

PPRT de Pont-de-Claix

Le confinement

nous protège-t-il contre un nuage toxique ?

Nécessité de protections complémentaires (masque léger...)

Version 2 - Septembre 2015

Annule et remplace la version 1 de Janvier 2015, en particulier les chapitres 5, 6 et 7.

AR2PC – Association des Riverains de la Plateforme Chimique de Pont-de-Claix (Isère)

Résumé

Le PPRT (**P**lan de **P**révention des **R**isques **T**echnologiques) de la plateforme chimique de Pont-de-Claix n'est pas encore finalisé. Il devrait prescrire de confiner certains logements exposés aux nuages toxiques accidentels. Cette note cherche à connaître la protection que l'on peut en attendre. L'atténuation des concentrations et des doses de toxiques provoquée par le confinement est évaluée pendant quatre heures en fonction des diverses variables. Les calculs ouvrent des pistes pour optimiser le confinement, qui peut néanmoins être peu efficace, ou pire, contre-productif. Des moyens complémentaires sont donc nécessaires, comme des masques absorbants légers, pour améliorer la protection là où elle est insuffisante, hasardeuse ou inexistante.

1/ Introduction

Les proches riverains d'une usine chimique peuvent être exposés aux gaz toxiques émis accidentellement à l'atmosphère. En cas d'alerte par la sirène, il est prescrit de se mettre à l'abri, dans un lieu confiné ou non.

La note débute par quelques recommandations officielles concernant l'étanchéité d'un local de confinement, comparée à la réalité existante, puis elle présente une méthode pour déterminer l'efficacité de la protection par mise à l'abri. A l'instar du « guide PPRT » (réf1), le logement et ses surfaces de fuites d'air sont simplifiés de façon à pouvoir être représentés par un modèle particulier. On introduit dans une feuille de calculs Excel les caractéristiques du logement modélisé, les surfaces de fuites, ainsi que la vitesse du vent ou les températures. On suit au cours du temps l'évolution des concentrations et des doses de toxiques sous abri, comparées à celles auxquelles on serait soumis à l'extérieur sans protection. Des exemples types sont présentés et commentés, ainsi que quelques approches paramétriques qui permettent d'évaluer la protection que peut apporter un confinement. La note se termine par une réflexion sur certaines difficultés liées au confinement, et par des propositions pour les réduire, comme la mise au point de masques légers de protection, jugés indispensables.

2/ Perméabilité à l'air du local de confinement.

2.1/ Perméabilités recommandées ou prescrites.

Le confinement d'un local vise à diminuer les surfaces de fuites pour limiter l'entrée de gaz toxique en cas de rejet chimique accidentel à l'atmosphère. Le Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (CETE) de Lyon, intégré au CEREMA depuis janvier 2014, a d'abord émis des recommandations afin d'obtenir, dans la pièce prévue pour le confinement, une **perméabilité maximale à l'air « n10 » de 0.5 volumes par heure (vol/h)**. Cela signifie un maximum de 0.5 renouvellement ou "Changement d'Air par Heure" (CAH), sous une différence de pressions de référence de **10 pascals entre intérieur et extérieur**.

La mesure de la perméabilité à l'air se fait par « infiltrométrie ». La différence de pressions entre intérieur et extérieur est provoquée en soufflant ou en aspirant de force un débit d'air ajustable à l'intérieur de la pièce de confinement. La soufflerie est souvent installée à la place d'une fenêtre ou plus souvent d'une porte. Or ce sont les principales sources de fuites : ce que l'on cherche à connaître est donc sous-estimé. La mesure est lourde et coûteuse (environ 700€), et peu de logements en ont bénéficié. La réglementation thermique 2012 la rend obligatoire pour les logements neufs.

Suite au traumatisme provoqué par l'accident chimique d'AZF à Toulouse en 2001, et à la loi Bachelot qui a suivi en 2003 instaurant les Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT), le **guide PPRT (réf.1)** recommande que les performances des confinements ne soient plus fixées a priori, mais adaptées au risque maximal encouru. En considération des coûts et des difficultés techniques, le PPRT pourra prescrire, dans le bâti ancien, une perméabilité à l'air sous 50 pascals **« n50 » comprise entre 0.6 et 2.5 volumes par heure (vol/h)** dans le local de confinement.

2.2/ Perméabilités effectives.

2.2.1/ Conformément à la réglementation thermique 2012, n50 doit être inférieur ou égal à 0.6 vol/h pour les standards « maisons passives » ou « Minergie ». Certaines présentent une étanchéité encore meilleure : n50 \leq 0.2 vol/h.

2.2.2/ Perméabilités à l'air sous 50 Pa (n50) réalisées suite à des travaux de confinement en Isère d'après ISSN 1263-2570 ISRN Certu/RE--08-28—FR.

Date fin Travaux	Bâtiments concernés et commune	Distance à la source de gaz toxique	n50 (vol/h) préconisé	n50 (vol/h) réalisé
1991	Jean Moulin Construction de 56 logements Pont-de-Claix	2000 m	?	1.3 à 7
1994	Ecole V. Pignat Jarrie	250 m	1.1	0.15 à 0.53
1994	Immeuble le Ruchon Pont-de-Claix		0.86	0.29 à 1.75
1994	Lycée de l'Edit Roussillon	700 m et 1000 m	1.46	1.9 à 2.19
2000	Piscine Flottibulle Pont-de-Claix		2.34	?
2001	Groupe Raffin Cabois 24 appartements Pont-de-Claix	700 m	1.49	4 à 4.5
2001	Collège Le Moucherotte Pont-de-Claix	> 300 m	1.49	3.2
2002	Ecole Joliot Curie Salaise sur Sanne	1200 à 1800 m	1.5	1.17

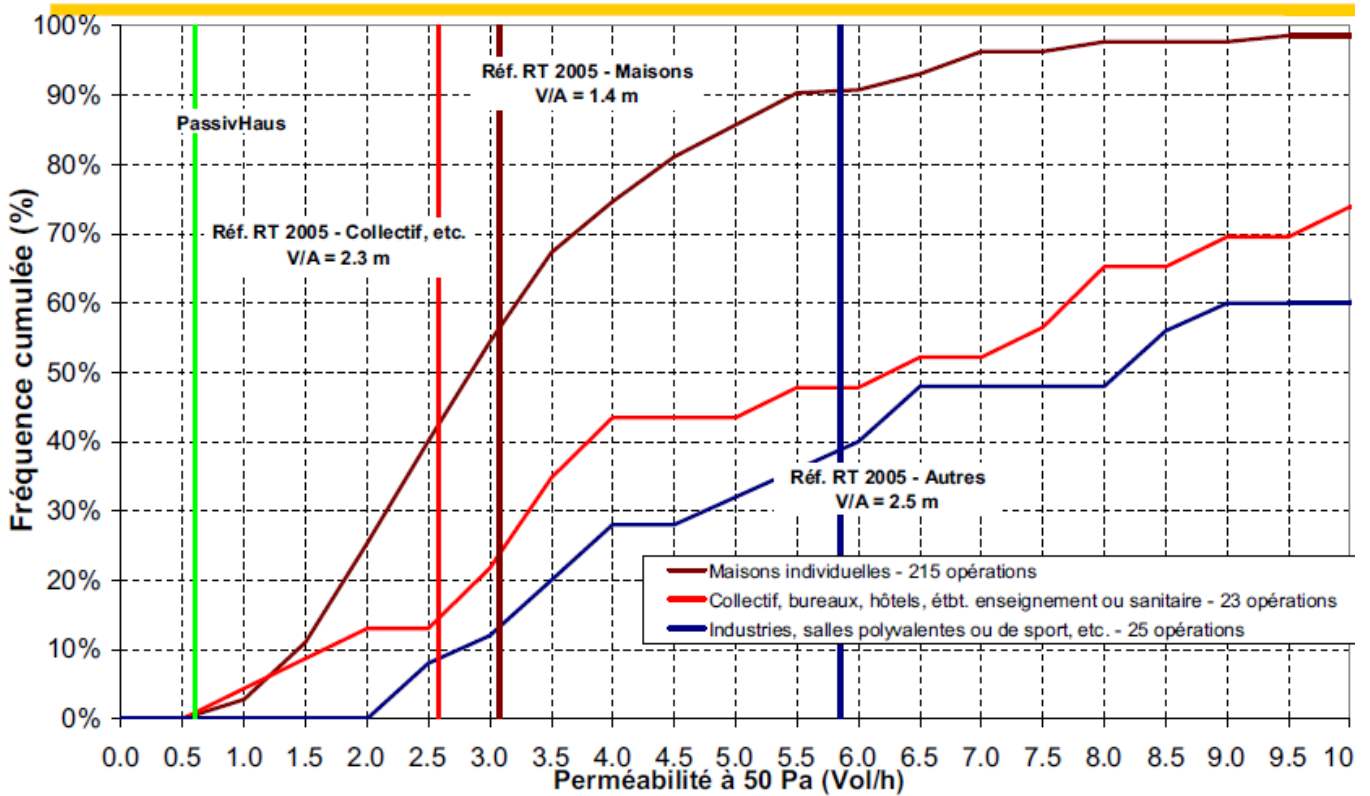
On remarquera qu'il n'est pas toujours facile de réaliser les objectifs visés, loin s'en faut.

2.2.3/ Perméabilités à l'air sous 50 Pa (n50) mesurées par le CETE de Lyon (extraits de la référence 2).

Le premier graphique de l'« Etat des lieux » ci-dessous permet de constater que seulement 40% des maisons individuelles ont une perméabilité à l'air n50 inférieure à 2.5 vol/h, et à peine 2% < à 0.6 vol/h. Environ 13% seulement des bâtiments collectifs (dont les établissements d'enseignement) ont une perméabilité n50 inférieure à 2.5 vol/h.

La deuxième figure de l'« Etat des lieux » montre d'où proviennent les fuites : portes et fenêtres certes, mais aussi tuyauteries, passages d'équipements électriques, structure, menuiseries...

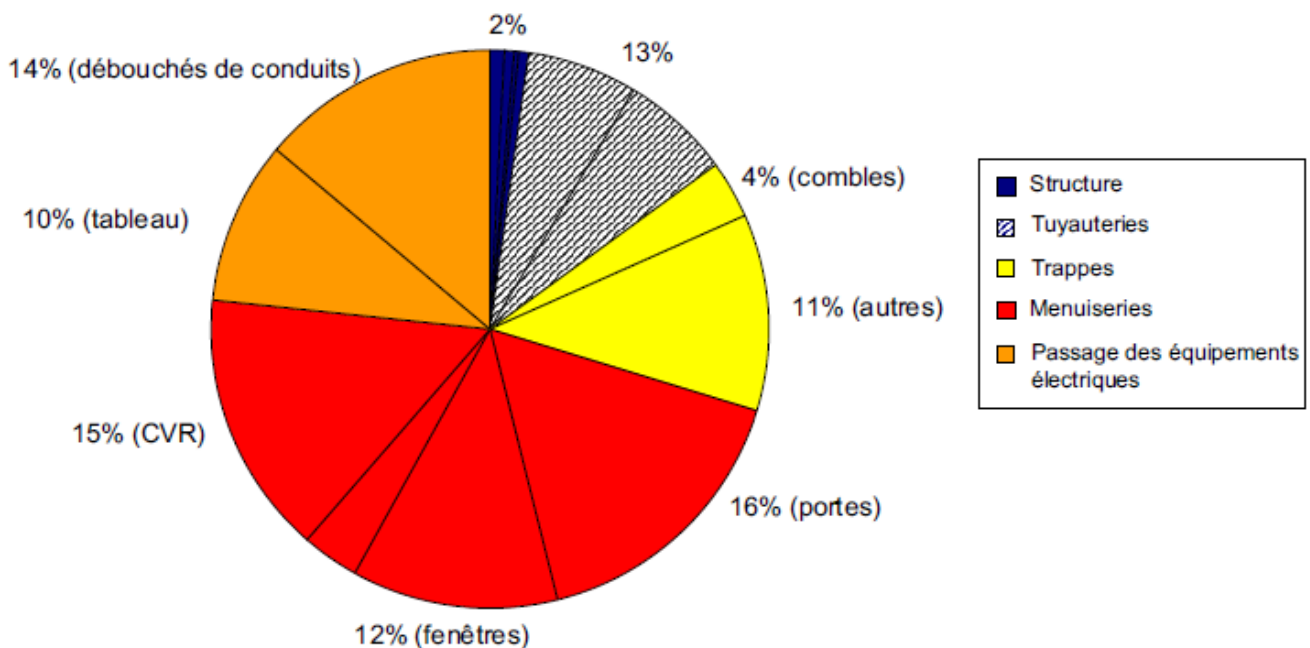
Résultats de campagnes de mesure



État des lieux

Où sont les fuites ?

Fuites localisées (282 observations sur 123 logements)



Source : Litvak et al. 2005. Campagne de mesure de l'étanchéité à l'air de 123 logements. CETE Sud Ouest. Rapport n°DAI.GVCH.05.10. ADEME-DGUHC.

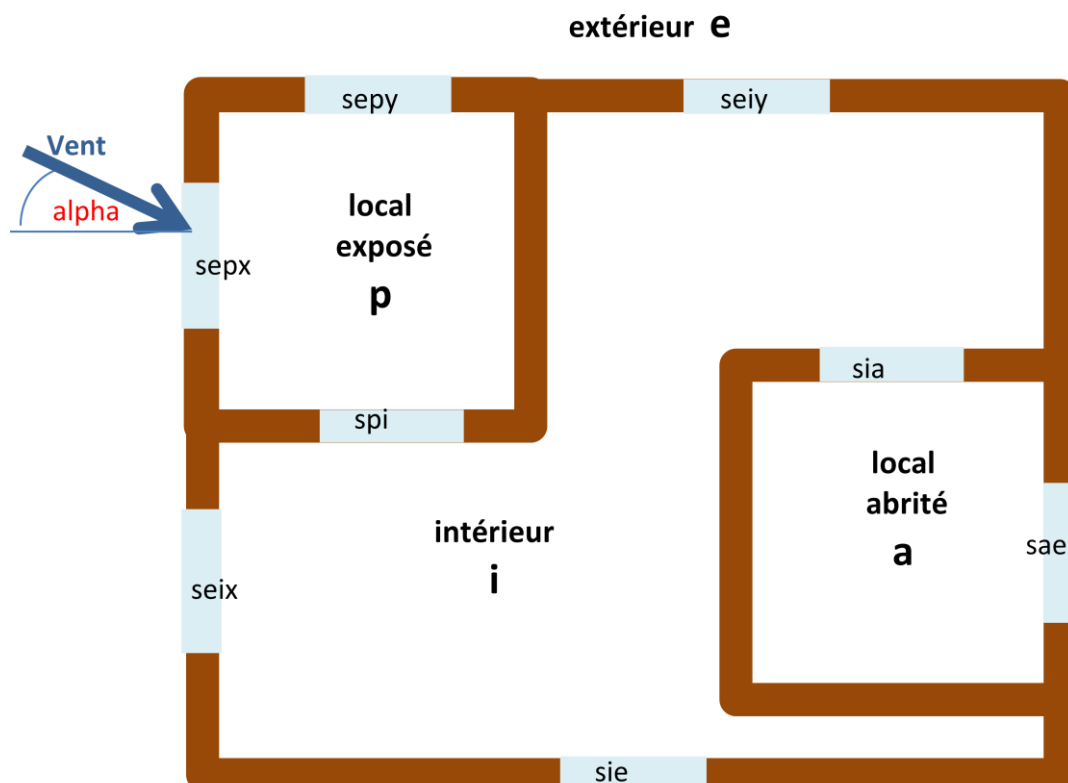
3/ Méthode de calcul de protection

3.1 Modélisation du logement

Pour calculer la protection contre un nuage toxique qu'offre un logement, il est nécessaire de simplifier sa représentation, car les équations en jeu deviennent vite compliquées si l'on veut décrire le logement réel. Le CETE de Lyon a effectué des calculs semblables, en simplifiant lui aussi le logement pour le réduire finalement à trois volumes distincts communicants par des surfaces d'échange (surfaces de fuites). Le modèle utilisé ici fait de même : le logement est réduit à trois volumes communicants.

Le logement est représenté en plan vu de dessus, sur lequel on distingue, à des fins de comparaisons, deux pièces confinées, situées à l'opposé l'une de l'autre dans un troisième volume qui représente toutes les autres pièces et couloirs de circulation du logement. On voit donc sur ce schéma :

- une pièce confinée **exposée** repérée par l'indice « **p** », cas où une ou plusieurs ouvertures de la pièce se trouvent du côté de la source de rejet toxique.
- une pièce confinée **abritée** repérée par l'indice « **a** », à l'opposé de la source.
- l'intérieur, repéré par l'indice « **i** », soit le reste de l'ensemble du logement, qui sert de volume tampon pour protéger le local abrité.
- L'extérieur du logement est repéré par l'indice « **e** »
- Le vent, symbolisé par une flèche, est supposé venir de la source du rejet toxique vers le logement. Sa direction fait un angle alpha avec la perpendiculaire à la fenêtre sepx de la pièce exposée au vent (alpha compris entre 0 et 90°).



→ Les surfaces de fuites (d'entrées et de sorties du vent) sont regroupées pour être réduites à 8 :

sepx et sepy = Surfaces de fuites permettant à l'air d'aller directement de **e** (extérieur) dans **p** (pièce exposée), à travers une ou deux fenêtres situées sur un ou deux murs perpendiculaires côté vent. S'il n'y a qu'une fenêtre sepx, il suffit de considérer que sepy = 0.

seix et seiy = Surfaces de fuites permettant à l'air d'aller directement de **e** (extérieur) dans **i** (intérieur), situées sur les deux façades perpendiculaires exposées au vent.

spi = Surface de fuite permettant à l'air d'aller de **p** (pièce exposée) vers **i** (intérieur), à travers la porte.

sia = Surface de fuite permettant à l'air d'aller de **i** (intérieur) vers **a** (pièce abritée), à travers la porte.

sae = somme des Surfaces de fuites permettant à l'air d'aller directement de **a** (pièce abritée) vers **e** (extérieur), à travers la ou les fenêtres situées sur les murs extérieurs côtés abrités du vent. Dans le cas particulier où la pièce abritée est sans fenêtre, il suffit de considérer que sae = 0.

sie = somme des Surfaces de fuites permettant à l'air d'aller directement de **i** (intérieur) vers **e** (extérieur), à travers la ou les fenêtres situées sur les murs extérieurs côtés abrités du vent.

