

Éléments pour mettre en œuvre une  
stratégie de  
« confinement »  
en cas de pollution atmosphérique  
accidentelle

2008



CERTU  
Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme, et les constructions  
publiques  
9 rue Juliette Récamier  
69456 LYON

Téléphone : 04 72 74 59 09  
Télécopie : 04 72 74 59 50  
Responsables de l'étude : Jacques Salager

# Éléments pour mettre en œuvre une stratégie de « confinement » en cas de pollution atmosphérique accidentelle

2008

CETE de Lyon  
46 Rue St Théobald, BP 128  
38081 L'ISLE d'ABEAU cedex  
Département Villes et Territoires, Groupe Habitat Urbanisme Construction,  
Domaine Construction

Pilote de l'étude : Gaëlle Guyot  
Ont participé à l'étude : Rémi Carrié, Daniel Limoges, Roger Goyet

ISRN EQ-CT69-DVT/RE- - 08 – 37 - - FR

<b>Organisme commanditaire :</b>			
<b>Titre : Eléments pour mettre en oeuvre une stratégie de « confinement » en cas de pollution atmosphérique accidentelle</b>			
<b>Sous-titre :</b>		<b>Date d'achèvement :</b> mars 2008	<b>Langue :</b> français
<b>Organisme auteur :</b> Centre d'Etudes techniques de l'Equipement de Lyon (Cete de Lyon)		<b>Rédacteurs ou coordonnateurs :</b> Gaëlle Guyot (rédacteur) Jacques Salager (coordination)	<b>Relecteur assurance qualité :</b>
<p><b>Résumé</b></p> <p>Le confinement est reconnu comme un moyen efficace de protection des populations lors d'une pollution atmosphérique accidentelle toxique. Réfugiées dans un local peu perméable à l'air, les personnes peuvent ainsi attendre, dans l'atmosphère respirable du local, la fin du passage du nuage toxique ou une évacuation sécurisée par les services de secours.</p> <p>Comment mesurer l'étanchéité du bâtiment dans son ensemble et celle du local en particulier ? Comment évaluer le niveau de protection assuré par un local ? Quelle étanchéité donner à un local pour assurer un niveau de protection prédéfini ? Quel comportement doit être adopté en cas de pollution afin d'optimiser la qualité du confinement ?</p> <p>Le Cete de Lyon dispose d'une longue expérience en la matière. Sa compétence est largement reconnue. Le Cete de Lyon également a développé un outil de modélisation qui permet d'estimer l'étanchéité requise pour préserver les personnes d'un risque prédéfini.</p> <p>Ce document présente dans une première partie les éléments techniques de base avant de proposer une démarche en 5 étapes pour mettre en oeuvre une stratégie de confinement. L'outil de modélisation développé par le cete de Lyon et son utilisation sont également présentés.</p> <p>La dernière partie présente 8 fiches de cas traités par le Cete de Lyon entre 1989 et 2002</p>			
<p><b>Remarques complémentaires éventuelles :</b></p> <p>Ce rapport d'étude a été élaboré par Gaëlle Guyot, chargée d'étude au Cete le Lyon, dans le cadre de son activité au sein du groupe Habitat Urbanisme Construction (HUC) sous la direction de Rémi Carrié, chef de groupe et spécialiste.</p> <p>La coordination rédactionnelle a été assurée par Jacques Salager, chargé d'étude Risques du département Environnement au Certu</p>			
<b>Thème et sous-thème :</b> Ville et Environnement / Risques naturels et technologiques			
<b>Ouvrages sur le même thème (pour le nouveau catalogue du site, maximum 3 ouvrages, titres et sous-titres exacts) :</b>			
<b>Mots clés :</b> risque industriel, matières dangereuses		<b>Diffusion :</b> téléchargement gratuit sur site du certu	<b>Web :</b> oui non
<b>Nombre de pages :</b> 88	<b>Tirage :</b>	<b>Confidentialité :</b> non	<b>Bibliographie :</b> oui



