

ρ_m **1,1235** kg/m³

m_{ext}	Débit d'extraction	0,512	kg/s	Le débit volumique est supposé constant
D	Diamètre du conduit	300	mm	
S	Section du conduit	0,0707	m ²	
w	Vitesse de rejet	6,445	m/s	

A ce rythme le temps d'extraction de l'ammoniac vaporisé durant la phase de rejet est de $(Q / (Y_{NH_3} \times m_{ext}))$

Temps d'extraction **181** secondes

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

m_{ext}	Débit d'extraction	0,512	kg/s	S'agissant d'un rejet vertical de gaz en altitude, toutes les conditions atmosphériques précisées dans la circulaire du 10 mai 2010 sont envisagées.
	Temps d'extraction	181	secondes	
T finale	Température de rejet	-15,04	°C	Enfin, sur la base des seuils d'effets de l'ammoniac indiqués dans le document de l'INERIS-DRC-03-47021-ETSC-Sti de août 2003, les concentrations à rechercher sur le temps d'exposition sont les suivantes :
w	Vitesse de rejet	6,445	m/s	
	% ammoniac	41%		
	% air	59%		

H **Altitude du rejet** **14** m

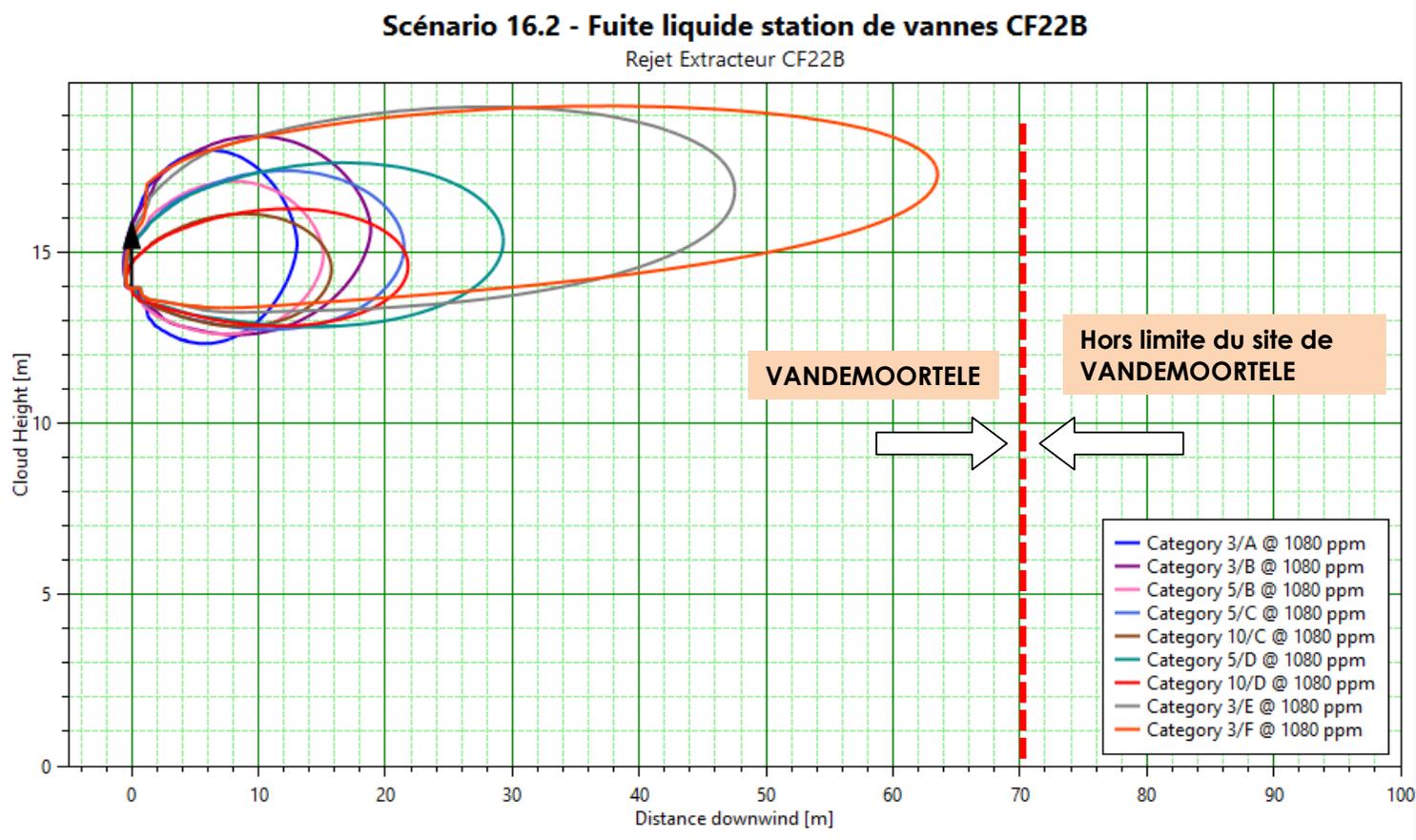
Seuils d'effets irréversibles	SEI :	1 080	ppm
Seuils d'effets létaux	SEL :	14 695	ppm
Seuils d'effets létaux significatifs	SELS :	16 129	ppm