3.2 Préparation des données : il faut déterminer :

- les volumes volp, vola et voli (en m³) du logement modélisé ;

- les surfaces de fuites, Sepx, Sepy s'il y a lieu, Spi, Sia, Sae, Seix, Seiy s'il y a lieu, et Sie (en cm²) ; les plus évidentes proviennent des portes et fenêtres, mais il faut y ajouter les fuites entre châssis et murs, murs et sol ou plafond, canalisations (électricité, eau ...) ; c'est la partie la plus délicate à évaluer.

- les hauteurs entre haut et bas des surfaces de fuites, hep, hpi, hia, hae, hei et hie (en m) ;

- la vitesse du vent extérieur (V) (en m/s) et son angle d'incidence alpha en degrés ;

- les températures the, thp, tha et thi (en °C).

- **la durée du rejet toxique tpt**, supposé compris entre 3 et 240 minutes. On suppose que le toxique est présent autour du logement pendant cette même durée tpt, même si c'est probablement plus longtemps, car le nuage toxique s'étale de plus en plus largement au fil du temps et de la distance parcourue. Mais comme cette différence ne change pratiquement pas les doses inhalées, on peut s'en tenir à cette approximation.

- les rapports ficep, ficea et ficei entre d'une part la concentration de toxique dans les trois locaux avant fermeture des portes et fenêtres, et d'autre part la concentration extérieure initiale (rapports sans dimension). Ces rapports sont nuls, sauf si on n'a pas eu le temps de s'enfermer dans le local pré-confiné avant l'arrivée du nuage toxique.

3.3 Déroulement des calculs

A partir des données particulières du logement modélisé, les calculs sont effectués sur feuille Excel. Les relations mathématiques de base utilisées dans cette feuille sont développées en annexe 1.

Ce qui est calculé :

a) L'évolution des Concentrations en gaz toxique **Ca** (Concentration dans l'air de la pièce abritée « a »), **Cp** (dans la pièce exposée « p ») et **Ci** (à l'intérieur « i »), pendant quatre heures après l'arrivée du nuage toxique à l'extérieur du logement.

Ces concentrations sont comparées à **Ce°**, concentration du toxique atmosphérique à l'extérieur, supposée constante pendant la durée tpt et normalisée à 1, puis nulle après tpt.

Il est possible néanmoins d'introduire dans la feuille de calculs des valeurs particulières de la concentration au cours du temps, soit pas à pas, soit à l'aide d'une fonction adaptée aux caractéristiques du rejet.

La durée du pas de calcul est fixée à 1 minute.

b) L'évolution des Doses de toxique **Da**, **Dp** et **Di**, comparées à la dose **De** qui serait inhalée à l'extérieur sans protection.

La dose est souvent exprimée sous forme de rapport entre la masse de toxique introduite dans l'organisme et celle de la personne (par ex. en **mg/kg**).

Dans le cas d'inhalation de toxique atmosphérique, il est plus pratique de l'exprimer en **ppm.min** (1 ppm = 1 millionième de la masse d'air ; min = minute). Les deux formulations sont équivalentes, si on suppose que la quantité d'air respirée par une personne au repos, grande ou petite, est régulière et proportionnelle à son poids. Si par exemple la concentration **Ce°** est de 2 ppm, la dose **De** en 10 min est de $2 \times 10 = 20$ ppm.min. Pour illustration, la valeur de la dose correspondant au **Seuil de l'Effet Létal (SEL)** du phosgène, qui provoque 1% de décès d'après INERIS 2001, est de 60 ppm.min. (Valeur conservative).

Ici, la dose **De** est égale à la concentration à l'extérieur **Ce°** (supposée constante et égale à 1 pendant la durée d'exposition tpt) multipliée par tpt (en minutes). Après par exemple 2 heures sous confinement, les doses **Da** et **Dp**, croissantes au cours du temps, sont égales aux intégrales des concentrations **Ca** et **Cp** pendant les 120 minutes après l'arrivée du nuage toxique autour du logement.

Remarque : Si la personne s'agite, elle s'essouffle et respire davantage de toxique. La dose est augmentée d'autant. Sous confinement, il est donc recommandé de rester calme, non seulement pour ne pas augmenter la dose, mais aussi pour ne pas consommer trop d'oxygène, car il peut s'épuiser assez vite, notamment s'il y a plusieurs personnes dans la pièce confinée.

c) Les perméabilités à l'air du logement (n_{10a} , n_{10p} , n_{10i} , ou n_{50a} , n_{50p} , n_{50i}), qui caractérisent les performances d'étanchéité dans les trois volumes du logement, sous une différence de pressions de 10 ou 50 Pa. Ces perméabilités dépendent de la géométrie du logement et surtout des surfaces de fuites.

d) Les Changements d'Air par Heure (**CAHa**, **CAHp**, **CAHi**) dans les 3 volumes, qui dépendent non seulement de la géométrie du logement et des fuites, mais aussi du vent et des températures.

e) Les rapports entre doses dans chaque local et dose à l'extérieur, après une et deux heures passées sous confinement. Ces rapports sont automatiquement extraits du calcul d'évolution, et peuvent aussi être lus directement sur les courbes d'évolution.

3.4 Le guide PPRT et la présente note.

Un des objectifs communs au guide PPRT et à la présente note est de connaître la protection attendue dans une pièce, confinée ou non, en fonction de sa perméabilité à l'air et de la vitesse du vent. Afin de permettre d'utiles comparaisons, plusieurs points particuliers du guide PPRT sont volontairement repris dans cette note. On peut néanmoins relever quelques différences.

Guide PPRT (réf.1)	Présente note
Logement modélisé en 3 volumes communiquants entre eux par des surfaces de fuites	Comme ci-contre.
Une pièce confinée, les combles et le reste du logement.	Une pièce exposée, une pièce abritée, et le reste du logement, chaque volume étant confiné ou non.
La pièce confinée est exposée ou abritée du vent	Idem, même si les définitions « abritée » et « exposée » diffèrent légèrement
Atténuation calculée = rapport entre le maximum de la concentration de gaz toxique sous confinement et la concentration extérieure au logement supposée constante pendant 1h.	Atténuations calculées = rapports entre d'une part concentrations et doses sous confinement et d'autre part concentration initiale et dose sans protection à l'extérieur du logement
Valeurs de l'atténuation après 1 et 2 heures sous confinement	Fonctions continues d'atténuations pendant 4 heures sous confinement
Le logement est supposé exposé au gaz toxique pendant 1 heure	Le logement est supposé exposé au gaz toxique pendant 10 ou 60 min (ajustable de 3 à 240 min).
	Les surfaces de fuites ajustables déterminent les perméabilités à l'air propres aux 3 volumes.
L'atténuation de la concentration dans la pièce confinée est fonction d'une seule perméabilité à l'air	Les atténuations des concentrations et des doses sont fonctions de 3 valeurs de perméabilités à l'air (une dans chaque volume).
L'atténuation dépend de la perméabilité à l'air et du vent.	Les atténuations dépendent des 3 perméabilités à l'air et du vent, et aussi de la <i>répartition</i> des fuites, des écarts de températures et de l'angle d'incidence du vent sur les murs.
Vitesse du vent de 3, 5 et 10 m/s	Vitesse du vent de 0, 3, 10, 20 et 30 m/s (vitesse et angle d'incidence facilement ajustables)
	Prise en compte d'une contamination préalable éventuelle du logement avant confinement.
	Modélisation d'un logement et utilisation de la feuille de calculs Excel aisées
	Il est facile de faire varier les données, ce qui permet des approches paramétriques.

La difficulté essentielle consiste à bien évaluer les surfaces de fuites.

Les atténuations des concentrations en fonction de la perméabilité à l'air et du vent ont été comparées à celles du « guide PPRT » (Réf1) lorsque cela était possible. Elles sont tout à fait cohérentes.

4/ Résultats des calculs de l'efficacité d'un abri ou d'un confinement

4.1/ Quelques exemples particuliers de calculs de l'efficacité d'un confinement.

Quelques exemples permettent de comparer, cas type par cas type, les protections dans les trois volumes d'un même logement, en faisant varier :

→ les surfaces de fuites, qui déterminent les perméabilités à l'air n10 et n50. Elles ont été ajustées pour obtenir :

- dans les locaux confinés abrités et exposés : les valeurs particulières de n50 = 2.5 ou 0.6 vol/h, perméabilités maximales qui pourraient être tolérées, ainsi que d'autres valeurs particulières ;
- dans le reste du logement : n50i égale par exemple à 5, 7 ou 8 vol/h, là où l'étanchéité n'a pas été spécialement recherchée.

→ la vitesse du vent , en excluant les effets des températures ;

→ les écarts de températures, en excluant les effets du vent ;

→ la durée tpt du rejet (= durée de la présence du toxique autour du logement) :

- 10 min, significative d'un rejet bref. Lors de l'enquête publique de 2002, les industriels déclaraient en effet pouvoir stopper la plupart des fuites en quelques minutes au maximum, et typiquement en 3 ou 5 minutes. L'étude des rejets brefs est donc pertinente. Les 10 min tiennent compte du fait que le nuage toxique s'étale inévitablement en distance et en temps avant d'atteindre le logement.

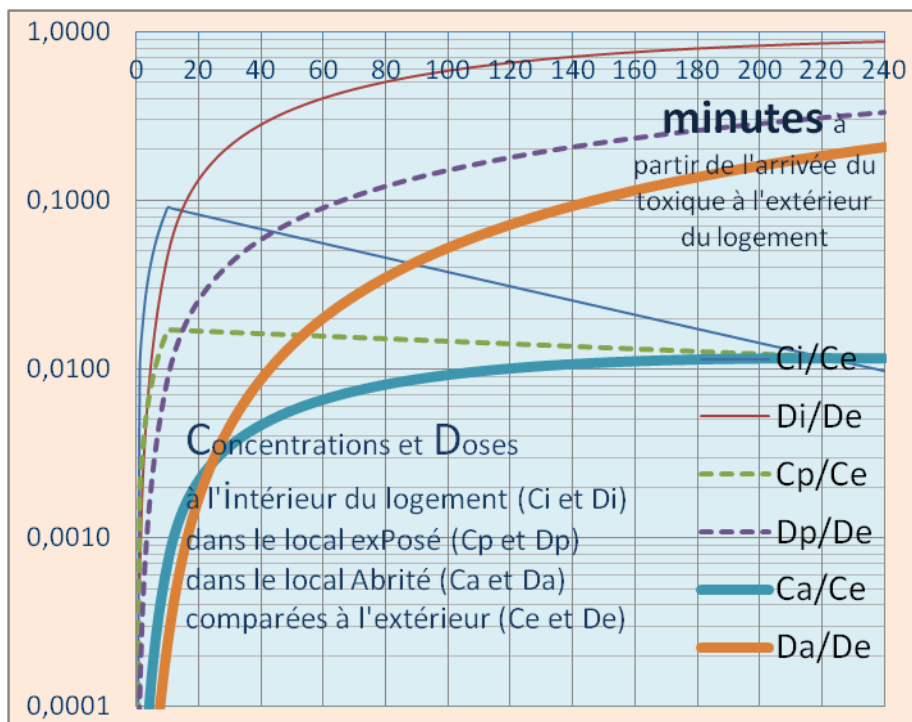
- ou 60 min, notamment pour faciliter la comparaison avec le guide PPRT qui normalise ses calculs de protection en supposant systématiquement une durée d'exposition du logement de 60 min.

Les autres variables (volumes, hauteurs et angle d'incidence du vent) ne sont pas changées de façon à permettre des comparaisons entre les différents cas abordés.

Sur les feuilles de calculs Excel, dont on verra ci-dessous des copies d'extraits, données et résultats sont regroupés pour une bonne lisibilité. On peut voir en haut les valeurs des données choisies (en rouge). Puis en dessous les résultats des calculs correspondants aux trois volumes particuliers : d'abord un graphique qui donne, pendant quatre heures, les courbes d'évolution des atténuations des concentrations et des doses, puis des petits tableaux des valeurs des perméabilités à l'air n10 et n50, des Changements d'Air par Heure CAH, ainsi que des atténuations des doses après une et deux heures passées sous confinement.

Cas N°1

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	3,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
1,09	1,09	3,06
n50a	n50p	n50i
2,50	2,50	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,10	0,10	0,59

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,020	0,09	0,41
a2h	p2h	i2h
0,07	0,18	0,66

Par petit vent ($V = 3\text{m/s}$), avec une perméabilité maximale autorisée pour une pièce confinée ($n50a$ et $n50p=2.5$), pour un rejet bref ($tpt = 10\text{mn}$), après 2 heures sous confinement, on est assez bien protégé dans la pièce abritée : on n'y respire que 7% de la dose à l'extérieur sans protection ($a2h=0.07$). C'est au moins deux fois mieux que dans la pièce exposée où on inhale 18% de la dose extérieure ($p2h=0.18$).

Dans cet exemple comme dans les suivants, pour faciliter les comparaisons, les pièces abritée et exposée sont identiques (mêmes volumes et mêmes surfaces de fuites) hormis leurs positions par rapport au vent.

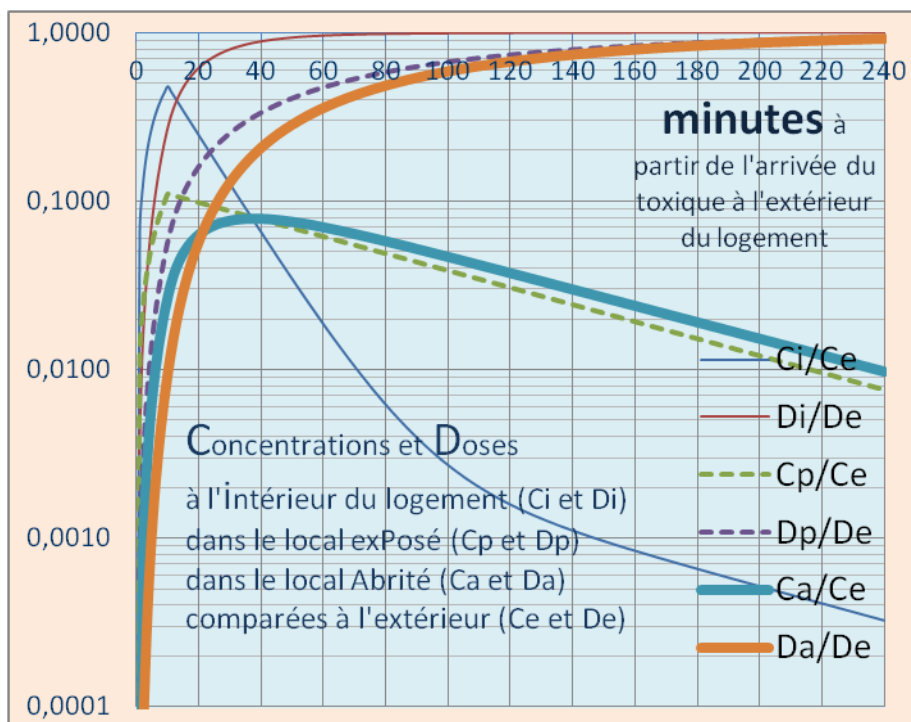
Pour ajuster la perméabilité $n50$ à 2.5Vol/h , valeur maximale qui pourrait être tolérée dans un local confiné sous 50Pa de différence de pression entre intérieur et extérieur, le total des surfaces de fuites dans la pièce exposée ($sepx+sepy+spi$) ou abritée ($sia+sae$) a dû être limité à 24cm^2 , ce qui est assez contraignant dans la réalité. En effet, 1mm de jeu sur le pourtour d'une porte ou d'une fenêtre représente déjà environ 50cm^2 de fuites.

Pour obtenir $n50 = 0.6$, le total de ces fuites devra être abaissé jusqu'à 6cm^2 , comme on le verra plus bas. On comprend aisément toute la difficulté et le prix engendrés par la recherche d'une bonne étanchéité.

Dans tous les exemples présentés, la concentration extérieure initiale Ce^0 est normalisée à 1. Les concentrations et les doses sont comparées à ce qui se passe à l'extérieur sans protection. Il s'agit donc de concentrations et de doses relatives, ou encore d'atténuations.

Cas N° 2

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	20,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 1,09	n10p 1,09	n10i 3,06
n50a 2,50	n50p 2,50	n50i 7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,69	CAHp 0,69	CAHi 3,94

Rapport entre doses dans le local et à l'extérieur après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,35	0,47	0,95
a2h	p2h	i2h
0,67	0,74	0,99

Le cas N° 2 est identique au précédent, à l'exception du vent qui est beaucoup plus fort : 20 m/s. La protection n'est plus bonne. En effet :

Dans la pièce abritée, la concentration relative Ca/Ce^o continue à monter, même après 10 minutes, malgré l'absence de concentration à l'extérieur, jusqu'à ce qu'elle atteigne celle de l'intérieur, Ci , après environ 35 min, car c'est Ci qui est la source de contamination de Ca . Au-delà de 35 minutes, la concentration Ca diminue lentement, au rythme de 0.69 changement d'air par heure.