# Sommaire

<b><u>PREFACE.....</u></b>	<b><u>5</u></b>
<b><u>INTRODUCTION.....</u></b>	<b><u>7</u></b>
<b><u>PARTIE 1 : ÉLÉMENTS TECHNIQUES PREALABLES.....</u></b>	<b><u>9</u></b>
<b>1 DEFINITIONS DU CONFINEMENT</b>	<b>10</b>
1.1 QUATRE NIVEAUX USUELS DU CONFINEMENT.....	10
1.2 DEFINITIONS RETENUES EN FRANCE.....	10
1.3 EFFETS SECONDAIRES DU CONFINEMENT, DIMENSIONS DU LOCAL ET DUREE DU CONFINEMENT .....	11
<b>2 SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE INTERNATIONALE : LE CONFINEMENT RETENU COMME LE MOYEN DE PROTECTION DES POPULATIONS VIS A VIS DU RISQUE TOXIQUE</b>	<b>13</b>
<b>3 LE RISQUE TOXIQUE : DOSE ET SEUILS DE TOXICITE</b>	<b>14</b>
<b>4 L'ÉTANCHEITE A L'AIR</b>	<b>16</b>
4.1 DEFINITION ET ENJEUX.....	16
4.2 MESURE .....	16
4.3 INDICATEURS .....	17
4.4 PERFORMANCES CONSTATEES .....	18
4.5 DEFAUTS COURANTS D'ÉTANCHEITE A L'AIR .....	22
<b><u>PARTIE 2 : CINQ ETAPES POUR METTRE EN ŒUVRE UNE STRATEGIE DE CONFINEMENT .....</u></b>	<b><u>25</u></b>
<b>5 ÉTAPE 1 : RECUEILLIR LES DONNEES</b>	<b>26</b>
5.1 CONTEXTE GENERAL : DIFFERENTES SITUATIONS POSSIBLES.....	26
5.2 ÉVALUER L'OPPORTUNITE ET LA FAISABILITE DU CONFINEMENT EN LIEN AVEC LA DUREE DU CONFINEMENT.....	26
5.3 IDENTIFIER L'ALEA TECHNOLOGIQUE.....	27
5.4 LES PERSONNES A PROTEGER.....	27
<b>6 ÉTAPE 2 : REALISER UN DIAGNOSTIC DE VULNERABILITE - MEMENTO POUR LE CHOIX D'UN LOCAL DE CONFINEMENT</b>	<b>28</b>
6.1 TROIS POINTS ESSENTIELS A VERIFIER .....	28
6.2 ÉVALUER GLOBALEMENT L'ÉTANCHEITE A L'AIR DES DIFFERENTES PIECES.....	31
6.3 ÉVALUER GLOBALEMENT LE ROLE PROTECTEUR DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT .....	32
6.4 AUTRES EQUIPEMENTS ET AMENAGEMENTS .....	33
6.5 BILAN : TABLEAU TYPE DE DIAGNOSTIC .....	33
<b>7 ÉTAPE 3 : REDUIRE LA VULNERABILITE - ATTEINDRE UNE VALEUR CIBLE D'ÉTANCHEITE A L'AIR POUR LE LOCAL DE CONFINEMENT</b>	<b>35</b>
7.1 CALCULER LA VALEUR CIBLE D'ÉTANCHEITE A L'AIR DU LOCAL .....	35
7.2 UN PLUS : MESURER L'ÉTANCHEITE A L'AIR AVANT TRAVAUX ET LOCALISER LES POINTS CRITIQUES .....	36
7.3 METTRE EN PLACE UN PLAN QUALITE.....	36
7.4 REALISER LES TRAVAUX NECESSAIRES AU RESPECT DE L'OBJECTIF DE PERFORMANCE D'ÉTANCHEITE A L'AIR.....	37

7.5	MESURER L'ÉTANCHEITE DU LOCAL A RECEPTION DES TRAVAUX .....	39
<b>8</b>	<b>ÉTAPE 4 : AUTRES TRAVAUX A REALISER POUR REDUIRE LA VULNERABILITE DU</b>	
	<b>BATIMENT</b>	<b>39</b>
8.1	TRAVAUX CONCERNANT LES 3 PREMIERS POINTS ESSENTIELS.....	39
8.2	TRAVAUX POUR GARANTIR LE ROLE PROTECTEUR DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT .....	40
8.3	AUTRES TRAVAUX D'AMENAGEMENT A PREVOIR .....	41
<b>9</b>	<b>ÉTAPE 5 : PREVOIR LES REGLES COMPORTEMENTALES EN CAS DE CRISE</b>	<b>41</b>
9.1	LES GESTES ESSENTIELS POUR ANNULER EFFECTIVEMENT LES DEBITS D'AIR VOLONTAIRES	41
9.2	INFORMATION DES PERSONNES : LE PLAN DE CONFINEMENT ET LA SIGNALISATION .....	41
9.3	MATERIEL ET EQUIPEMENTS A PREVOIR DANS LE LOCAL DE CONFINEMENT .....	42
9.4	SAVOIR GERER LA CRISE : ROLE DE LA FICHE DE CONSIGNES.....	42
9.5	L'EXERCICE ANNUEL D'ALERTE .....	44
9.6	MAINTENANCE DU LOCAL DE CONFINEMENT.....	44

**PARTIE 3 : CALCULER L'EXIGENCE D'ÉTANCHEITE A L'AIR D'UN LOCAL CONFINÉ. L'OUTIL CONFINÉ DU CETE DE LYON. .... 47**

<b>10</b>	<b>CONTENU DE L'OUTIL CONFINÉ</b>	<b>48</b>
10.1	DESTINATION DE L'OUTIL.....	48
10.2	PRINCIPE DU MODELE AÉRAULIQUE.....	48
10.3	REPRESENTATION GEOMETRIQUE .....	50
10.4	HYPOTHESES DU MODELE AÉRAULIQUE .....	50
10.5	SYSTEME MATHÉMATIQUE A RESOUDRE.....	52
10.6	EXEMPLES DE SORTIES DE CONFINÉ .....	53
<b>11</b>	<b>APPLICATIONS DE L'OUTIL CONFINÉ : QUELQUES ENSEIGNEMENTS</b>	<b>55</b>
11.1	MISE EN EVIDENCE DE L'INFLUENCE DE L'ÉTANCHEITE A L'AIR DU LOCAL DE CONFINEMENT .....	55
11.2	MISE EN EVIDENCE DE L'EXPOSITION DU LOCAL PAR RAPPORT AU SITE INDUSTRIEL .....	56
11.3	MISE EN EVIDENCE DE L'INFLUENCE DE LA VITESSE DU VENT .....	58