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

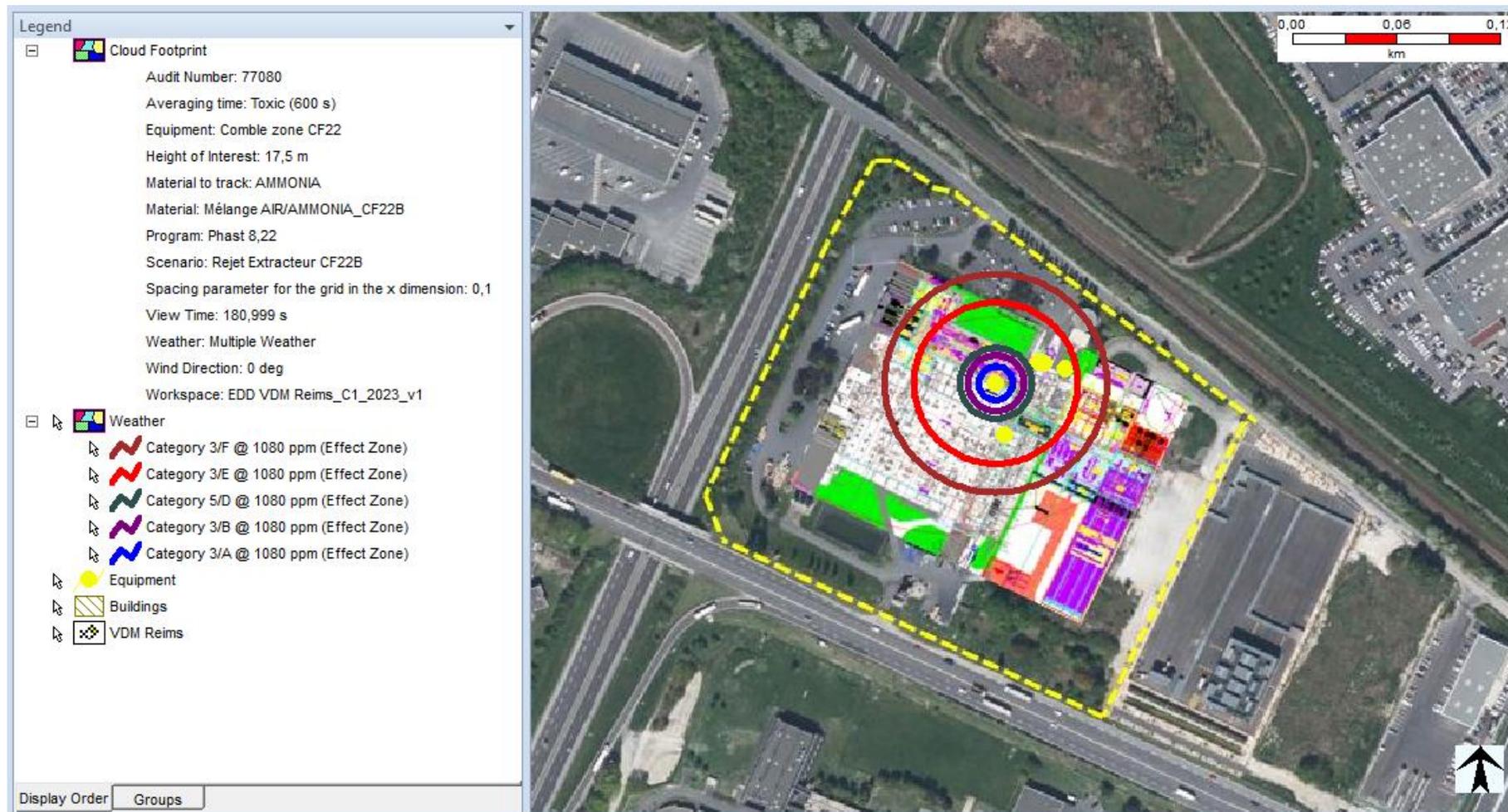
Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets irréversibles). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010).

H Altitude du rejet **14** m

Audit Number	77080	✕
Averaging time	Toxic (600 s)	
Equipment	Comble zone CF22	
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1	
Material	Mélange AIR/ AMMONIA_CF22B	
Material to track	AMMONIA	
Offset from Centerline	0 m	
Program	Phast 8,22	
Scenario	Rejet Extracteur CF22B	
View Time	180,999 s	
Weather	Multiple Weather	
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1	



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 VANDEMOORTELE à une hauteur humaine.

Vue en coupe du nuage à la hauteur correspondant au maximum du nuage par rapport au relief (en distance) – SEI :

Résultats de la modélisation du rejet (Dispersion du mélange ammoniaqué)

Le graphique ci-dessous illustre la forme du panache (concentration des effets létaux). Les distances d'effets calculées sont en fonctions des différentes conditions de stabilité atmosphérique (Cirulaire du 10 mai 2010).

Audit Number	80703
Averaging time	Toxic (600 s)
Equipment	Comble zone CF22
Spacing parameter for the grid in the x dimension	0,1
Material	Mélange AIR/AMMONIA_CF22B
Material to track	AMMONIA
Offset from Centerline	0 m
Program	Phast 8,22
Scenario	Rejet Extracteur CF22B (SEL)
View Time	180,999 s
Weather	Multiple Weather
Workspace	EDD VDM Reims_C1_2023_v1