Dans la pièce abritée, après 10 minutes, au moment où le nuage toxique quitte l'environnement de l'appartement, la dose relative Da/De est très basse, environ 1%. Mais elle monte à 35% au bout d'une heure, pour atteindre 67% après deux heures (ce serait 15% et 37% par vent de 10m/s).

Par vent fort et rejet bref, la protection est illusoire dans une pièce modérément confinée si on ne sort pas du confinement le plus tôt possible après l'éloignement du nuage toxique, car **l'essentiel de la dose est inhalé après le passage du nuage toxique.**

La consigne d'attendre deux heures après l'alerte pour sortir du local confiné est imprudente, même s'il est difficile de faire autrement.

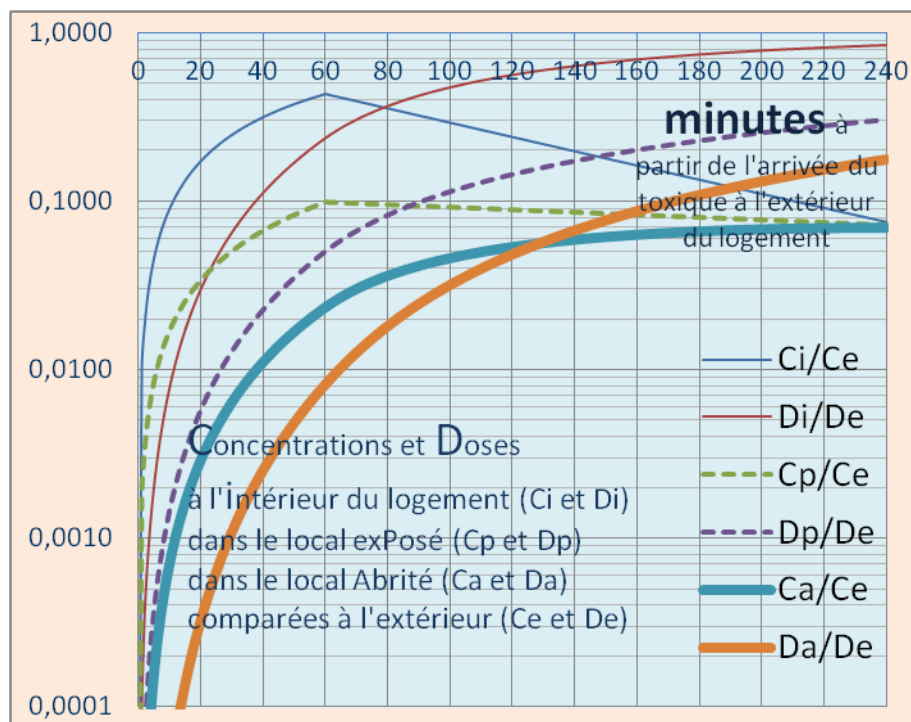
Remarque 1 : après 10 minutes, la concentration Ci diminue rapidement, au rythme de près de 4 changements d'air par heure. Mais après environ 100 minutes, elle décroît moins lentement, au rythme du local exposé, car c'est ce dernier qui alimente alors l'intérieur en contamination. L'interaction complexe entre les trois volumes se comprend bien à l'observation des courbes de concentrations.

Remarque 2 : par vent fort, on constate que toutes les doses relatives tendent vers 1, alors que les concentrations dans les trois volumes deviennent négligeables. Ce phénomène est général : quelles que soient les conditions météorologiques, et quelle que soit sa performance, **un confinement ne sert qu'à retarder la dose**, qui est rigoureusement égale à celle reçue à l'extérieur si on demeure sous confinement jusqu'à ce que les gaz toxiques en soient complètement sortis.

Dans la même logique, un confinement ne protège pas d'une pollution chronique, sauf si on aère le logement aux heures les moins polluées, ou si on place des filtres sur les grilles d'entrée d'air.

Cas N° 3

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	3,0	0	60,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 1,09	n10p 1,09	n10i 3,06
n50a 2,50	n50p 2,50	n50i 7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,10	CAHp 0,10	CAHi 0,59

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h 0,01	p1h 0,05	i1h 0,24
a2h 0,05	p2h 0,14	i2h 0,56

Dans le cas N° 3, on revient au vent plus faible (3 m/s), avec une durée du rejet changée, 60 mn. Cette durée est systématiquement utilisée dans le « guide PPRT » pour les études d'atténuation, supposant que le gaz toxique entoure le logement pendant une heure, même si, dans la pratique, les rejets brefs sont les plus probables.

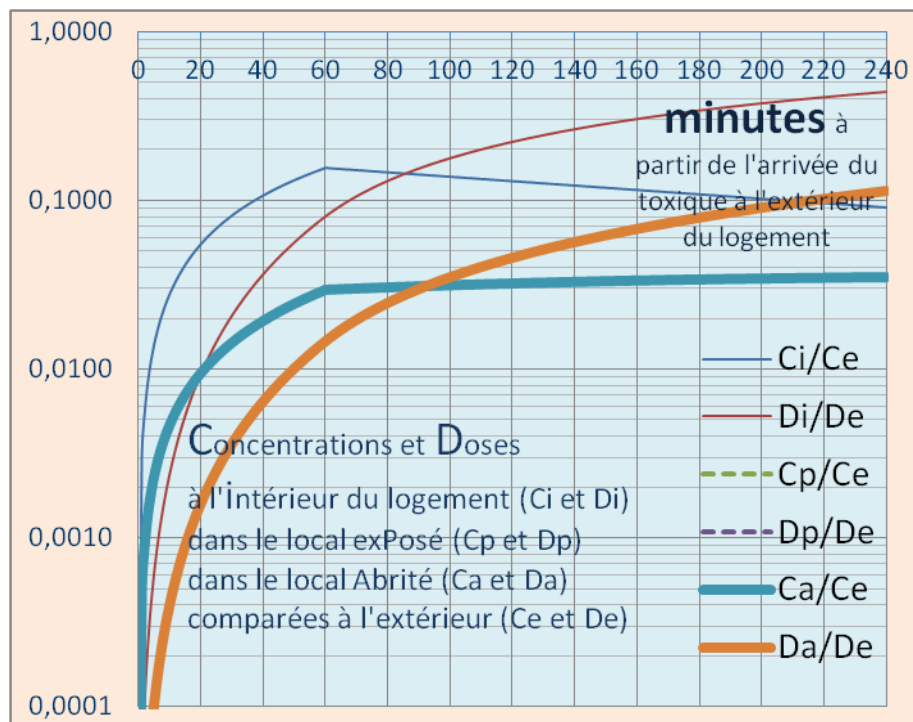
La protection est assez bonne dans le local abrité : on n'y respire que 5% de la dose extérieure même après deux heures sous confinement.

Par contre, et c'est pratiquement toujours le cas lorsque l'air pénètre sous l'action du vent, la protection est moins bonne dans le local exposé au vent (14% de la dose extérieure).

Remarque : les 5 et 14% ci-dessus peuvent être comparés aux 7 et 18% lors du rejet bref du cas N°1. L'efficacité de la protection après rejet long est du même ordre de grandeur qu'après rejet bref, même si elle est un peu meilleure. Mais ce sont les rejets brefs les plus probables.

Cas N° 4

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	0,0	0	60,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	18,0	15,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
1,09	1,09	3,06
n50a	n50p	n50i
2,50	2,50	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,06	0,06	0,18

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,01	0,01	0,08
a2h	p2h	i2h
0,05	0,05	0,22

Les cas 4 et 5 concernent les effets des écarts de températures, en l'absence de vent.

Sans vent, on pourrait penser qu'il n'y a aucun échange d'air entre extérieur et intérieur. Et que l'on serait très bien protégé. Or deux phénomènes sont responsables de la pénétration de l'air dans un logement : en premier lieu le vent, certes, mais en deuxième les écarts de températures entre intérieur et extérieur.

Pour caractériser uniquement les effets des températures, on suppose ici que le vent est nul.

Il faut remarquer que dans ce cas N°4, les écarts de températures choisis sont faibles : 2°C entre locaux confinés et intérieur, dus à la présence humaine, et 5°C entre locaux confinés et extérieur. Ils induisent la même dose relative dans le local abrité que dans le cas N°3, avec vent de 3 m/s et sans écarts de températures. Les résultats sont identiques que le local soit exposé ou abrité, ce qui est normal si les écarts de températures sont symétriques. Les courbes Ca/Ce° et Da/De se superposent aux courbes Cp/Ce° et Dp/De en les masquant.

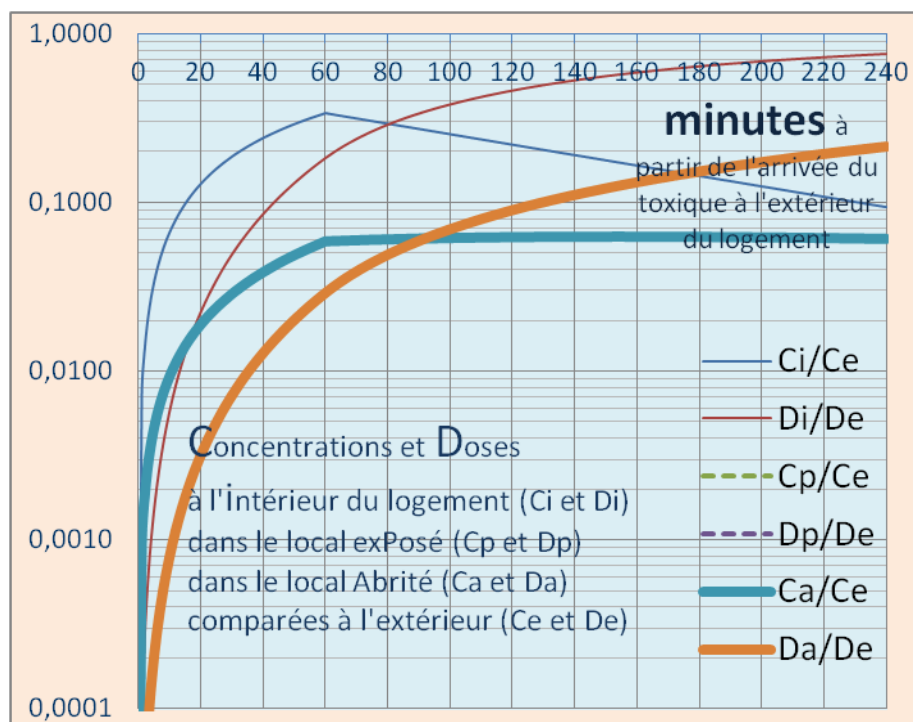
Qu'il y ait du vent ou non, il y a par contre presque toujours des écarts de températures : 5°C entre intérieur et extérieur est souvent dépassé, la présence humaine participant aux écarts. D'où deux conclusions :

- 1/ Les inévitables écarts de températures ont facilement le même effet qu'un vent de 3 m/s.
- 2/ Un confinement modeste (n50=2.5) ne diminue pas* la dose de plus d'un facteur 20.

*Nota : à moins que ... voir cas N°13.

Cas N° 5

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	0,0	0	60,0
seix	seyy	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	18,0	0,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
1,09	1,09	3,06
n50a	n50p	n50i
2,50	2,50	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,09	0,09	0,43

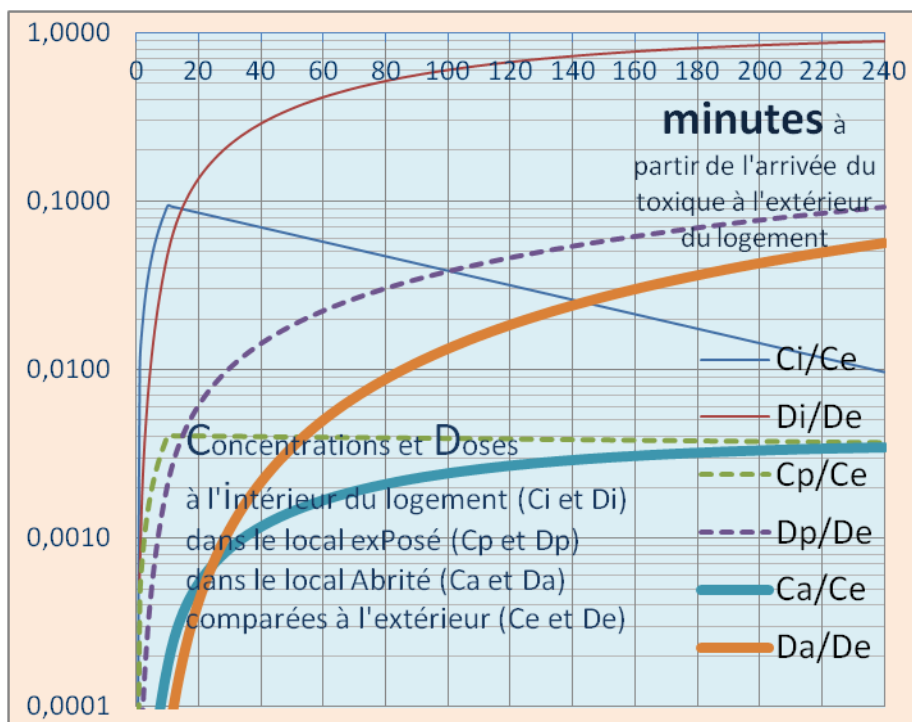
Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,03	0,03	0,18
a2h	p2h	i2h
0,09	0,09	0,46

Cas identique au N° 4, mais avec des écarts de températures plus forts, jusqu'à 20 °C (hiver). On pourrait s'attendre à une protection plus faible que celle qui est constatée ; or la dose relative n'est même pas le double du cas précédent, alors que les écarts de températures entre locaux confinés et extérieur sont multipliés par 4. La dose relative n'est pas proportionnelle à l'écart de températures, car la pénétration de l'air varie selon la racine carrée de cet écart $\sim (T_2 - T_1)^{1/2}$

Nota : il ne faudrait pas calculer la somme des effets des températures et du vent avec la feuille Excel dans son état actuel, car les équations n'ont pas pris en compte le fait que les sens de circulation de l'air dus au vent et aux températures à travers l'une ou l'autre des surfaces de fuites peuvent se contrarier. Ajouter sans précautions les deux effets serait probablement pessimiste. La présence de vent aggraverait néanmoins la situation.

Cas N° 6

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
2,3	0,0	3,4	162,7	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	3,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
162,7	0,0	3,4	2,3	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 0,26	n10p 0,26	n10i 3,06
n50a 0,60	n50p 0,60	n50i 7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,02	CAHp 0,02	CAHi 0,59

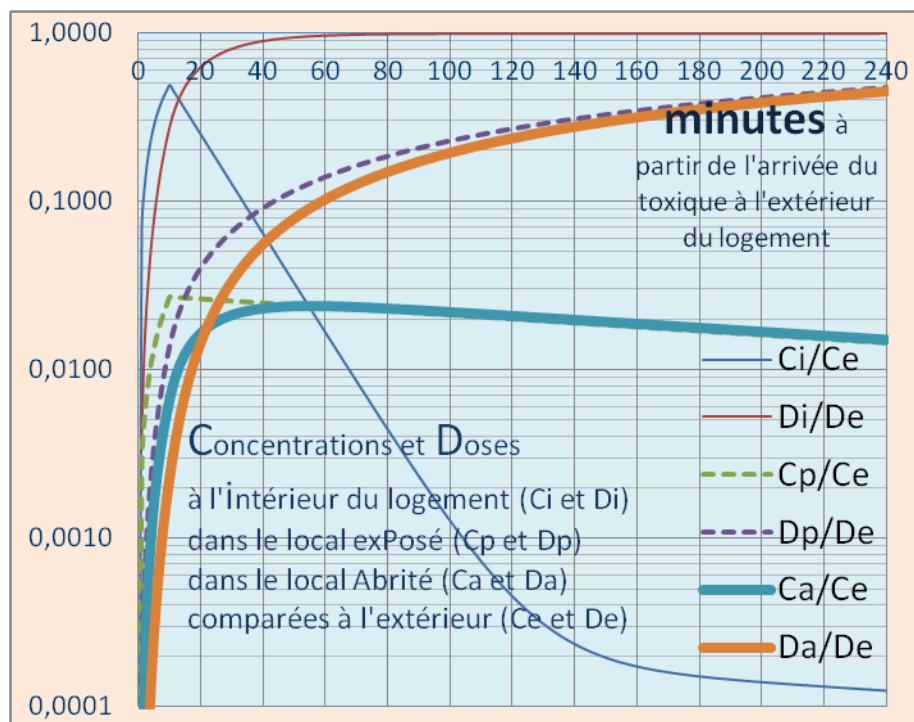
Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h 0,005	p1h 0,02	i1h 0,42
a2h 0,02	p2h 0,05	i2h 0,67

Dans les cas N° 6 à 9 ci-dessous, la protection qui pourrait être exigée dans le cadre des PPRT est maximale dans les pièces confinées : les surfaces de fuites sont réduites, ajustées à moins de 6 cm² au total par pièce confinée, pour obtenir la perméabilité à l'air la plus sévère n50 = 0.6 vol/h dans les locaux confinés.

Suite à un rejet toxique bref (10 mn), et par petit vent (3 m/s, soit environ 10 km/h), la protection après deux heures sous confinement est bonne : 2% de la dose dans le local abrité, un peu plus du double si le local est exposé.

Cas N° 7

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
2,3	0,0	3,4	162,7	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	20,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
162,7	0,0	3,4	2,3	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 0,26	n10p 0,26	n10i 3,06
n50a 0,60	n50p 0,60	n50i 7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,16	CAHp 0,16	CAHi 3,94

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h 0,10	p1h 0,14	i1h 0,97
a2h 0,24	p2h 0,27	i2h 0,99

Ici, les conditions sont identiques au cas N°6, seul le vent change.