**PARTIE 4 : HUIT FICHES DE CAS..... 61**

<b>12</b>	<b>OPERATION « JEAN MOULIN »</b>	<b>62</b>
<b>13</b>	<b>OPERATION « ÉCOLE V. PIGNAT »</b>	<b>64</b>
<b>14</b>	<b>IMMEUBLE « LE RUCHON »</b>	<b>67</b>
<b>15</b>	<b>OPERATION « LYCEE DE L'EDIT »</b>	<b>70</b>
<b>16</b>	<b>COMPLEXE NAUTIQUE</b>	<b>72</b>
<b>17</b>	<b>GROUPE RAFFIN CABOISSE</b>	<b>75</b>
<b>18</b>	<b>COLLEGE « LE MOUCHEROTTE »</b>	<b>78</b>
<b>19</b>	<b>ÉCOLE « JOLIOT CURIE »</b>	<b>80</b>

**REFERENCES..... 85**

**GLOSSAIRE..... 87**

# Préface

Nous utilisons tous les jours des produits issus de substances chimiques parfois très toxiques. Leur production est très contrôlée, notamment afin de limiter le risque de pollution atmosphérique accidentelle qui pourrait s'avérer catastrophique pour les personnes résidant à proximité des sites. En complément de la réduction du risque à la source, la politique de gestion des risques en France s'articule autour de la maîtrise de l'urbanisation, l'organisation des secours et l'information du public. Ainsi, la loi relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages du 30 juillet 2003 introduit les Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) dont l'objectif est de limiter l'exposition de la population aux conséquences d'un accident.

En matière de risque toxique, une stratégie efficace consiste à rassembler les personnes exposées dans une pièce « confinée » vis-à-vis de l'extérieur. Le « confinement » limite la pénétration des agents toxiques et maintient donc une atmosphère respirable dans l'abri. Des expérimentations ont été conduites sur ce sujet depuis plus de quinze ans en France, principalement par le CETE de Lyon au sein du ministère.

Le CERTU a voulu capitaliser cette expérience à travers ce rapport rassemblant à la fois les éléments théoriques et pratiques fondamentaux pour mettre en œuvre une stratégie de confinement. Illustré par 8 exemples concrets, cet ouvrage propose un cadre pour cette technique amenée à se développer dans les prochaines années sous l'impulsion des PPRT.

François Rémi Carrié  
*Responsable du pôle Construction, CETE de Lyon*



# Introduction

Lors d'une pollution atmosphérique majeure accidentelle autour de sites Seveso ou de toute autre origine, les pouvoirs publics ont la responsabilité d'organiser la gestion de la crise. Ils ont en particulier le devoir d'informer les personnes exposées dans le périmètre du plan particulier d'intervention (PPI) afin qu'elles puissent se protéger de la pollution.

Le confinement est reconnu comme un moyen efficace pour protéger ces personnes durant le temps de la pollution ou jusqu'à l'arrivée des secours.

En France, on nomme par convenance « **confinement** », le « **confinement passif** » qui consiste à regrouper les personnes d'un bâtiment dans une pièce « étanche », ou « peu perméable », à l'air après avoir éteint les systèmes de ventilation, de climatisation et de chauffage.

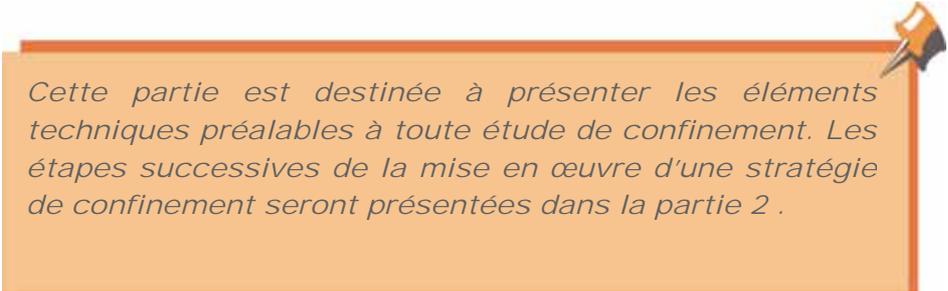
Cette pièce, définie préalablement comme « local de confinement », est rendue la plus étanche à l'air possible par des dispositions constructives structurelles et par des mesures non structurelles mises en oeuvre par les occupants pendant la crise.

Ceci met en évidence l'existence d'une complémentarité essentielle, qui doit être nécessairement assurée sur le terrain pour protéger efficacement les personnes des effets toxiques, entre :

- ✓ **Des dispositions constructives structurelles** qui réduisent la vulnérabilité permanente du bâtiment, notamment par la création d'un local très étanche à l'air et l'installation d'arrêt « coup de poing » de la ventilation. Ces dispositions peuvent être imposées par des PPRT, ou sur l'initiative d'autres acteurs comme les élus locaux, les maîtres d'ouvrages ou les chefs d'établissement ;
- ✓ **Des règles comportementales** du confinement, notamment les dispositions du confinement non structurel (colmatage) mais aussi d'autres gestes essentiels (par exemple, la coupure de la ventilation). Ces règles comportementales viennent garantir que les locaux de confinement seront correctement utilisés et que la procédure de confinement sera efficacement mise en oeuvre. Elles peuvent être formalisées dans une fiche de consignes, qui doit être rédigée en cohérence avec les plans de secours (PCS, PPMS, PPI) et leurs acteurs.