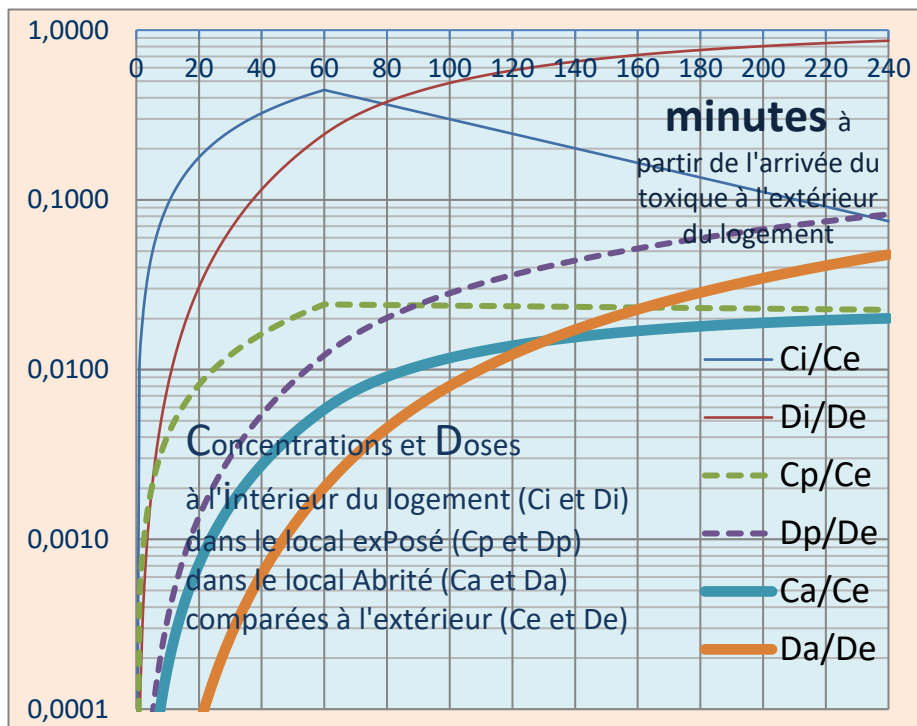
Par vent fort, 20 m/s, les doses relatives dans les locaux abrité et exposé remontent à 24 et 27% après deux heures sous confinement. Elles sont importantes et voisines. (Par vent de 10 m/s, elles atteindraient 11 et 15% environ).

Certes l'étanchéité des locaux confinés a été très poussée, mais pas l'intérieur, le reste du logement, où n50i est égal à 7 dans cet exemple comme dans tous les cas ci-dessus, ce qui entraîne quasiment 4 changements d'air par heure à l'intérieur (CAHi=3.94). Le fait que l'intérieur laisse trop facilement passer l'air diminue fortement l'avantage du local abrité comparativement au local exposé. En effet, la source de pollution du local abrité est l'intérieur, et si ce dernier laisse trop passer l'air toxique, il ne joue plus son rôle de tampon à l'égard du local abrité.

Pour qu'un local abrité soit plus performant qu'un local exposé, il est nécessaire que tout le logement soit aussi étanche que possible, surtout par vent fort.

Cas N° 8

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
2,3	0,0	3,4	162,7	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	3,0	0	60,0
seix	seiy	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
162,7	0,0	3,4	2,3	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
0,26	0,26	3,06
n50a	n50p	n50i
0,60	0,60	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,02	0,02	0,59

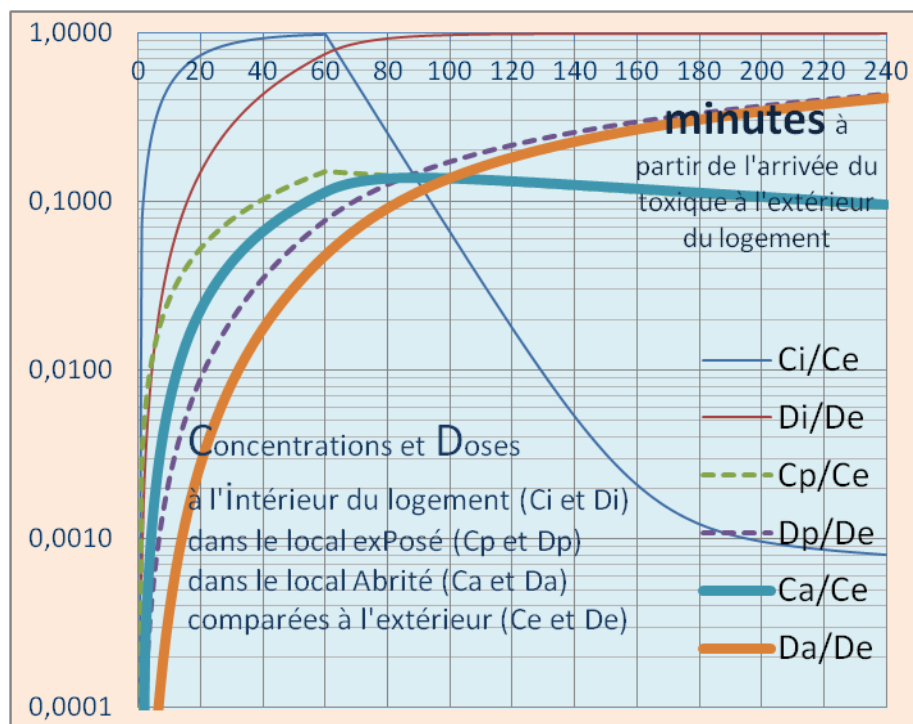
Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,002	0,01	0,24
a2h	p2h	i2h
0,01	0,04	0,58

Dans les deux exemples 8 et 9, on observe ce qui se passe lors d'un rejet long, une heure, avec l'étanchéité la plus sévère qui pourrait être prescrite.

La protection est bonne par petit vent de 3 m/s (1% ou 4% de la dose).

Cas N° 9

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
2,3	0,0	3,4	162,7	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	20,0	0	60,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
162,7	0,0	3,4	2,3	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 0,26	n10p 0,26	n10i 3,06
n50a 0,60	n50p 0,60	n50i 7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,16	CAHp 0,16	CAHi 3,94

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h 0,05	p1h 0,08	i1h 0,75
a2h 0,18	p2h 0,22	i2h 0,99

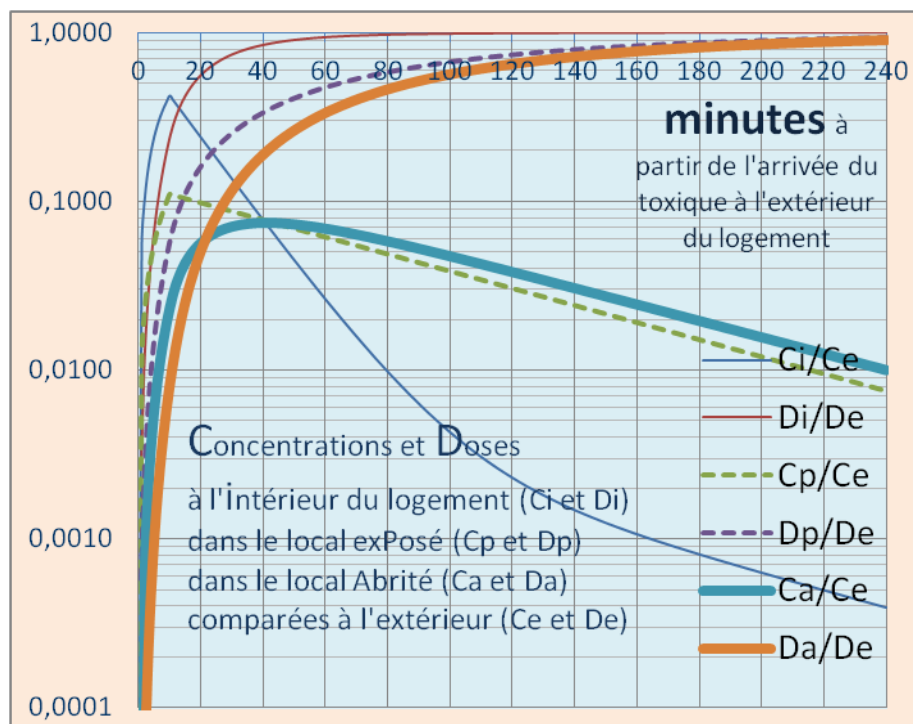
On retrouve ici, comme chaque fois que le vent est fort, une protection faible, même avec une bonne étanchéité des pièces confinées : environ 20% de la dose après deux heures sous confinement. Elle est presque la même que le local soit exposé ou abrité, en raison de la mauvaise étanchéité du reste du logement (n50i = 7 vol/h).

Par vent de 10 m/s, la protection serait évidemment meilleure : la dose serait divisée environ par deux.

Remarque : les trois courbes de concentrations relatives de toxiques Ca/Ce°, Cp/Ce° et Ci/Ce° se coupent en un même point, au bout de 90 minutes dans ce cas particulier. On observe la même chose dans les cas 1, 2, 3, 7, 10, 12 et 13, mais à des moments différents. Il en serait de même dans tous les autres cas si l'évolution des concentrations et doses avait été poursuivie au-delà de quatre heures. Cela n'est pas dû au hasard. La raison provient de la symétrie entre pièce abritée et pièce confinée, qui ont mêmes volumes et mêmes surfaces de fuites. Les trois courbes ne se coupent plus en un même point dès qu'il y a une différence entre ces deux pièces.

Cas N° 10

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
19,3	0,0	29,0	269,6	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	10,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
269,6	0,0	29,0	19,3	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a 2,19	n10p 2,19	n10i 5,25
n50a 5,00	n50p 5,00	n50i 12,00
dûs au vent ou températures		
CAHa 0,70	CAHp 0,70	CAHi 3,37

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h 0,34	p1h 0,47	i1h 0,93
a2h 0,66	p2h 0,74	i2h 0,99

Voici un logement assez mal isolé, sans aucun aménagement particulier de confinement : les perméabilités sont grandes (n50i = 12 vol/h, n50a et n50p = 5 vol/h, soit environ 50 cm² de fuites par pièce). Le vent est moyen, 10 m/s (36 km/h). On ne peut guère espérer se protéger en s'enfermant dans ce logement peu isolé et sans pièce pré-confinée, la dose encourue au bout de deux heures étant d'environ 70% de celle au dehors (rejet bref, 10 min.). La protection est très faible.

Par vent moyen, une mise à l'abri pendant deux heures dans un logement peu isolé ne sert presque à rien.

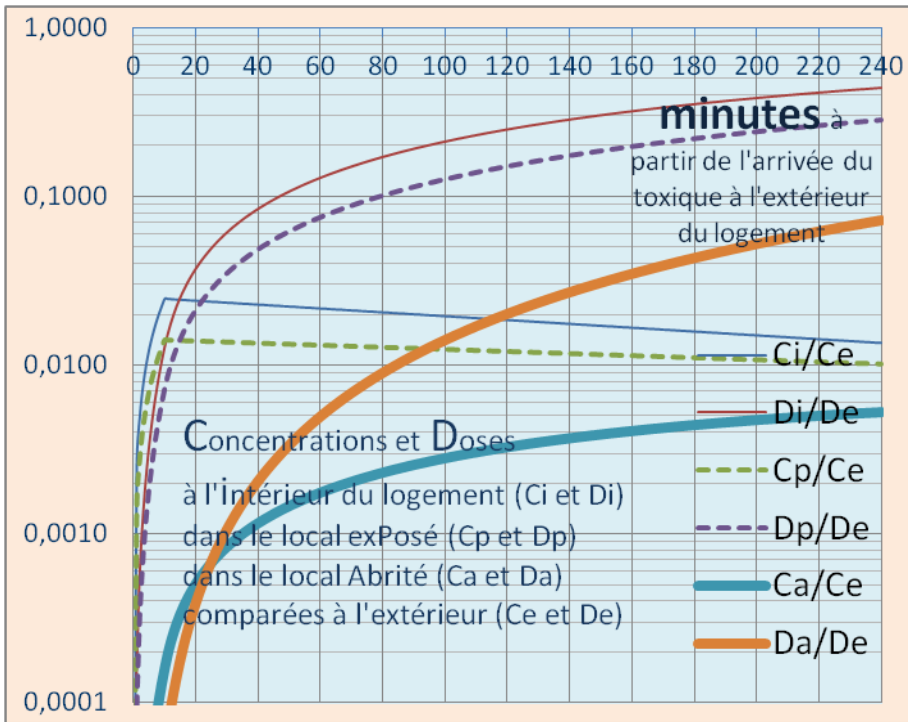
De même, une mise à l'abri dans un local qui a fait l'objet de travaux de confinement est peu efficace si les personnes se contentent de fermer portes et fenêtres, mais n'appliquent pas les consignes particulières associées : arrêter la VMC, fermer les grilles de ventilation.

Remarque : des dépôts noirs sont visibles par exemple sur les grilles de ventilation en haut des fenêtres. Pire, en centre ville, là où l'atmosphère est très chargée en particules et en gaz de combustion émis par les véhicules, des dépôts gras plus ou moins épais salissent les surfaces même à l'intérieur du logement. Certes cela signifie d'abord que l'on y respire de l'air pollué. Mais cela signifie aussi qu'une partie des polluants atmosphériques est piégée au niveau de la grille de ventilation et sur les parois, diminuant d'autant les quantités inhalées. Il en est de même pour les gaz toxiques pénétrant dans le logement qui peuvent être en partie piégés sur les surfaces des parois du local de confinement et des objets qui s'y trouvent. Les doses calculées sans tenir compte de cette réduction peuvent donc être un peu surestimées.

Cette observation pourrait être mise à profit en mettant au point des filtres, plus ou moins performants selon l'efficacité recherchée, à disposer à la place de ces grilles de ventilation. Elles réduiraient, à l'intérieur des logements, l'exposition à la pollution atmosphérique chronique.

Cas N° 11

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
0,8	0,0	1,2	4,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	30,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
4,2	0,0	1,2	0,8	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
0,09	0,09	0,09
n50a	n50p	n50i
0,20	0,20	0,20
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,09	0,09	0,17

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur		
après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,005	0,08	0,13
a2h	p2h	i2h
0,020	0,15	0,25

- Voici ce qui peut se passer dans un logement dit "passiv-Haus", dans lequel n50 ne dépasse pas 0.2 vol/h partout dans la maison. Ce sont les meilleures conditions d'étanchéité possibles, que nous avons choisi de soumettre aux pires conditions météorologiques, un vent de 30 m/s, soit de plus de 100 km/h, plutôt rare. Même dans ce cas extrême, la protection reste bonne dans la pièce abritée, à peine 2% de la dose après deux heures de confinement, mais 15% dans la pièce exposée. D'où la confirmation de la préférence pour une pièce abritée plutôt qu'exposée, même avec une étanchéité draconienne.

Il est bon de remarquer que ces performances d'isolation exigent au plus 2 cm² de fuites dans les locaux abrité et exposé, et de l'ordre de 8 cm² dans tout le reste du logement. 2 cm², c'est environ la fuite à travers un trou de serrure ! Autrement dit, une telle étanchéité est extrêmement difficile à obtenir. Il va de soi que dans un tel logement, une ventilation (à double flux) est nécessaire en temps normal pour assurer le renouvellement d'air et le maintenir respirable. Cette ventilation doit évidemment être coupée en cas d'alerte, faute de quoi la protection serait anéantie.

Il faut également remarquer que le meilleur des confinements (n50 <= 0.2) n'est pas capable de diminuer la dose d'un facteur 100, hormis par vent faible. A fortiori avec n50 compris entre 0.6 et 2.5. Si performante soit-elle, une pièce confinée ne protège pas contre les très forts risques.

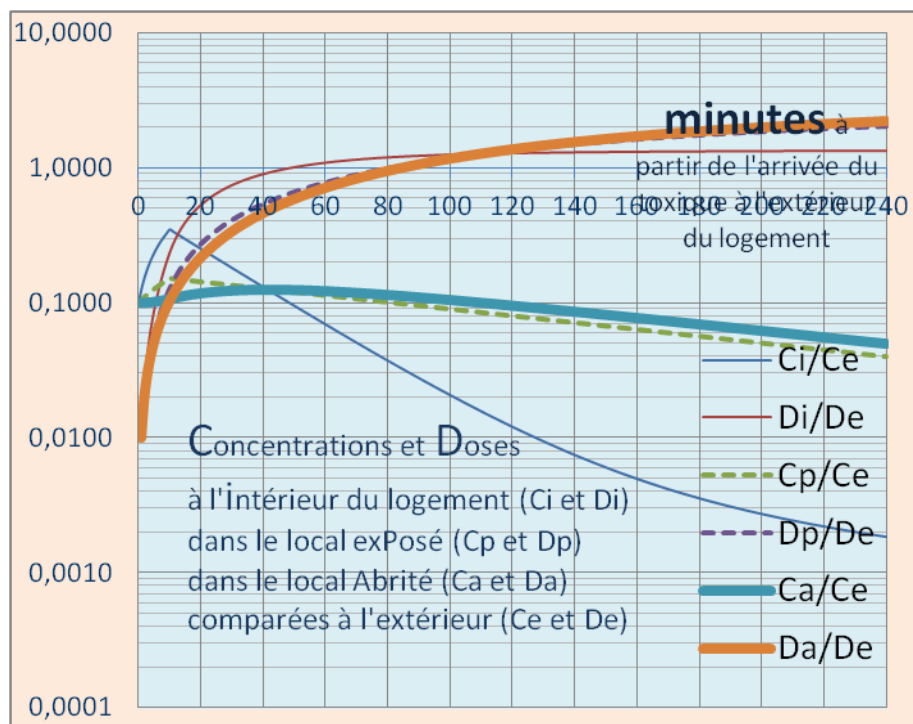
- Dans les logements neufs conformes à la **réglementation thermique 2012**, où n50 <= 0.6 partout, on obtiendrait les atténuations suivantes pour tpt=10 min, après 2 heures sous confinement :

Vitesse du vent (m/s)	0*	3**	10**	20**	30**
a2h Atténuation de la dose dans le local abrité	0.03	0.002	0.02	0.07	0.14
p2h Atténuation de la dose dans le local exposé	0.03	0.05	0.15	0.3	0.4
i2h Atténuation de la dose dans le reste du logement	0.06	0.08	0.25	0.44	0.6

* effet des seuls écarts de températures : tha et thp = 20°C ; thi = 18°C ; the = 0°C
 ** effet du vent seul, sans écarts de températures

Cas N° 12

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
9,6	0,0	14,4	158,2	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	10,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
158,2	0,0	14,4	9,6	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
1,09	1,09	3,06
n50a	n50p	n50i
2,50	2,50	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,35	0,35	1,97

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,71	0,78	1,09
a2h	p2h	i2h
1,36	1,35	1,28

Données complémentaires

ficep	ficea	ficei
0,1	0,1	0,1

0.1 = rapports entre les concentrations initiales dans les trois volumes et l'extérieur (sans dimension).