# Partie 1 : Éléments techniques préalables



*Cette partie est destinée à présenter les éléments techniques préalables à toute étude de confinement. Les étapes successives de la mise en œuvre d'une stratégie de confinement seront présentées dans la partie 2 .*

# 1 Définitions du confinement

## 1.1 Quatre niveaux usuels du confinement

La définition du confinement, dont le terme anglophone équivalent est « sheltering in place » (SIP), est consensuellement retenue comme le fait de se réfugier dans un bâtiment après avoir fermé les fenêtres, portes et orifices volontaires, et éteint les systèmes de chauffage, de ventilation, et de climatisation (CVC), tout cela de préférence avant que le nuage toxique n'arrive.

Dans la littérature américaine, on trouve très souvent les définitions de 4 niveaux de confinement, le confinement pouvant concerner soit un bâtiment dans son ensemble, soit une pièce particulière.

« **Normal sheltering** » que l'on peut traduire par le terme français « **confinement passif simple** » : simplement se réfugier à l'intérieur d'un bâtiment avec fenêtres et portes fermées, systèmes CVC éteints.

« **Expedient sheltering** » ou « **confinement passif non structurel** » : en cas d'alerte, des mesures supplémentaires simples et rapides sont mises en oeuvre comme le colmatage des portes et orifices, le placement d'un film plastique sur les fenêtres, d'une serviette humide en dessous de chaque porte.

« **Enhanced sheltering** » ou « **confinement passif structurel** » : mise en place de mesures permanentes comme une amélioration de l'étanchéité à l'air du local, voire du bâtiment.

« **Pressurized sheltering** » ou « **confinement actif** » : Cette technique consiste à pressuriser des bâtiments ou des pièces assorties de filtres à air. Le local est maintenu en légère surpression (quelques pascals) par insufflation d'air traité. Le dispositif est très onéreux, ne traite généralement qu'un seul gaz polluant, est dépendant de la fourniture d'électricité, et demande un suivi régulier des équipements traitant l'air.

## 1.2 Définitions retenues en France

Comme évoqué dans l'introduction, en France, on nomme par convenance « **confinement** », le « **confinement passif** » qui consiste à mettre à l'abri les personnes d'un bâtiment dans une pièce « étanche » à l'air, après avoir éteint les systèmes de ventilation, de climatisation et de chauffage.

Cette pièce, définie préalablement comme « local de confinement », est rendue la plus étanche à l'air possible par :



Attention à bien distinguer la procédure de « confinement » de celle simplifiée de « mise à l'abri ».



Le rapport ne traite que du confinement passif, nommé par convenance « confinement ».

- ✓ Des dispositions constructives **structurelles** ;
- ✓ Le « colmatage » des entrées et sorties d'air volontaires, qui constituent des mesures **non structurelles**, réalisé par les occupants pendant la crise.

Le local de confinement ne comporte aucun organe de traitement. Les limites de ce type de confinement sont :

- La pénétration du gaz polluant dans le local ; la teneur doit rester inférieure à un seuil, couramment pris égal au seuil des effets irréversibles (S.E.I.) pour le gaz toxique et pour la durée de confinement considérés ;
- Le maintien de teneurs en oxygène et en dioxyde de carbone garantissant un air respirable ;
- L'augmentation de température en fonction du nombre de personnes à protéger.

Ce type de confinement est peu onéreux, ne dépend pas de l'électricité, n'a pas besoin de suivi régulier.

Pour protéger les personnes d'autres effets (thermique, surpression, voire sismique, etc...), on peut créer ou identifier un espace refuge. On parle alors de « **mise à l'abri** ». Contrairement à la procédure de confinement, la procédure de mise à l'abri n'implique pas automatiquement une minimisation des débits d'air échangés avec l'extérieur.

### 1.3 Effets secondaires du confinement, dimensions du local et durée du confinement

Durant le temps de confinement, les effets secondaires comme l'augmentation de la température intérieure et de la concentration en CO<sub>2</sub> ou encore la raréfaction de l'oxygène ne posent pas de problème dans la mesure où :

- ✓ le local est bien dimensionné pour le nombre de personnes qu'il doit abriter : la surface (hors meubles) à prévoir par personne est au minimum de 1 m<sup>2</sup>, il est recommandé de prévoir 1.5 m<sup>2</sup> par personne. Le volume (hors meubles) à prévoir est au minimum de 2.5 m<sup>3</sup> par personne, il est recommandé de prévoir 3.6 m<sup>3</sup>.
- ✓ les personnes confinées n'ont pas une activité physique importante ;
- ✓ le chauffage peut être éteint ou régulé pendant la crise ;
- ✓ le confinement ne dure pas au-delà de quelques heures.

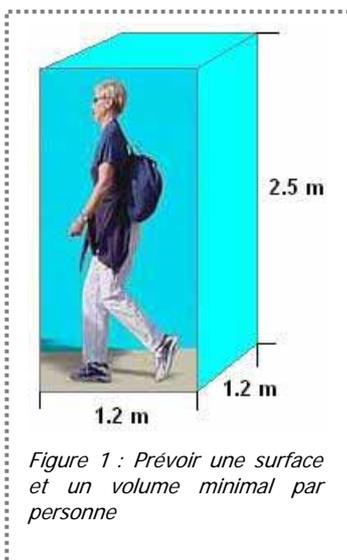


Figure 1 : Prévoir une surface et un volume minimal par personne

Des études scientifiques réalisées aux États-Unis (Rogers et al., 1990 [26] ; Jetter and Whitfield, 2005, [16] ) ont montré que cette durée maximale se situait autour de **3 heures**.