Voilà un cas particulier redoutable : des valeurs non nulles, égales à 0.1 dans cet exemple, ont été introduites en données complémentaires dans ficep, ficea et ficei. Cela signifie qu'avant confinement, du gaz toxique s'était introduit dans les trois volumes du logement, portant la concentration dans ces volumes à 10% de ce qu'elle était à l'extérieur.

Cela peut se produire dans des circonstances non seulement plausibles, mais assez probables : une personne se trouve au dehors au moment de l'alerte, et a mis un certain temps pour entrer chez elle, avant de pouvoir se confiner. Ou alors elle s'est enfermée dès l'alerte, mais elle a tardé à boucher les grilles de ventilation, ou à arrêter la VMC. Ou encore, elle a parfait son confinement seulement après avoir perçu une irritation des voies respiratoires due à l'entrée d'un peu de gaz toxique. Ou tout simplement le nuage toxique est arrivé trop tôt, en raison des retards pour déclencher l'alerte, pour comprendre qu'il y a alerte et pour se confiner (voir ci-dessous en 5.3).

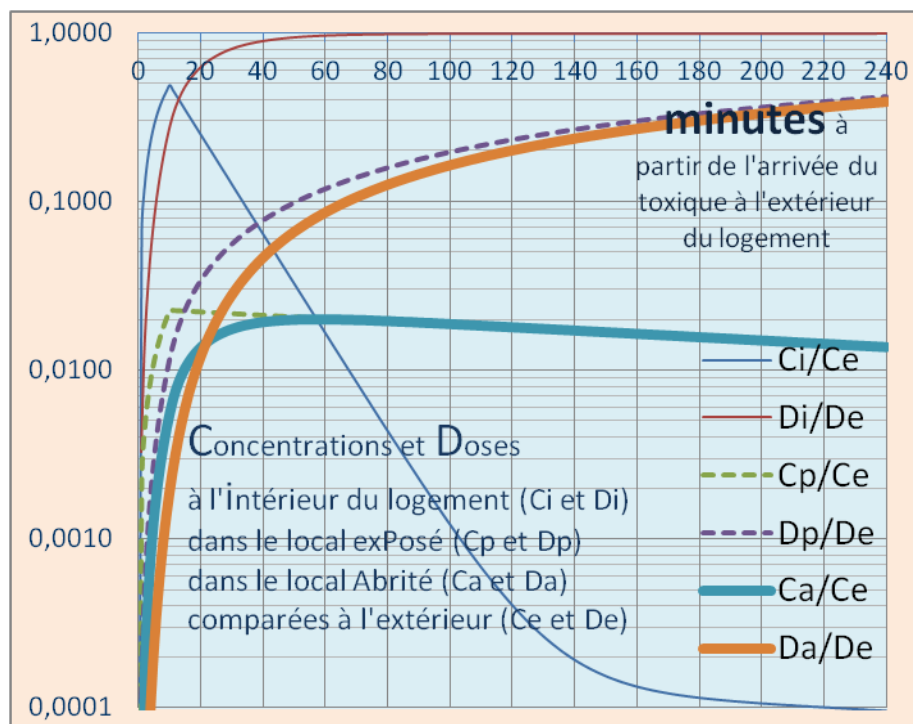
Ce faisant, la personne a enfermé 'consciencieusement' de la contamination dans son logement, limitant certes une nouvelle entrée de toxique, mais restreignant de la même manière la sortie du toxique initialement présent ; et elle inhale cet air pollué jusqu'à la fin de l'alerte.

Conséquence : la dose inhalée sous confinement est plus forte qu'au dehors sans protection, soit environ 35% de plus au bout de deux heures dans cet exemple (a2h et p2h = 1.35). Si par beau temps portes et fenêtres étaient préalablement ouvertes, ficep, ficea et ficei pourraient monter jusqu'à 1, et alors la dose pourrait facilement être décuplée. Le confinement se transforme en piège.

C'est un risque inhérent à la protection par confinement, tout à fait probable. Même avec une information pointue du public, il semble difficile de prévenir une telle situation. Le confinement n'est pas infaillible ; il peut être contre-productif ; il faut trouver des moyens complémentaires de protection.

Cas N°13

sepx	sepy	spi	sie	hep	hia	hei	thp	tha	V	alpha	tpt
1,20	0,0	23,9	163,00	1,4	2,0	2,0	20,0	20,0	20,0	0	10,0
seix	seyi	sia	sae	hpi	hae	hie	thi	the	volp	vola	voli
163,0	0,0	23,9	1,20	2,0	1,4	2,0	20,0	20,0	30,0	30,0	150,0



Changements d'air par heure		
sous 10 ou 50 Pascal		
local abrité	local exposé	local intérieur
n10a	n10p	n10i
1,10	1,10	3,06
n50a	n50p	n50i
2,50	2,50	7,00
dûs au vent ou températures		
CAHa	CAHp	CAHi
0,14	0,14	3,94

Rapport entre doses		
dans le local et à l'extérieur après 1 ou 2h dans le local		
a1h	p1h	i1h
0,086	0,118	0,97
a2h	p2h	i2h
0,202	0,231	0,99

Voici un dernier cas, instructif et prometteur. Il est **identique au cas N°2, à l'exception de la répartition des fuites** à l'intérieur de chaque volume confiné. Dans les douze cas précédents, y compris le N°2, les surfaces de fuites fenêtres et portes des locaux confinés étaient assez voisines, celles côtés portes étant supposées 1.5 fois plus grandes que celles côtés fenêtres. Ici, dans ce cas N°13, le total des surfaces de fuites dans les locaux confinés est le même, environ 25 cm² par local, ce qui entraîne les mêmes perméabilités n50=2.5 vol/h. Seule la répartition des fuites entre fenêtre et porte varie, la fenêtre étant ici supposée 20 fois plus étanche que la porte.

Le résultat peut surprendre : à égale perméabilité à l'air, la dose est divisée par 3 !

On constate ici que la pénétration du vent (et donc la dose) dans une pièce dépend certes du total des surfaces de fuites, mais aussi de leur répartition. Lorsque le vent traverse une pièce en entrant par exemple par la fenêtre pour sortir par la porte, c'est la plus petite surface de fuite qui impose sa résistance à la pénétration du vent, et cela d'autant plus que le rapport entre les deux surfaces en série est différent.

Du point de vue de la perméabilité à l'air n10 ou n50, ce qui est mesurable par infiltrométrie, la surface de fuite équivalente aux surfaces en parallèles fenêtre (S1) et porte (S2) est la somme des surfaces S1+S2.

Du point de vue de la pénétration du vent, la surface de fuite équivalente à deux surfaces en série est $S_{\text{équi}} = (S1 \times S2) / (S1 + S2)$ comme on peut le voir sur la courbe en 1.1 de l'annexe 1.

Si S1 devient très petit comparativement à S2, $S_{\text{équi}}$ tend vers S1. A la limite, une parfaite étanchéité de la fenêtre (S1=0) devrait pratiquement empêcher toute pénétration du vent, même si les fuites entre local confiné et le reste du logement demeurent importantes à travers porte et canalisations.

La protection dépend certes de la perméabilité à l'air, mais aussi de la répartition des fuites.

En pratique, lors d'une alerte, pour parfaire le confinement d'une pièce avec de l'adhésif large, plutôt que de disperser son précieux temps tant côté porte que fenêtre, **il serait judicieux d'obstruer d'abord les fuites côté fenêtre**, plus facile à faire que côté porte. A condition que la liaison entre le mur et le dormant de la fenêtre ait été préventivement soigneusement colmatée, car c'est une source fréquente et importante de fuites.

Ce faisant, double avantage, on réduit également la pénétration de l'air extérieur provoqué par les écarts de températures entre extérieur et intérieur, importante surtout en hiver.

4.2 Quelques approches paramétriques

4.2.1 Protection en fonction des perméabilités à l'air dans les trois volumes.

Les interactions entre les trois volumes ont déjà été évoquées à propos du cas N°2, mais sont bien visibles dans les cas 7, 9, 10, 12 et 13.

Contrairement à ce qui se passe dans la pièce confinée *exposée* qui dépend peu du reste du logement, l'efficacité de la protection dans la pièce confinée *abritée* dépend certes de sa perméabilité propre, mais également et notablement de la perméabilité de l'ensemble du logement qui sert de volume tampon.

Cette dépendance est visible dans la figure ci-dessous, élaborée dans les conditions suivantes :

- $T_{pt} = 10$ mn, durée du rejet toxique, représentative des rejets courts, les plus probables ;
- $V=10$ m/s (soit 36 km/h), vitesse du vent notable, probablement la plus significative. En effet, cette vitesse se situe entre d'une part la vitesse moyenne à Pont de Claix, inférieure à 1 m/s, mais qui ne conduit pas à une forte pénétration de l'air dans les logements, et d'autre part des vents de 20 m/s ou davantage, qui seraient plus redoutables mais peu fréquents.
- Surfaces de fuites par les portes = 1.5 fois plus grandes que les fuites par les fenêtres.

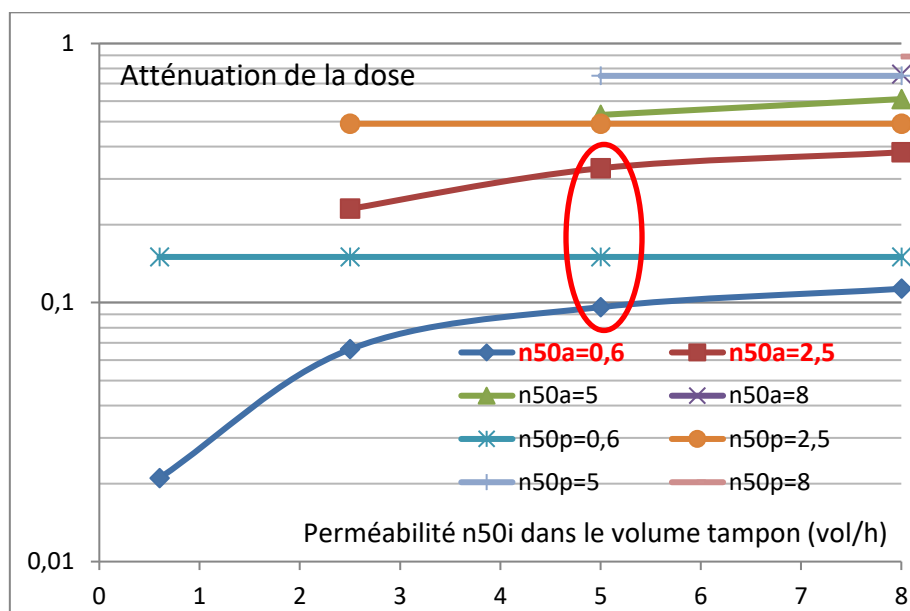


Figure 421a : Atténuation de la dose (= dose sous confinement / dose à l'extérieur sans protection) en fonction de la perméabilité à l'air dans les trois volumes. (vent de 10 m/s, tpt =10 min, après 2h sous confinement)

Dans la pièce confinée *exposée*, on constate d'abord que l'atténuation de la dose D_p est peu dépendante de la perméabilité n50i dans le volume tampon. Pour n50p allant de 0.6 à 2.5 vol/h, comme cela pourrait être imposé dans toute pièce confinée, l'atténuation de la dose dans la pièce exposée varie d'environ 0.16 à 0.5.

Dans la pièce confinée *abritée*, l'atténuation de la dose est un peu meilleure ; elle dépend certes de sa propre perméabilité n50a, mais aussi de la perméabilité n50i dans le volume tampon. Pour n50i=5 vol/h, valeur assez probable, et pour n50a allant de 0.6 à 2.5, **l'atténuation de la dose dans la pièce abritée varie d'environ 0.1 à 0.35** (valeurs repérées dans l'ovale rouge). Ces résultats sont meilleurs quand n50i est plus faible, comme on le voit sur la gauche des courbes, mais cela suppose que tout le logement soit bien isolé.

On constate au final que par vent de 10 m/s (assez significatif), **un confinement abrité assure une atténuation des doses d'un facteur 10 à 3 environ** s'il est réalisé selon les prescriptions qui pourraient être imposées par le PPRT (0.6 à 2.5 renouvellements d'air par heure maxi sous 50 Pa dans les locaux confinés). Ce serait mieux si les fenêtres étaient particulièrement bien étanches, ou si l'on sortait du confinement bien avant 2 heures, ou encore si tout le logement était sévèrement isolé.

L'étanchéité doit être recherchée non seulement dans la pièce de confinement, mais aussi dans l'ensemble du logement. Faute de quoi la pièce abritée ne serait guère plus performante que la pièce exposée, comme le montre la figure ci-dessous.

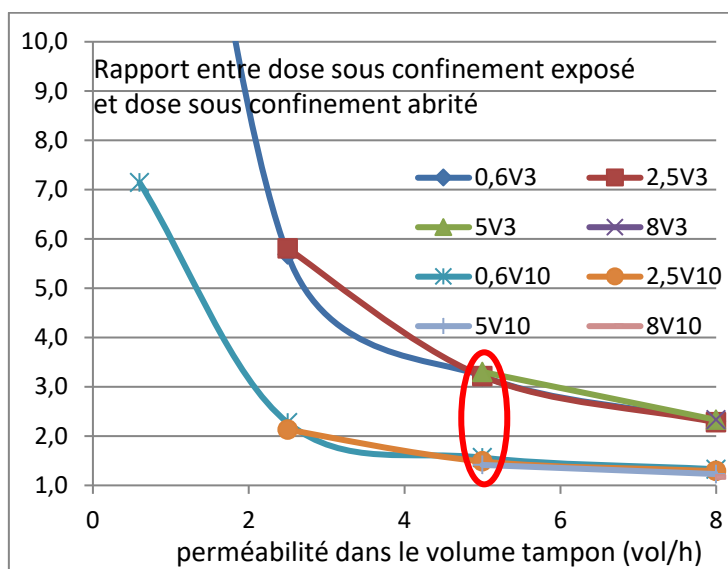


Figure 421b : comparaison des doses dans les deux locaux confinés (abrité et exposé) en fonction des perméabilités à l'air dans les trois volumes, pour deux vitesses de vent (3 et 10 m/s), après deux heures sous confinement, t_{pt}=10min.

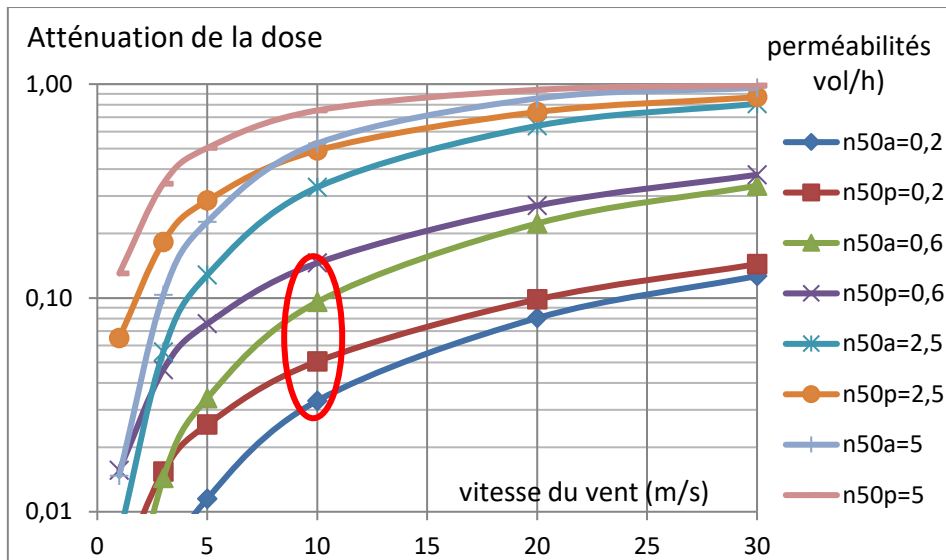
Nota : signification des étiquettes attachées à chaque courbe à partir du premier exemple : 0.6V3 signifie n_{50a} et n_{50p}=0.6 vol/h, avec un vent de 3m/s

L'avantage du local abrité comparé au local exposé est d'autant meilleur que n_{50i} et vitesse du vent sont plus faibles. Il peut monter jusqu'à plus d'un facteur 10. Pour une isolation modeste de l'ensemble du logement (n_{50i}=5), l'avantage est de 3 à 1.5 environ pour des vents de 3 à 10 m/s.

Remarque 1 : Cet avantage n'est malheureusement pas assez mis à profit à Pont de Claix. Dans trois locaux visités, les pièces confinées étaient toutes exposées au vent. Dans le premier logement, les joints d'étanchéité étaient en outre dégradés, et les occupants incapables d'appliquer les consignes. La protection y est donc quasi-nulle. Dans le deuxième, avec une grande baie vitrée exposée côté usine et malgré des joints neufs, la protection serait meilleure dans la salle de bains, bien mieux abritée. Le troisième local se situe dans un bâtiment public ; avec des ouvertures dans les quatre murs, dont trois donnant sur l'extérieur, ce local est plutôt mal approprié pour servir de confinement.

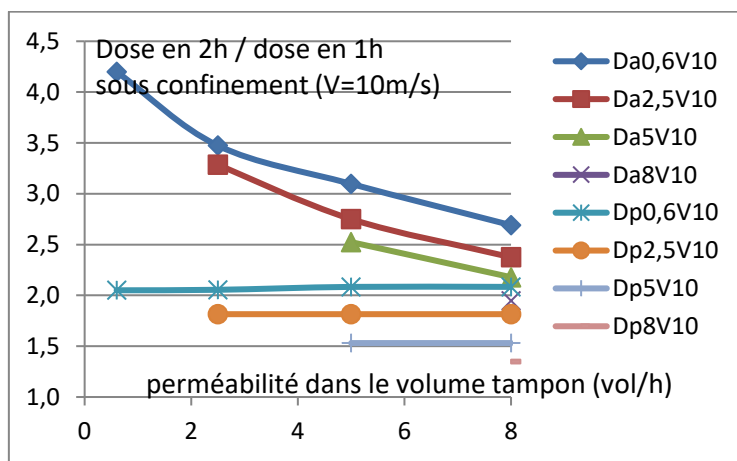
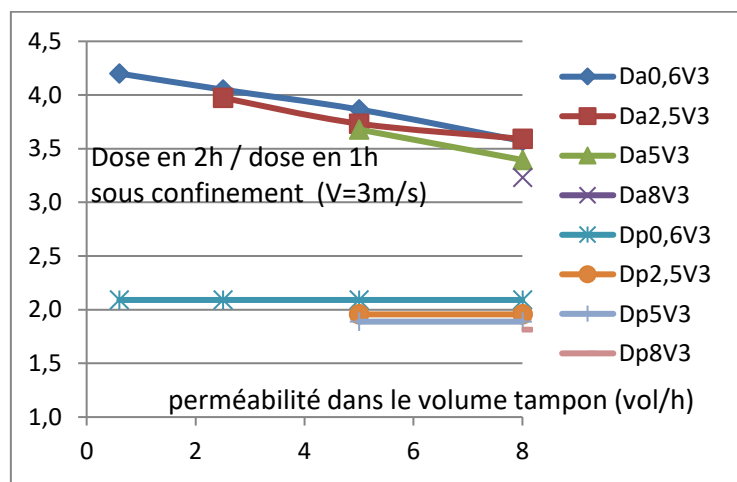
Remarque 2 : On peut lire dans le guide PPRT (Réf1) « *La nécessité... de règles permanentes d'ouverture restreinte des portes et fenêtres dans les bâtiments situés dans les périmètres des PPRT, notamment en conditions estivales* ». Sans doute pour garantir une bonne protection dans la pièce abritée, mais surtout parce que le temps nécessaire pour fermer tout le logement peut être trop long au regard de la vitesse d'arrivée du toxique (on y reviendra en 5.3). Or ces règles pleines de bonnes intentions sont irréalistes. Combien fermeront en permanence portes et fenêtres par beau temps ?

4.2.2 Atténuation de la dose en fonction de la vitesse du vent



Atténuation de la dose en fonction de la vitesse du vent et des perméabilités à l'air après 2 heures sous confinement, avec $t_{pt}=10$ min. et $n50i=5$ vol/h.

4.2.3 Atténuation de la dose et durées sous confinement.



Nota : signification des étiquettes attachées à chaque courbe à partir du premier exemple :
 Da0.6V3 = Rapport entre doses 2h/1h dans local abrité avec $n50a=0.6$ vol/h et vent 3m/s

Ces deux figures montrent que, suite à un rejet bref de 10 minutes, (mais c'est tout aussi vrai pour un rejet long d'une heure), la dose inhalée est d'autant plus forte que la durée passée sous confinement est plus longue. L'essentiel de la dose est reçue après le passage du nuage toxique au voisinage du logement. La consigne de donner la fin d'alerte deux heures après l'accident au lieu par exemple d'une heure peut donc augmenter significativement les doses, d'environ 50% à plus de 400%.

4.2.4 Atténuation de la dose en fonction des écarts de températures

Les figures en 4.2 ci-dessus résultent de calculs supposant que les températures étaient identiques dans les trois volumes et à l'extérieur. La pénétration de l'air était due uniquement au vent. Ci-dessous, la pénétration de l'air est due uniquement aux écarts de températures, en l'absence de vent.

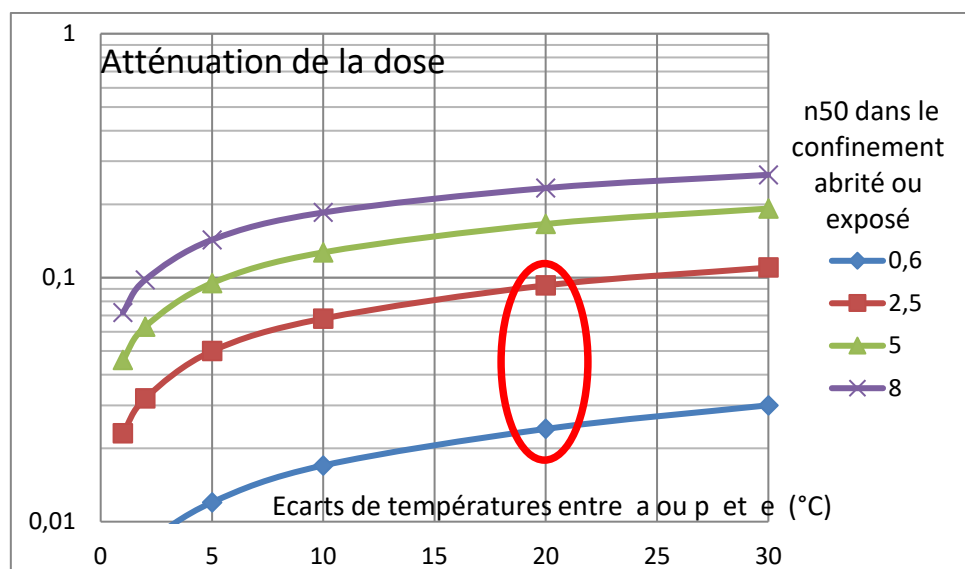


Fig. 4.2.4 Atténuation de la dose sous confinement abrité ou exposé en l'absence de vent en fonction des écarts de températures entre extérieur et locaux confinés et des perméabilités à l'air dans ces locaux après deux heures sous confinement, avec $t_{pt}=10\text{min}$, $n_{50i}=8$

Les effets des températures sont égaux dans les locaux abrité et exposé, à écarts de températures identiques. Le volume tampon ne donne aucun avantage au local abrité.

En hiver, même en l'absence totale de vent, en raison des écarts de températures, on ne peut compter que sur une atténuation moyenne des doses d'un facteur 10 à 40 environ pour n_{50a} ou n_{50p} allant de 2.5 à 0.6.

L'atténuation est d'autant meilleure que les distances entre haut et bas des ouvertures sont plus petites. Certaines fenêtres ont moins de 1.4 mètre de hauteur (valeur utilisée ici pour les calculs), d'autres davantage (baies vitrées).

Remarque : Dans la pratique, vent et écarts de températures coexistent le plus souvent. La méthode de calculs utilisée ici n'a pas été prévue pour tenir compte simultanément de ces deux causes de pénétration de l'air. Il faut se garder d'additionner les deux effets, car ils peuvent se contrarier partiellement au passage de l'une ou l'autre des surfaces de fuites. En réalité, l'atténuation se situe entre celle qui est la moins performante (due au seul vent ou aux seuls écarts de températures) et celle qui résulte du calcul dans lequel les deux causes de pénétration de l'air sont simultanément introduites.

5 / Réflexions sur les difficultés liées au confinement.

5.1/ Efficacité moyenne d'un confinement.

Les résultats de tous ces calculs montrent que le confinement protège certes, mais pas dans des proportions élevées. Pour les perméabilités à l'air prévues entre 2.5 et 0.6 vol/h sous une différence de pression de 50 pascals dans les locaux exposés et abrités, on peut compter en moyenne sur une atténuation de la dose de toxique d'environ un facteur 3 à 10, et davantage dans les cas favorables, ou si la fenêtre du local confiné est particulièrement étanche, ou si on sort du confinement avant 2 heures.

5.2 / L'indispensable information du public.

Même quand une pièce du logement a été pré-confinée, si les personnes n'appliquent pas les consignes, la protection y est dérisoire, environ quelques dizaines de % seulement. Il ne suffit pas de disposer d'une pièce confinée, encore faut-il savoir et pouvoir s'y protéger. En 2013, après une fausse alerte à Claix, à peine 3 à 30% des personnes qui avaient répondu à notre enquête avaient respecté tout ou partie des consignes. Elus et administration déplorent leur incapacité à bien informer. La mise en application du PPRT devra être accompagnée d'une puissante information des populations.

5.3 / Se confiner par vent modéré ou soutenu : une course contre la montre ? Un piège ?

■ Par vent de 3 m/s, situation considérée officiellement comme la plus dangereuse, et à fortiori par vent plus fort, qu'advient-il des personnes qui sont loin de chez elles lors d'une alerte ? En déplacement à pieds, à vélo, en voiture, en bus ? Au supermarché, au marché, sur un terrain de sports ? Le nuage toxique les surprendra bien avant qu'elles aient atteint leur domicile ! Où alors se confiner ? Oseront-elles frapper à la porte du plus proche voisin, peu enclin à ouvrir son logement aux inconnus ... tout comme au gaz toxique, et qui risque en outre d'être débordé par la demande d'asile ?

■ Ce peut être paradoxalement pire pour les personnes qui sont chez elles lors d'une alerte :

Pour le comprendre, voir d'abord le tableau en annexe 2. Il donne un aperçu des prescriptions du PPRT sur l'habitat (expropriation, délaissement ou confinement) en fonction des aléas, combinaisons des niveaux de dangers (très grave, grave ou significatif, liés au pourcentage de décès, et donc aux distances à la source de toxiques) et de leurs probabilités.

La diminution des risques à la source déjà réalisée pour anticiper le PPRT, et limiter l'étendue de ces zones d'expropriation et de confinement, a résulté d'une optimisation financière. Ainsi, la zone dans laquelle le pré-confinement sera prescrit se situera probablement entre un peu moins et un peu plus d'un km de la source du gaz toxique (*comme en 2.2.2*).

Le toxique atteindra donc la zone de logements confinés entre environ 3 et 10 min après le début du rejet par vent de 3 m/s, ou 1 et 3 min par vent de 10 m/s. Or le délai entre le début d'un rejet toxique et le déclenchement de l'alerte est évalué à 2 min environ. Il faut ajouter d'autres retards : environ 1 min pour comprendre qu'il y a alerte, et davantage pour arrêter la VMC, rassembler la famille, fermer volets, fenêtres, portes et bouches d'aérations. Soit au moins 5 à 10 min si on est chez soi. Et beaucoup plus si on était dans le jardin, si on attend la fin des trois séquences de la sirène ou pire la confirmation par alerte téléphonique, si on ferme tout le logement pour donner plus d'efficacité au local abrité, si on colle de l'adhésif large aux diverses jointures.

Du gaz toxique a donc largement le temps de pénétrer dans le local pré-confiné avant que les personnes s'y enferment "en emprisonnant le toxique avec elles". Si l'été les fenêtres étaient grandes ouvertes, et si le rejet est bref (c'est le plus probable), la dose sous confinement pourrait être jusqu'à 10 fois supérieure à celle inhalée à l'extérieur sans protection. **Le confinement s'est transformé en piège.**

■ Est-il alors judicieux de confiner les logements proches ?

Certes, le confinement peut être efficace, comme à Texas City en 1987, où il y a eu 500 brûlés par de l'acide fluorhydrique, et où les personnes confinées n'ont pas été atteintes. Mais quelle était la durée des rejets ? Quelle était la vitesse du vent ? Les logements étaient-ils éloignés de la source ?

Au long d'un siècle d'histoire, et particulièrement dans un passé récent, des logements ont été implantés de plus en plus près de la Plateforme Chimique. A défaut de réduction suffisante des risques à la source, le PPRT les expropriera... ou les fera confiner, les exposant alors à ce **piège redoutable – et pourtant bien connu**, sinon pourquoi ces règles irréalistes de fermetures préventives citées dans la remarque 2 en 4.2.1 ?

Si le confinement peut être bénéfique à longue distance, ou suite à un rejet long, par contre, à proximité, s'il y a du vent, notamment suite à un rejet bref, le plus probable, il est contre-productif.

5.4 / Se confiner par vent faible ou nul, cas fréquent... encore plus préoccupant ?

A Pont-de-Claix, la vitesse moyenne annuelle du vent ne dépasse pas 1 m/s, et le vent peut souvent être nul pendant de longues heures. Les vents faibles ou nuls sont les plus fréquents. C'est donc une situation à étudier avec attention. En cas de rejet accidentel, le gaz toxique est peu dilué par ce vent faible. Il dérive lentement vers des quartiers plus ou moins éloignés, induisant des doses qui peuvent être élevées. Pire, comme un vent faible est souvent suivi par un vent nul, le gaz toxique, peu dilué en raison du vent faible au moment du rejet, peut alors stagner plus ou moins longtemps sur certains quartiers. L'exposition au toxique peut alors être bien supérieure aux valeurs officiellement admises par l'administration, qui considère que le risque est maximal par vent de 3 m/s.

Cette question a été largement développée dans notre document de janvier 2012 (réf.3). Nous reproduisons ci-dessous une partie des conclusions de cette étude :

« Suite à un rejet atmosphérique accidentel se produisant à Pont-de-Claix sous atmosphère stable, les doses et les distances à risques maximales peuvent être évaluées à partir des valeurs calculées par l'industriel en condition F3 conformément aux recommandations de l'administration, en leur appliquant les facteurs correctifs ci-dessous. (* La condition F3 signifie atmosphère stable et vent de 3 m/s.)*

Pour tenir compte de la faible vitesse moyenne du vent, au moins 15 fois plus probable que la condition F3, multiplier les doses par au moins 2, et les distances à risques par au moins 2 ou 1.5 selon qu'il y a ou non inversion des températures atmosphériques.

Pour tenir compte à la fois du vent faible et de la stagnation possible du nuage toxique au dessus des personnes exposées, au moins 2 fois plus probable que la condition F3, il faudrait d'abord connaître la durée moyenne de stagnation. Si elle était 10 fois supérieure à celle du rejet, par exemple 30 min après un rejet de 3 min, il faudrait alors multiplier les doses par 20, et les distances à risques par 20 ou 6 selon qu'il y a ou non inversion des températures atmosphériques. Un rapport de durées plus élevé augmenterait d'autant ces facteurs correctifs. »

Nota : Depuis plus de 10 ans, nous avons attiré l'attention de l'administration sur cette sous-estimation des risques par vents faibles ou nuls. C'est sans doute la raison pour laquelle l'INERIS « a monté des programmes d'essais pour mieux appréhender la simulation de la diffusion des polluants dans les conditions de vents faibles », comme annoncé en 2009 au cours d'une réunion du CLIC sud grenoblois. A ce jour, nous ignorons l'état d'avancement de ces essais.

Dans ces conditions de vents faibles ou nuls, ce sont les différences de températures entre extérieur et intérieur, même faibles, qui provoquent l'essentiel de la pénétration de l'air toxique (voir cas N°4). Sachant qu'en l'absence de vent, le confinement ne peut atténuer la dose que d'environ 10 à 40 fois en hiver (voir 4.2.4), et que doses et distances à risques peuvent être par exemple 20 fois plus élevées qu'en conditions F3, **la dose peut donc être significative** non seulement sous confinement, mais aussi au delà de la zone confinée, **jusqu'au Nord de Grenoble**, où il n'est ni pratiquement ni économiquement envisageable de pré-confiner l'ensemble des logements.

5.5 / Ordonner la fin d'alerte deux heures après le rejet : Trop tard ? Trop tôt ? Ingérable ?

Trop tard s'il y a du vent notable : nous avons vu plus haut que donner le signal de fin d'alerte deux heures après le début d'un rejet bref, le plus probable, peut conduire à augmenter inutilement les doses, dont l'essentiel est inhalé après l'éloignement du nuage toxique.

Trop tôt par vent faible ou nul : par vent de 0.5 m/s, assez représentatif des vents faibles majoritaires à Pont-de-Claix, le nuage toxique est lentement poussé hors de la plateforme chimique. Il parcourt un peu moins de 2 km en 1 heure. Il traverse ainsi l'agglomération grenobloise en 4 heures environ. De plus, comme le vent faible peut s'annuler, c'est également fréquent, alors que le nuage toxique se trouve par exemple quelque part entre Pont-de-Claix et le Nord de Grenoble, ce nuage peut stagner plus ou moins longtemps sur n'importe quel quartier de l'agglomération.

Dans ces conditions, il faudrait rester sous confinement 4 heures ou plus après le rejet, ce qui induit selon les cas des doses éventuellement significatives, et une raréfaction dangereuse de l'oxygène si le local est peu volumineux, le SEI oxygène étant atteint en 3h dans 2.5 m³ d'air/personne au repos.

A moins d'adapter quartier par quartier les moments de début et de fin d'alerte en fonction de la présence ou non de toxique ? C'est absolument ingérable !

6 / Propositions pour réduire les difficultés liées au confinement.

6.1/ Protection complémentaire par masque.

On doit, on peut notablement limiter ces redoutables difficultés. **Nous proposons que soit mis au point un masque de protection**, léger, souple, semblable à un masque chirurgical, à placer devant nez et bouche. Il contiendrait par exemple du charbon actif, ou autre absorbant de produits chimiques pouvant être rejetés dans l'atmosphère. Il pourrait être scellé, avec ses élastiques de maintien, dans une enveloppe à déchirer juste avant utilisation. Il faudrait qu'il atténue la dose d'au moins un facteur 10.