Il existe aujourd'hui un certain consensus sur une durée de confinement de **2 heures** (PPRT, [20] ). Sachant que cette durée est souvent suffisante pour organiser l'évacuation des personnes, et que les scénarios pénalisants de fuites de gaz toxique durent rarement plus d'une heure.

La surface minimale de 1m<sup>2</sup> a été proposée et testée par Rogers et al. (1990) et Jetter and Whitfield (2005). Cette surface correspond au maintien d'un certain confort pour des personnes qui peuvent rester confinées pendant quelques heures. Ceci permet d'éviter le stress et le sentiment de claustrophobie.

Le volume minimal de 2.5 m<sup>3</sup> par personne correspond à l'objectif du maintien d'une atmosphère respirable dans le local pendant la durée du confinement. Au-delà de la limitation de la concentration du gaz toxique, les teneurs en oxygène et en dioxyde de carbone doivent également rester dans des plages admissibles :

- ✓ La teneur en oxygène doit rester supérieure à 18% <sup>(1)</sup>, seuil en dessous duquel des effets irréversibles apparaissent ;
- ✓ La teneur en CO<sub>2</sub> doit rester inférieure à 5% <sup>(1)</sup>, seuil au-dessus duquel des effets irréversibles apparaissent ;

En moyenne l'air extérieur contient environ 21% d'oxygène et 0.035% de CO<sub>2</sub>([21] ).

En « activité légère en mouvement » (déplacement dans une pièce), une personne consomme 30 litres d'oxygène et rejette 24 litres de CO<sub>2</sub> par heure ([30] ). Cette personne pourra donc séjourner **2.5 heures**  $((21\% - 18\%) * 2500 / 30 = 2.5 \text{ h})$  dans ce volume de 2.5 m<sup>3</sup> avant d'atteindre 18% d'oxygène, limite à partir de laquelle les effets irréversibles peuvent intervenir. Quant au gaz carbonique, les premiers troubles interviendraient au bout de **5 heures** environ  $((5\% - 0.035\%) * 2500 / 24 \approx 5 \text{ h})$ .

En « activité très légère assise » (écriture), une personne consomme 21.6 litres d'oxygène et rejette 17.28 litres de CO<sub>2</sub> par heure([30] ). Cette personne pourra donc séjourner environ **3.5 heures**  $((21\% - 18\%) * 2500 / 21.6 \approx 3.5 \text{ h})$  dans ce volume de 2.5 m<sup>3</sup> avant d'atteindre 18% d'oxygène, limite à partir de laquelle les effets irréversibles peuvent intervenir. Quant au gaz carbonique, les premiers troubles interviendraient au bout de **7 heures** environ  $((5\% - 0.035\%) * 2500 / 17.28 \approx 7 \text{ h})$ .



La durée de confinement comprend :

1. la durée de l'accident (du largage de produits toxiques dans l'atmosphère jusqu'à l'arrêt définitif de la fuite) auquel il faut ajouter le temps de dilution dans l'atmosphère,
2. le temps nécessaire pour organiser l'évacuation des personnes.



#### A retenir :

- ✓ Un volume (3.6m<sup>3</sup>) et une surface (1.5m<sup>2</sup>) sont recommandés par personne confinée ;
- ✓ L'activité des personnes confinées doit être très légère;
- ✓ Dans tous les cas, il est préférable de n'envisager des durées de confinement qu'inférieures à 3 heures.

<sup>1</sup> Source : Guide Méthodologique PPRT [19]

## 2 Synthèse bibliographique internationale : le confinement retenu comme le moyen de protection des populations vis à vis du risque toxique

Une synthèse bibliographique détaillée a été réalisée sur cette question (G. Guyot, 2007, [29] ). Ce guide revient sur plusieurs points.

Le confinement est un moyen de protection des populations face au risque toxique **largement utilisé** à travers le monde. Le confinement est de plus en plus souvent considéré a minima comme la première mesure chronologique à mettre en œuvre en cas d'accident. Ainsi la devise du site gouvernemental de gestion de crise du Royaume-Uni ([28] ) est « *Go in, Stay in, Tune in* » (« rentrer à l'intérieur, y rester, écouter la radio »).

En outre, le *National Institute for Chemical Studies* (NICS, [23] ) a recensé de nombreux **cas réels** de pollutions atmosphériques accidentelles lors desquelles le confinement a été utilisé comme un moyen efficace de protection des populations.

Il a été largement démontré qu'il était possible d'augmenter significativement le niveau de protection des personnes :

- ✓ en mettant en œuvre **un confinement passif non structurel**, qui consiste à colmater les orifices pendant la crise. Selon les études, le taux de renouvellement d'air est alors réduit de 22 à 65%.
- ✓ en confinant les personnes **dans une pièce définie** avant l'accident comme local de confinement, et non seulement dans un bâtiment dans son ensemble.

Cette synthèse bibliographique a mis en évidence que les études réalisées dans le monde ont surtout porté sur le confinement passif simple et non structurel. L'approche internationale est donc largement axée sur la préparation et la gestion de la crise. Dans cette approche, la variabilité de l'étanchéité à l'air des constructions est une donnée d'entrée, à partir de laquelle l'opportunité du confinement est évaluée.