Certes, des masques performants existent, plus ou moins encombrants et coûteux, à la disposition des professionnels. Mais il est difficile de les imposer à la population. Ils seraient mal supportés psychologiquement et physiquement, inadaptés aux bébés, aux peaux ridées, aux barbus...

Par ailleurs, se protéger les voies respiratoires avec un linge mouillé fait parfois partie des consignes, trop peu souvent certes. Cette protection a une certaine efficacité, même si elle n'est pas absolue. Dans le guide PPRT, elle est conseillée si des « picotements » sont ressentis.

Le masque préconisé ici se situerait entre les deux : une amélioration du linge mouillé. Son usage est simple et ne demande pas une information poussée : dès que l'on ressentirait un gaz agressif au nez ou à la gorge, le réflexe de se protéger par ce masque serait immédiat.

Le phosgène et le chlore, les 2 principaux gaz toxiques de l'usine de Pont de Claix, se détectent à l'odeur. Toutefois le phosgène échappe à l'odorat à une concentration inférieure à environ 1 ppm. En une heure, on peut alors inhaler, sans s'en rendre compte, 60 ppm.min, dose létale à 1%. Ce risque est sournois, car en cas de rejet, la concentration voisine très probablement la ppm quelque part, au dehors ou sous confinement.

Ce masque pourrait permettre d'échapper en grande partie à quasiment toutes les redoutables limites du confinement. Il devrait être largement distribué aux personnes exposées, et tenu à disposition dans les lieux publics. Léger, il pourrait être emporté dans les sacs à main, sacoches et cartables, sacs de sport, voitures, ou même prendre place au fond des poches des joggeurs et autres piétons.

Ce masque devrait être fourni d'abord dans les zones où le confinement sera prescrit ou conseillé. **Il devrait aussi être distribué bien au-delà pour pallier les absences de protection :**

- Là où les risques pour la santé sont reconnus possibles mais réversibles. Le PPRT n'y prescrit aucune protection, et rien n'est donc prévu si notre santé peut subir de sérieux dommages, du moment qu'il est possible d'en guérir, même si c'est à long terme. C'est d'autant plus indispensable que quelle que soit la zone considérée, les doses et les distances à risques sont sous-estimées par vent faible puis nul, et que cette sous-estimation tarde à être reconnue officiellement.

- A proximité des points les plus sensibles des parcours empruntés pour les transports des produits dangereux pouvant se répandre dans l'atmosphère (canalisations, trains, camions), car à notre connaissance aucune protection n'y est prévue si un tel accident se produit.

Nota : La quantité de masques à fournir devrait permettre une production pour quelques dizaines d'euros par pièce. En comparaison, la protection par confinement est coûteuse : 2200 € H.T. prévus pour chacun des 900 logements à confiner à Jarrie, 5000 € H.T. x 350 logements à Marseille, 6600 € H.T. x 150 logements à Roussillon.

6.2/ Protection complémentaire par drap mouillé, par pulvérisation d'eau.

- Du gaz toxique peut s'infiltrer dans la pièce confinée, notamment si le confinement est imparfait ou tardif, si le vent est fort, si le nuage toxique stagne longtemps autour du local... Quand le toxique se trouve dans le local confiné, il y reste d'autant mieux emprisonné que le confinement est plus performant. La plus grande partie de la dose est inhalée après le passage du nuage toxique, dose d'autant plus élevée que la durée sous confinement est plus longue, dans l'attente de la fin d'alerte.

- Par ailleurs, autour de certaines installations à risques, les industriels ont réalisé un système de protection réputé efficace : en cas d'accident avec émission de nuage toxique, un rideau d'eau déferle autour de l'installation. L'eau fait barrage, entraîne, adsorbe ou hydrolyse tout ou partie du gaz toxique, limitant ainsi sa dispersion dans l'atmosphère.

La protection des voies respiratoires par linge mouillé a déjà été évoquée. Son efficacité, sans être absolue, est néanmoins avérée.

Cette réactivité de l'eau sur certains gaz toxiques pourrait ainsi être mise à profit pour améliorer la protection sous confinement :

Le drap mouillé.

Si un drap mouillé est étendu à l'intérieur du local confiné, il offre une grande surface de contact entre gaz toxique et eau. Une partie du toxique peut se combiner à l'eau du drap, y restant piégé ou se transformant en un autre produit moins agressif. La concentration du toxique dans le local confiné peut ainsi être réduite, et la dose inhalée avec elle.

Cette protection additionnelle pourrait être installée quand les personnes ont terminé de se confiner. Elles mouilleraient le drap, et s'aidant d'un escabeau, l'étendraient sur des supports prévus à cet effet, de préférence devant l'ouverture (fenêtre ou porte) située côté usine. Il est possible d'en prévoir sur plusieurs parois. Un point faible : cette protection est peu accessible aux personnes à mobilité réduite.

La pulvérisation d'eau.

Poursuivant le même objectif, plus simple à mettre en œuvre, il est assez probable qu'une pulvérisation d'eau dans le volume confiné et/ou sur ses parois piège ou réduise l'agressivité d'une partie non négligeable du toxique.

Sans oublier la serpillière mouillée placée au bas des portes, sources importantes de fuites.

Nous demandons que ces propositions de protections, peu coûteuses, fassent l'objet d'une expérimentation pour en évaluer l'efficacité. Si leur intérêt était démontré, elles pourraient être intégrées aux consignes.

7/ Conclusion.

7.1/ Rappel des objectifs et de la méthode.

L'objectif était de calculer l'efficacité de la protection contre un nuage toxique en s'abritant dans son logement. S'inspirant du « Guide PPRT » (Réf.1), le logement est modélisé en trois volumes distincts, confinés ou non. A partir des surfaces de fuites supposées connues, on déduit les perméabilités à l'air en conditions standard, les pénétrations de l'air dans les conditions particulières de vent ou de températures, ainsi que l'évolution pendant quatre heures des atténuations des concentrations et des doses de toxiques dans chacun des trois volumes.

Les calculs sont effectués sur feuille Excel. Même s'ils sont relativement simplifiés, ils sont en quelque sorte validés par la cohérence entre les résultats obtenus et ceux du « Guide PPRT ».

7.2/ Recommandations pour améliorer l'efficacité d'un confinement.

■ Respecter les règles rigoureuses en matière de pré-confinement :

- Pour obtenir une atténuation significative des doses, la somme de toutes les surfaces de fuites de la pièce de confinement doit être extrêmement faible, au plus de l'ordre de la dizaine de centimètres carrés, ce qui exige des aménagements adaptés, un « pré-confinement » de qualité.

- Selon les conditions de vent et d'étanchéité de l'ensemble du logement, la protection dans un local confiné peut y être jusqu'à environ dix fois meilleure s'il est « abrité », c'est-à-dire situé du côté opposé à l'usine, plutôt qu'« exposé » côté usine. Le « guide PPRT » avait déjà montré tout l'intérêt de cette recommandation, mais elle est trop peu appliquée. Un local confiné abrité du vent protège d'autant mieux que tout le reste du logement est plus étanche.

■ Informez parfaitement le public pour qu'un pré-confinement même bien réalisé soit bénéfique, car s'y réfugier sans précautions particulières ou sans appliquer les consignes protège peu, à peine de quelques dizaines de % après deux heures sous confinement.

■ Très bien calfeutrer la fenêtre de la pièce confinée : la protection peut ainsi être doublée, voire davantage, à égale perméabilité à l'air. L'idéal : une pièce sans ouverture à l'extérieur.

■ Se confiner très rapidement dès l'alerte, si possible avant l'arrivée du nuage toxique, impérativement avant la fin des trois séquences d'alerte (qui durent plus de cinq minutes) ou de l'éventuelle confirmation par le réseau d'alerte téléphonique.

■ Rester calme pour modérer la respiration, et donc la dose inhalée et la consommation d'oxygène.

■ Sortir au plus vite d'un confinement après l'éloignement du nuage toxique, car la dose inhalée après le passage du nuage est largement prépondérante si le rejet est bref, comme c'est le plus probable. Il faut donc envoyer le signal de fin d'alerte le plus tôt possible. En effet, le confinement ne sert qu'à retarder la dose, qui serait exactement égale à celle reçue à l'extérieur, si on restait enfermé jusqu'à ce que les gaz toxiques soient complètement sortis du local confiné.

Globalement, à condition que les consignes soient appliquées, ce qui nécessite des moyens inédits d'information, et sous réserve des limites évoquées ci-dessous en 7.3, la qualité du confinement qui pourrait être prescrite assurerait une diminution de la dose d'un facteur 3 à 10 environ. Suffisante contre les dangers significatifs pour la vie, hasardeuse contre les dangers graves ou très graves, sauf dans les cas particulièrement favorables (vent modéré, local abrité, fenêtre quasi-étanche, si on sort du confinement bien avant deux heures).

7.3/ Mais l'efficacité du confinement se heurte à de sérieuses limites :

▲ Le confinement n'est pas d'un grand secours pour les personnes qui seraient au dehors loin de chez elles au moment de l'accident. S'abriter à temps chez autrui est peu réaliste.

▲ Quand la vitesse du vent dépasse quelques mètres par seconde, et à fortiori par vent plus fort, compte tenu de la faible distance entre usine et logements pré-confinés, et des délais pour donner l'alerte et se confiner, du gaz toxique a largement le temps d'atteindre le logement et d'y pénétrer avant que la personne s'enferme dans le local confiné... en emprisonnant malencontreusement le toxique avec elle ! Au pire, si le rejet est bref comme c'est le plus probable, et s'il a lieu l'été alors que portes et fenêtres étaient grandes ouvertes, **la dose sous confinement pourrait être facilement 10 fois supérieure à celle qui serait inhalée à l'extérieur sans protection. Le confinement est alors contre-productif, un piège** paradoxalement d'autant plus redoutable qu'il est plus performant !

▲ Par vent faible inférieur à 1 mètre par seconde, prépondérant à Pont-de-Claix, et plus encore lors d'une succession de vent faible puis nul, ce peut être la pire des situations, car elle peut toucher n'importe où dans l'agglomération grenobloise.

- D'abord parce que les écarts de températures provoquent eux aussi des entrées d'air à travers les surfaces de fuites, tout à fait significatives, et pas seulement en hiver.

- Ensuite, parce que le nuage toxique peut d'abord dériver jusqu'à 3, 4 heures ou plus sur l'agglomération grenobloise, avant de stagner sur tel ou tel quartier. Limiter à deux heures la durée sous confinement est alors impossible : quartier par quartier, il faudrait ordonner les moments de début et de fin d'alerte en fonction de la présence ou non de toxique. C'est absolument ingérable !

- Enfin et surtout, même si cela tarde à être reconnu par les pouvoirs publics, parce que les doses et les distances à risques peuvent être décuplées, voire davantage (Réf. 3), comparativement aux calculs considérés officiellement comme les plus défavorables.

Les doses peuvent donc être significatives, voire graves, d'abord à proximité dans la zone de confinement, mais aussi au-delà, **dans tout Grenoble** et les communes voisines.

7.4/ Ces limites redoutables imposent des moyens complémentaires de protection.

Même si l'efficacité du confinement a été constatée lors de rejets toxiques accidentels, elle présente de graves limites. Confiner les logements proches n'est donc judicieux qu'avec des protections complémentaires. Nous proposons que soient mis au point des masques légers absorbants, plus faciles à mettre en œuvre que le confinement, probablement aussi efficaces tout en étant plus sûrs et moins chers. Ils devraient être largement distribués, pour renforcer la protection dans les zones confinées, et pallier son absence là où les risques sont sous-estimés ou occultés. Même imparfaits, ces masques pourraient diminuer significativement les doses. Nous considérons qu'ils sont indispensables.

Nous proposons en outre que soit expérimentée la protection par draps mouillés ou par pulvérisation d'eau à l'intérieur du local de confinement.

Réduire à nouveau les risques à la source serait, de très loin, la meilleure protection, de façon notamment à ne plus devoir s'en remettre au confinement. Les efforts considérables déployés pendant les nombreuses années d'élaboration du PPRT de Pont-de-Claix les ont déjà largement et heureusement réduits. Mais il est nécessaire, après tant d'études et d'investissements de sécurité, d'aller jusqu'au bout de la loi Bachelot et d'assurer une protection fiable des riverains.

Références (documents disponibles sur Internet).

- Réf.1 « **Guide PPRT Complément technique relatif à l'effet toxique (V1.1) ... (Addendum n°1 et Mise à jour de la version 1.0 du 08 juillet 2008).** » 3 oct. 2013 - Certu - CETE de Lyon – Ineris.
- Réf.2 « **Étanchéité à l'air en France : état des lieux, enjeux, et pistes de progrès** »
R. Carrié S. Berthault, S. Charrier, J.P. Grand, R. Jobert, D. Limoges. CETE de Lyon Dijon. 21/11/2007.
- Réf.3 « **PPRT de Pont-de-Claix et mesures ASCOPARG : sous-estimation des risques par vents faibles ?** »
AR2PC. Association des Riverains de la Plateforme Chimique de Pont de Claix. Janvier 2012.

ANNEXE 1

Entrées d'air dans un local dues au vent et aux écarts de températures. Elaboration des formules de base.

1/ Entrées d'air dues au vent

1.1/ Entrées d'air dans un local dues au vent : élaboration des formules de base.

A/ Le débit d'air Q (m^3/s) entrant dans un local à travers une surface de fuite S (m^2) perpendiculaire à la direction du vent de vitesse V (m/s), en négligeant les perturbations dues à l'environnement immédiat, et en supposant que la pression dans le local ne monte pas pour s'y opposer, et donc que l'air entrant s'évacue facilement et en même quantité par d'autres surfaces de fuites, peut s'écrire :

$$\{1a\} \quad Q = S \times V$$

Il est nécessaire qu'il y ait plusieurs surfaces de fuites sur des façades différentes d'un local (par exemple l'une au vent S_1 et l'autre sous le vent S_2) pour que la pression interne n'évolue pas jusqu'à s'opposer à la poursuite de l'entrée d'air.

On peut faire une analogie avec la loi d'Ohm :

- Q correspond à un courant i
- S à une conductance (ou l'inverse d'une résistance R)
- V à une différence de tension.

Résistance équivalente R_e à deux résistances R_1 et R_2 en série : $R_e = R_1 + R_2$

D'où la surface S_e (conductance) équivalente aux surfaces S_1 et S_2 en série : $1/S_e = 1/S_1 + 1/S_2 \rightarrow$

$$\{1b\} \quad S_e = S_1 \times S_2 / (S_1 + S_2)$$

B/ Les débits $Q_1 =$ passant à travers S_1 , $Q_2 =$ à travers S_2 et $Q_e =$ à travers S_e sont nécessairement égaux $\rightarrow Q_1 = Q_2 = Q_e = V_1 \times S_1 = V_2 \times S_2 = V_e \times S_e \rightarrow V_e = V_1 + V_2$

► Si la surface S_2 est très supérieure à S_1 , S_e tend vers S_1 , et V_1 tend vers V_e , vitesse du vent à travers la seule surface S_1 (sans autre résistance derrière qui puisse gêner le débit d'air).

$\rightarrow V_e$ est alors égale à la vitesse du vent extérieur.

► Si $S_1 = S_2$

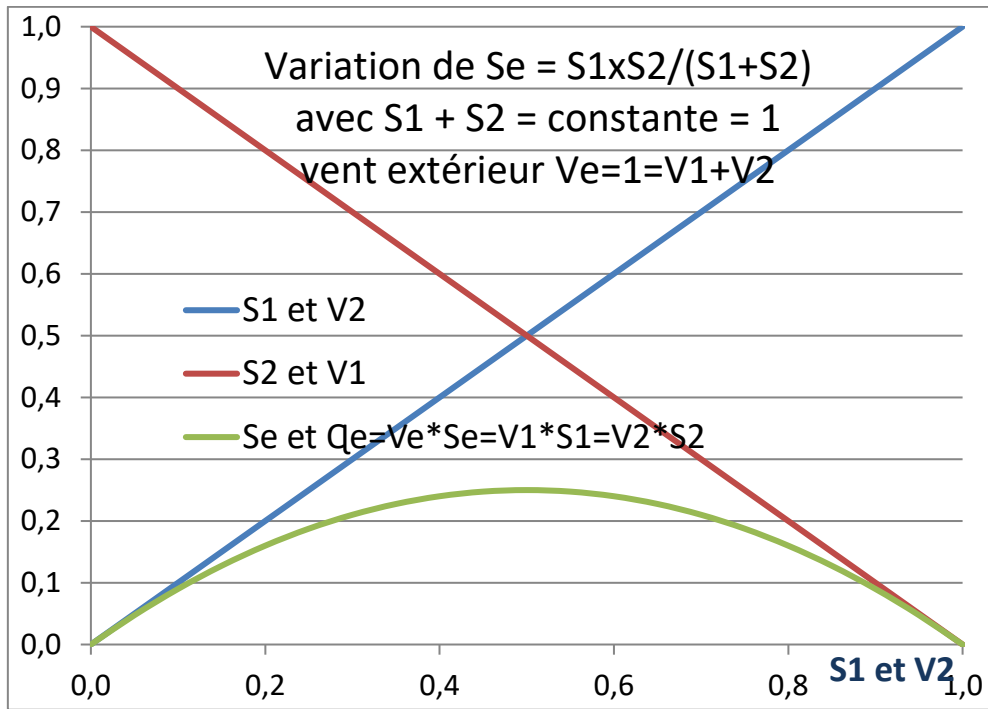
$\rightarrow S_e = (S_1)/2$

$\rightarrow V_1 = V_2$ et $V_e = Q_e / S_e = 2 \times Q_1 / S_1 = 2 \times V_1$

$\rightarrow V_1 = V_e / 2 \rightarrow$ la vitesse du vent à travers la surface d'entrée est divisée par 2

► Si la surface S_1 est très supérieure à S_2 , S_e tend vers S_2 , V_2 tend vers V_e et V_1 tend vers 0.

C/ En normalisant à 1 V_e ainsi que la somme des surfaces de fuites $\Sigma S_f = S_1 + S_2$, on obtient :



► Se est inférieure ou égale au quart de la somme des surfaces de fuites. $Se \leq \frac{(S_1+S_2)^2}{4} = \frac{\Sigma s_f}{4}$
 Se est maximale pour $S_1 = S_2$

► $V_1 = V_e * Se / S_1 = V_e * S_2 / (S_1 + S_2) \rightarrow V_1 = k * S_2$ avec $k=1$, et de même $V_2 = k * S_1$

1.2/ Renouvellement ou Changement d'Air par Heure CAH dans le local dû au vent

Pour l'obtenir, multiplier le débit Q_e par 3600 secondes par heure, puis le diviser par le volume du local.

$$CAH = 3600 \times Q_e / vol_{(m^3)} = 3600 \times Se_{(m^2)} \times V_e / vol_{(m^3)}$$

Il est plus pratique d'exprimer les surfaces en cm^2 plutôt qu'en m^2 , en divisant le résultat par 10000 :

$$\{1c\} \quad CAH_{(vent)} = 0.36 \times Se_{(cm^2)} \times V_e / vol_{(m^3)}$$

On peut aussi l'exprimer en fonction de la somme des surfaces de fuites $\Sigma s_f_{(cm^2)}$ qui peut être connue par la mesure : $\{1d\} \quad CAH_{(vent)} \leq 0.09 \times \Sigma s_f_{(cm^2)} \times V_e_{(m/s)} / vol_{(m^3)}$

Ces deux relations donnent une valeur théorique de CAH. Cependant, il peut y avoir des endroits où le vent se concentre à une vitesse supérieure au vent moyen. Dans ce cas CAH peut être minimisé. On ne peut donc qu'approcher la valeur des débits d'air à partir de la connaissance de la somme des surfaces de fuites et de la vitesse moyenne du vent.

Si la direction de V forme un angle α avec la perpendiculaire à la surface d'entrée, la valeur de V doit être multipliée par $\cos(\alpha)$.

1.3/ Différence de pressions exercée par la vitesse du vent

Les performances du confinement d'un local étant caractérisées par le nombre de renouvellements ou Changements d'Air par Heure (CAH) sous une différence de pressions connue entre intérieur et extérieur, il est nécessaire de relier l'équation {1c} à la pression exercée par le vent sur une paroi.

Le vent qui s'écrase sur une surface exerce une surpression {2} : $\Delta P_{(Pa)} = F/S \text{ (N/m}^2\text{)}$

Travail de la force F : {3} : $W \text{ (J)} = F l$ (Joule) avec l longueur du volume d'air s'écrasant sur la surface S normale à la direction du vent.

Energie cinétique perdue par une masse d'air m à la vitesse V sur une paroi : {4} : $E \text{ (J)} = \frac{1}{2} m V^2$

Densité de l'air {5} : $\rho = 29 \text{ (g/mole)} / 22.4 \text{ (litres/mole)} = 1.293 \sim 1.3 \text{ g/litre ou kg/m}^3 \text{ à } 0 \text{ }^\circ\text{C}.$

Masse d'air {6} : $m = \rho \text{ vol} = \rho S l$

{3} = {4} → {7} : $F l = \frac{1}{2} m V^2$ {6} et {7} → {8} : $F l = \frac{1}{2} \rho S l V^2$ → {9} : $F = \frac{1}{2} \rho S V^2$

{2} et {9} →

$$\{10\} : \Delta P_{\text{(vent, Pa)}} = \frac{1}{2} \rho V^2$$

1.4/ Test de perméabilité à l'air et surfaces de fuites

Lors d'une mesure de la performance d'un confinement par dépression ou surpression interne, toutes les surfaces de fuites laissent passer l'air entre extérieur et intérieur. D'où :

{11} : $CAH \text{ (test par surpression interne)} = 0.36 \times \Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} V / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}}$

{10} → {12} : $V = (2\Delta P_{\text{(vent, Pa)}} / \rho)^{1/2}$ {11} et {12} →

{13} : $CAH \text{ (test par surpression interne)} = 0.36 \times \Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} (2\Delta P_{\text{(interne, Pa)}} / \rho)^{1/2} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}}$

Pour $\Delta P=10$ ou 50 Pa , on obtient :

$$\begin{aligned} \{14\} : CAH_{(10)} &= n_{10} = 1.4 \times \Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}} \\ CAH_{(50)} &= n_{50} = 3.2 \times \Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}} \end{aligned}$$

La mesure de $CAH_{(10)}$ ou de $CAH_{(50)}$ permet de connaître la somme des surfaces de fuites Σsf , hormis éventuellement les fuites par l'ouverture (porte ou fenêtre) remplacée par l'appareil de mesures.

Pour que $CAH_{(10)} \leq 0.5 \text{ vol/h}$ dans une pièce confinée comme l'avait d'abord recommandé le CETE de Lyon pour réaliser un bon confinement, il faut que $\Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}} \leq 0.5/1.4 = 0.35$

Pour une pièce moyenne dont le volume est de 30 m^3 par exemple, la somme des surfaces de fuites ne doit pas dépasser $30 \times 0.35 = 10.5 \text{ cm}^2$ pour réaliser la performance de 0.5 vol/h au maximum sous une différence de pression de 10 Pa . Cette valeur est très contraignante : un espace infime de 0.1 mm sur le pourtour d'une fenêtre ou d'une porte représente déjà environ 6 cm^2 de fuite !

Dans un local confiné où $CAH_{(10)} = 0.5$ (local avec $\Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}} = 0.35$), la relation {1d} donne :

$CAH \leq 0.03$ par vent de 1 m/s ;

$CAH \leq 0.1$ par vent de 3 m/s ;

$CAH \leq 0.3$ par vent de 10 m/s .

1.5/ Relations mathématiques entre les surfaces dans le cas d'un logement réel

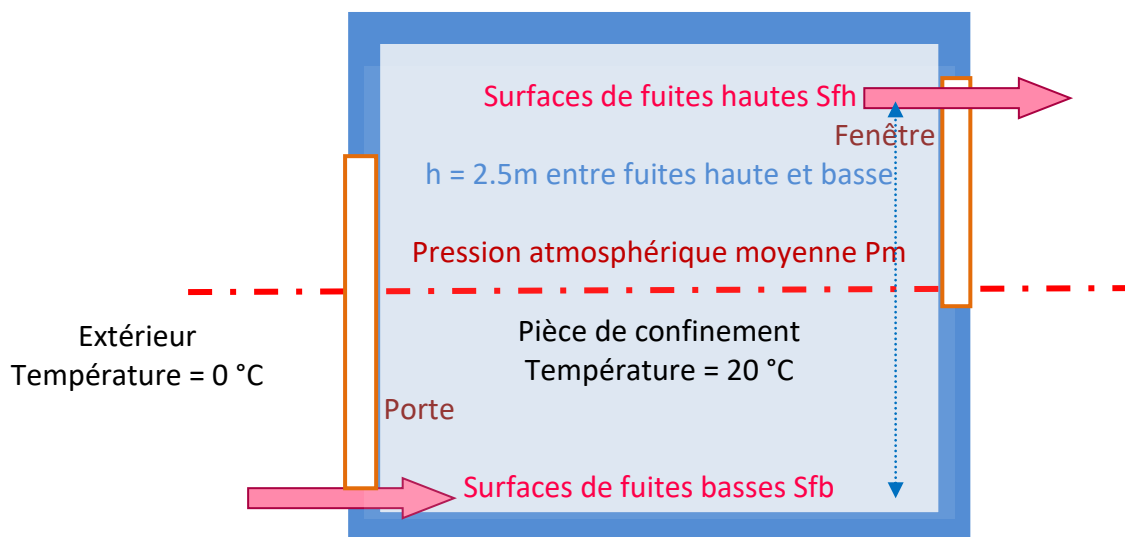
Les relations établies ci-dessus concernent une pièce unique, non intégrée dans un logement. Dans le cas réel d'un logement où il y a plusieurs pièces, même réduites à trois volumes communicants entre eux selon le modèle décrit en 3/1, les relations sont plus complexes. La perméabilité à l'air standard et la pénétration du vent dépendent de toutes les surfaces de fuites, selon des combinaisons série - parallèle propres à la perméabilité à l'air, à la pénétration de l'air et à chaque volume.

Pour calculer par exemple la perméabilité de la pièce abritée à partir de la relation {14} $n_{50} = 3.2 \times \Sigma sf_{\text{(cm}^2\text{)}} / \text{vol}_{\text{(m}^3\text{)}}$, Σsf ne doit pas être compris comme $sia + sae$, car sia n'est pas ouverte sur l'extérieur. sia doit en effet être remplacée par une surface fictive dans laquelle sia est en série avec une combinaison de toutes les autres surfaces (sauf sae) dont certaines sont en parallèle et d'autres en série.

2/ Entrées d'air dues aux écarts de températures.

2.1/ Différences de pressions dues à l'écart de températures entre intérieur et extérieur.

T = température (°C) ρ = densité de l'air (kg/m³) P = pression atmosphérique moyenne (Pm)
h = hauteur sous plafond (m) de la pièce d'habitation (2.5 m. en moyenne), ou plus exactement la différence de hauteur entre surfaces de fuites hautes et basses.



Soient deux colonnes d'air de hauteur h et de S (m²) de surface au sol, l'une interne dans la pièce d'habitation, à 20 °C, l'autre à l'extérieur au même niveau, à 0 °C.

Densité de l'air en fonction de la température (à pression atmosphérique et humidité normales) :

$$\rho_0 = 1.293 \text{ kg/m}^3 \text{ à } 0^\circ\text{C} \text{ et } \rho_{20} = 1.204 \text{ à } 20^\circ\text{C}.$$

Différences de poids entre les deux colonnes d'air de 2.5 m de hauteur et de même surface S au sol :

$$= (\rho_0 - \rho_{20}) \times S \times h = (1.293 - 1.204) \times S \times 2.5 = 0.222 \times S \text{ (kg)}$$

➔ Différences de pression = $0.222 \times 9.81 \text{ S/S} = 2.18 \text{ Pa}$ (pour h=2.5m et 20°C d'écart de température)

Si les surfaces de fuites hautes et basses sont égales, il règne à mi-hauteur à l'intérieur de la pièce la même pression moyenne Pm qu'à l'extérieur à la même hauteur. L'air entre au niveau de la fuite basse (bas de porte), la pression extérieure étant supérieure à la pression intérieure, et sort au niveau de la fuite haute (bouche d'aération en haut de la fenêtre), la pression extérieure étant inférieure à la pression intérieure :

Si h=2.5 m, avec 20°C d'écart ext-int	Hauteur/moyenne	Pression extérieure	Pression intérieure	P ext – P int
Fuite haute	+0.5 x 2.5	Pm - 1.293x1.25x9.81	Pm - 1.204x1.25x9.81	- 1.09 Pa
Mi-hauteur	0	Pm	Pm	0
Fuite basse	-0.5 x 2.5	Pm + 1.293x1.25x9.81	Pm + 1.204x1.25x9.81	+1.09 Pa

On déduit, par mètre de hauteur entre surfaces de fuites et par degré C d'écart de température :

$$P \text{ ext} - P \text{ int} = \Delta P_{\text{(effective (Pa))}} = 1.09 / 2.5 \times 20 = 0.0218 \text{ Pa } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ et m}^{-1} \rightarrow$$

$$\{15\} \quad \Delta P_{\text{(effective (Pa))}} = 0.0218 \text{ h } \Delta T_{\text{(int.-ext.)}}$$

Si les fuites sont toutes à la même hauteur, h est presque nulle, la circulation d'air est amoindrie, voire quasi-nulle. La hauteur à laquelle les pressions interne et externe s'égalisent dépend de la répartition verticale des fuites. Si par exemple la surface de fuite basse est beaucoup plus importante que celle du haut, l'écart de pression en bas est très faible et celui du haut peut aller jusqu'au double de la valeur ci-dessus.

2.2/ Débit d'air provenant des écarts de températures.

■ Dans une pièce unique dont toutes les surfaces de fuites sont directement exposées à l'extérieur, et en supposant qu'il n'y a que des fuites en haut et en bas, le débit d'air dû à ΔT (écart températures) entrant par exemple par les surfaces basses est nécessairement égal à celui sortant par les surfaces hautes.

Si on suppose de plus que les surfaces de fuites se répartissent à égalité en haut et en bas, le débit est maximal à égalité de la somme des surfaces de fuites. Il donne alors une valeur conservative de la pénétration de l'air due aux écarts de températures.

Pour déduire le nombre de changements d'air par heure CAH, il suffit d'introduire {15} dans {13}, à condition de diviser CAH par 2.

Pourquoi cette division par 2 ? Dans {13}, lors d'une mesure d'infiltrométrie par surpression interne, la différence de pressions interne-externe engendre un débit sortant à travers Sfb égal au débit sortant à travers Sfh, ces deux débits sortants étant compensés par la soufflerie. Par contre, la même différence de pression due aux écarts de températures n'engendre qu'un seul débit sortant à travers Sfh, compensé par le débit entrant à travers Sfb. D'où cette division par 2 :

$$CAH \text{ (écart températures)} \leq^{(1)} 0.5 \times 0.36 \times \sum sf \times (2 \times 0.0218 \text{ h } \Delta T / \rho)^{1/2} / Vol \text{ (m}^3\text{)}$$

$$\rightarrow \{16\} \quad CAH \text{ (écart températures)} \leq^{(1)} 0.033 \sum sf \text{ (cm}^2\text{)} (h \text{ (m)} \Delta T \text{ (int.-ext.) (}^\circ\text{C)})^{1/2} / Vol \text{ (m}^3\text{)}$$

(1) Cette valeur est un maximum, car en réalité les surfaces de fuites d'entrée et de sortie ne sont pas également et uniquement réparties tout en haut et tout en bas.

D'après {16}, sachant (voir en 1.2) que $CAH = 3600 Q \text{ (m}^3\text{/s)} / Vol$, le débit d'air $Q \text{ (m}^3\text{/s)}$ devient :

$$\{17\} \quad Q \text{ (m}^3\text{/s)} \leq (0.033/3600) \sum sf \text{ (cm}^2\text{)} (h \text{ (m)} \Delta T \text{ (int.-ext.) (}^\circ\text{C)})^{1/2}$$

■ Dans le logement modélisé en trois volumes, dès qu'il y a un écart de températures de part et d'autre d'une paroi, que ce soit une paroi extérieure ou intérieure, il y a une circulation d'air à travers les surfaces de fuites de cette paroi donnée par l'équation {17}, dans laquelle $\sum sf$ est la somme des surfaces de fuites dans la paroi et ΔT l'écart de températures de part et d'autre de la paroi.

ANNEXE 2

(tableau synthétique réalisé à partir de divers documents du Certu, de l'Ineris et du CETE de Lyon)

Définition des "aléas" dans les PPRT : TF+, TF, F+, F, M+, M, Fai. (Aléa = intensité x probabilité) et quelques prescriptions sur l'habitat ou sur les locaux d'activités						
Classes de probabilité ▼	Probabilité ▼	Niveau d'intensité ►	Danger très grave pour la vie humaine >/= 5% de décès	Danger grave pour la vie humaine 1% à 5% de décès	Danger significatif pour la vie Effets irréversibles sur la santé </= 1% de décès >SEI 2h ⁽²⁾	Indirect Par bris de vitres
	« Événement courant » : s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation, malgré d'éventuelles mesures correctives		TF+ Très fort plus	F+ Fort plus	M+ Moyen plus	Fai Faible
B	Une chance sur 100 par an		<u>Expropriation</u> proposée avec Indemnisation	<u>Droit de délaissement</u> *	<u>Confinement</u> obligé pour locaux d'activité, recommandé pour habitations	<u>Confine</u> ment :
	« Événement probable » : s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation		<u>Confinement obligatoire</u> si expropriation refusée	* Le droit de délaissement = ■ Si le propriétaire le demande à la Mairie, et si celle-ci a voté le droit de délaissement (en a-t-elle les moyens ?), la Mairie doit racheter le logement dans les 2 ans. ■ à défaut de délaissement : Confinement obligatoire	Constructions limitées Ni Etablissements Recevant du Public (ERP) ni immeubles neufs	le PPRT précise les recommandations
C	Une chance sur 1000 par an		Pas de constructions neuves			
	« Événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais à fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.					
D	Une chance sur 10.000 par an					
	« Événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais à fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.		TF Très fort comme TF+ (selon contexte local) + <u>Droit de délaissement</u> *	F Fort	M Moyen	
5E	5 chances sur 100.000 par an			<u>Confinement obligatoire</u>	<u>Confinement</u> obligé pour locaux d'activité, recommandé pour habitations	
	« Événement très improbable » : s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais à fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.		F+ Fort plus comme F+	M+ Moyen plus comme M+	Fai Faible	<u>Confinement</u> : le PPRT précise les recommandations
E	1 chance sur 100.000 par an					
	« Événement possible mais extrêmement peu probable » : n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations		Les risques à probabilité inférieure à une chance sur 100.000 par an ne sont pas pris en compte, à condition que cette probabilité repose sur des moyens passifs ou sur 2 mesures techniques.			

Nota 1 : Vulnérabilité = nombre de personnes touchées. Risque = vulnérabilité x intensité x probabilité : (risque désastreux, catastrophique, important, sérieux ou modéré)

Nota 2 : SEI 2h = seuil des effets irréversibles pour la santé pour 2h d'exposition ; SEL = seuil des effets létaux (1% de décès) ; SELS = seuil des effets létaux significatifs (5% de décès).