Une autre logique, plutôt axée sur la prévention, consiste au contraire à aménager les bâtiments, notamment du point de vue de l'étanchéité à l'air, pour qu'ils représentent des abris efficaces en cas de crise. C'est cette logique de prévention qui est adoptée dans ce document.



### Quelques cas réels :

#### Texas City, 1987 -

Largage d'acide fluorhydrique  
– 3000 personnes évacuées,  
500 traitées pour brûlures et  
problèmes respiratoires - Les  
habitants confinés dans  
leur maison n'ont pas été  
atteints.

Pittsburg, 1998 –Largage  
de 400 kg de chlore – 7000  
personnes confinées – 1  
employé blessé - Pas de  
blessés hors site

Une approche de type préventive, avec la réalisation de locaux de confinement étanches à l'air, représente un enjeu fort afin de garantir des taux de renouvellement d'air très faibles dès le début de la crise.

D'une part, certaines études montrent (Persily et al, 2007, [25] ) que le confinement actif seul (local ou bâtiment en surpression, filtres, etc...) ne peut pas être efficace car les conditions météorologiques peuvent être très défavorables.

D'autre part, les durées de réaction des personnes, parfois très longues, ne peuvent que mettre en évidence la nécessité de mettre en place de manière complémentaire des mesures structurelles sur les bâtiments.

### 3 Le risque toxique : dose et seuils de toxicité

Les effets sur les personnes sont fonction de la toxicité aiguë du polluant, de sa concentration et de la durée d'exposition. Pour prendre en compte le comportement non linéaire de l'impact de certains gaz ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{POCl}_2$ , ...) sur l'organisme, la **dose au sens de Haber E** est souvent utilisée pour calculer la dose reçue par une personne exposée à un gaz toxique. On intègre alors sur la durée d'exposition ( $D_{\text{exposition}}$ ), la concentration en polluant élevée à une puissance  $m$ , qui dépend de la toxicité aiguë du gaz.

$$E = \int_{D_{\text{exposition}}} C(t)^m dt$$

Équation 1 : Dose au sens de Haber

Selon la **loi de Haber**, à effet observé sur les personnes constant (effets irréversibles, effets létaux, etc.), le créneau de concentration **C** et la durée d'exposition **t** se trouvent liés par la relation suivante, où  $E_{\text{effets étudiés}}$  correspond à la dose pour laquelle les effets étudiés sont observés.

$$E_{\text{effets étudiés}} = C_1^m \cdot t_1 = C_2^m \cdot t_2$$

Équation 2 : Loi de Haber

Les seuils des effets toxiques sont de plusieurs types : seuil des effets létaux (SEL), seuil des effets irréversibles (SEI), seuil des effets réversibles (SER).

La définition du seuil des effets irréversibles intéresse plus particulièrement les études de confinement. Le « **seuil des effets irréversibles (SEI)** » correspond à la concentration, pour une durée d'exposition donnée, au-dessus de laquelle des effets irréversibles peuvent apparaître au sein de la population exposée.

L'INERIS ([15] ) a mis en ligne un recueil de fiches de seuils de toxicité aiguë pour un certain nombre de produits. Le Tableau 1 ci-dessous présente les valeurs de ces seuils pour quelques polluants toxiques couramment observés.

	<b>SEL à 60 min</b>	<b>SEI à 60 min</b>	<b>SER à 60 min</b>	<b>Seuil olfactif dans l'air</b>
	ppm	ppm	ppm	ppm
<b>Chlore</b>	110	19	nd	0.31
<b>Ammoniac</b>	3400	354	80	5 à 50
<b>Phosgène</b>	1	0.5	nd	0.5 à 1
<b>Acide chlorhydrique</b>	240	40	nd	0.31
<b>Acide cyanhydrique</b>	41	nd	nd	1

Tableau 1 : Seuils de toxicité, source : INERIS

*Nd = non déterminé*

## 4 L'étanchéité à l'air

Un certain nombre d'éléments de cette partie sont issus du guide du CETE de Lyon «Perméabilité à l'air : Généralités et sensibilisation » ([5] ).

### 4.1 Définition et enjeux

Assurer un bon niveau d'étanchéité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment, c'est être capable de limiter les infiltrations involontaires d'air extérieur. Les flux et les débits d'air qui circulent à travers les orifices volontaires (bouches de ventilation et entrées d'air) sont alors mieux maîtrisés.

Une bonne étanchéité à l'air répond à d'autres enjeux essentiels tels que :

- ✓ La facture énergétique : les besoins de chauffage sont réduits jusqu'à 25% ;
- ✓ La qualité de l'air intérieur : l'air involontaire transitant dans les parois se charge en polluants ;
- ✓ L'amélioration du confort thermique et acoustique des occupants ;
- ✓ La conservation du bâti : des dégradations sont engendrées par les infiltrations involontaires d'air.

### 4.2 Mesure

Le débit d'air à travers l'enveloppe d'un bâtiment  $\dot{V}_{env}$  (m<sup>3</sup>/h) est lié à la différence de pression  $\Delta P$  (Pa) entre l'intérieur et l'extérieur de ce bâtiment :

$$Q_{env} = \dot{V}_{env} = C_{env} . (\Delta P)^n$$

Équation 3 : Expression du débit d'air à travers l'enveloppe du bâtiment

- ✓  $C_{env}$  exprimé en m<sup>3</sup>/(h.Pa<sup>n</sup>) est généralement appelé coefficient de débit d'air. Il dépend de la perméabilité à l'air de l'enveloppe.
- ✓  $n$  (sans unité) est généralement appelé exposant de l'écoulement.  $n$  dépend de la nature de l'écoulement. Par défaut, on retient généralement une valeur de 2/3.



Figure 2 : Mesure du débit de fuite à l'aide d'une fausse porte, source : CETE de Lyon

Une méthode largement utilisée est la dépressurisation progressive du bâtiment à l'aide d'un ventilateur, comme le décrit la norme NF EN 13829 ([11]). Pour les bâtiments de petite taille, le ventilateur est généralement monté sur une fausse porte, nommée aussi « Blower Door » (Figure 2).

Le principe est de créer des dépressions artificielles  $\Delta P = P_b - P_a$  (Figure 2) et de mesurer les débits d'air correspondants. On détermine ensuite pour l'enveloppe du bâtiment les coefficients  $\{C_{env}; n\}$  de la loi puissance, par régression linéaire à partir des couples de mesures à différentes dépressions  $\{\Delta P, \dot{V}_{env}\}$ .

### 4.3 Indicateurs

Pour caractériser la perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment, on utilise couramment 3 indicateurs.

**L'indice de perméabilité à l'air  $I_4$**  est le débit de fuite sous 4 Pa divisé par la surface de parois froides  $A_{PF-RT}$  au sens de la RT 2005<sup>2</sup>. Il s'exprime en  $m^3/h/m^2$  à 4 Pa :

$$I_4 = \dot{V}_{env} (\Delta P = 4Pa) / A_{PF-RT}$$

Formule 1 : Définition du  $I_4$

**Le taux de renouvellement d'air sous 10 Pa  $n_{10}$**  est le débit de fuite sous 10 Pa divisé par le volume chauffé  $V$ . Il s'exprime en volume/h (ou en  $h^{-1}$ ) à 10 Pa :

$$n_{10} = \dot{V}_{env} (\Delta P = 10Pa) / V$$

Formule 2 : Définition du  $n_{10}$

**Le taux de renouvellement d'air sous 50 Pa  $n_{50}$**  donne le débit de fuite sous 50 Pa divisé par le volume chauffé. Il s'exprime en volume/h (ou en  $h^{-1}$ ) à 50 Pa :

$$n_{50} = \dot{V}_{env} (\Delta P = 50Pa) / V$$

Formule 3 : Définition du  $n_{50}$

En matière de confinement on raisonne plutôt en terme de  $n_{50}$  puisque la notion de parois froides n'est plus adaptée.

<sup>2</sup> **Paroi froide au sens de la RT 2005** : paroi en contact avec l'extérieur ou tout local non chauffé, hors plancher bas. [27]



**Attention !**  
Lorsque l'on mesure l'étanchéité à l'air d'un local, il convient de bien mettre toutes les pièces adjacentes du reste du bâtiment à la pression extérieure.

Il résulte de la définition des indicateurs les conversions suivantes.

$$n_{50} = 5^n n_{10}$$

Équation 4 : Formule de conversion entre le  $n_{10}$  et le  $n_{50}$

$$I_4 = (4/50)^n \cdot (V/A_{PF-RT}) \cdot n_{50}$$

Formule 4 : Formule de conversion entre le  $I_4$  et le  $n_{50}$

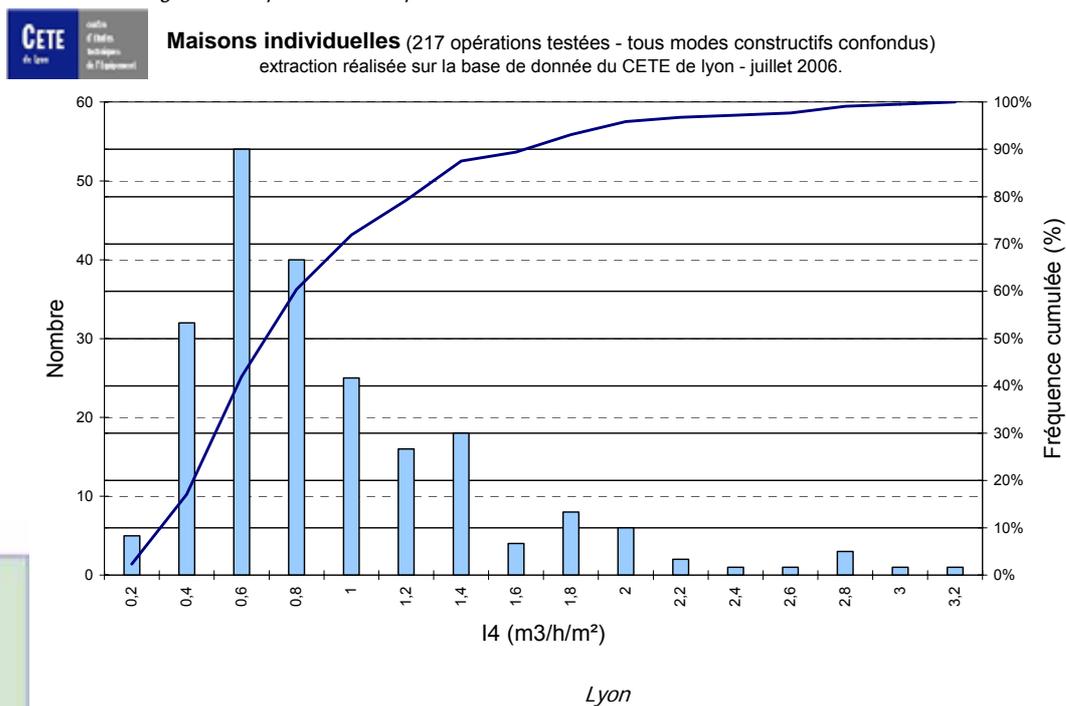
**La compacité**  $V/A_{PF-RT}$  est le rapport entre volume chauffé et surface de parois froides au sens de la RT 2005. Elle dépend du type de bâtiment. D'après les données collectées par le CETE de Lyon au cours des campagnes de mesures, on constate que la compacité ( $V/A_{PF-RT}$ ) moyenne pour une maison individuelle est de l'ordre de 1,4 m, elle vaut environ 2,5 m pour les logements collectifs, bureaux, hôtels, restauration, enseignement, petits commerces et établissements sanitaires et 2.3 m pour les autres usages.

#### **4.4 Performances constatées**

##### **4.4.1 État du parc de logement : de nombreuses données mettant en évidence des tendances.**

Des campagnes de mesures réalisées sur 217 maisons individuelles et 185 appartements permettent de représenter les graphes suivants.

Figure 3 : Répartition de la perméabilité mesurée sur des maisons individuelles. Source : CETE de



**Attention !**  
Il faut bien différencier la perméabilité d'un appartement (partie de bâtiment) de celle d'un bâtiment collectif (enveloppe globale).

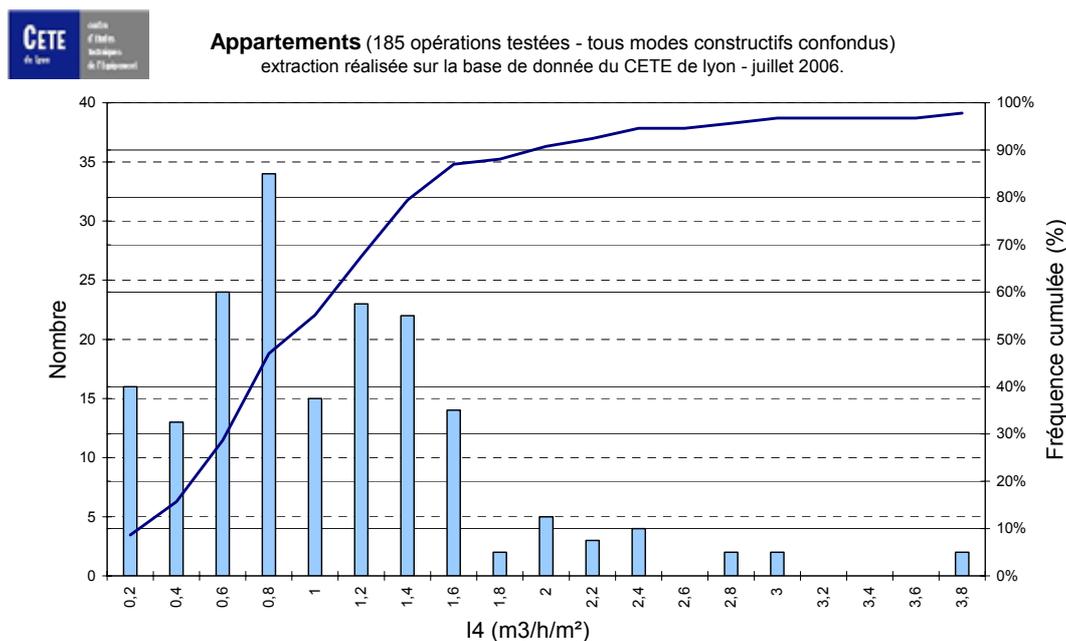


Figure 4 : Répartition de la perméabilité mesurée sur des appartements. Source : CETE de Lyon

Ces graphes donnent des informations précieuses sur les valeurs de perméabilité à l'air couramment observées en France :

- ❖ 95% des maisons individuelles testées ont un  $I_4$  inférieur 2  $m^3/h/m^2$  et 50% ont un  $I_4$  inférieur à 0.65  $m^3/h/m^2$ .
- ❖ 95% des appartements testés ont un  $I_4$  inférieur 3  $m^3/h/m^2$  et 50% ont un  $I_4$  inférieur à 0.9  $m^3/h/m^2$ .

#### 4.4.2 État du parc des bâtiments non résidentiels : un manque de données

L'analyse statistique sur les valeurs de perméabilité à l'air de ces types de bâtiments est délicate pour trois raisons :

- ✓ Le faible échantillonnage : des campagnes de mesures ont été menées sur 52 bâtiments non résidentiels ;
- ✓ La disparité des bâtiments étudiés : industries, salles de sport, salles polyvalentes, bureaux, enseignements, soins, santé ;
- ✓ La disparité des résultats de mesure de perméabilité à l'air.



Le développement des bases de données de mesures représente un enjeu considérable, notamment sur les bâtiments autres que résidentiels. Plus les bases de données seront enrichies, plus il sera possible d'interpréter les mesures et de dégager des tendances, avec un niveau de confiance accru.



**Bâtiments tertiaires** (52 opérations testées - tous modes constructifs confondus)  
extraction réalisée sur la base de donnée du CETE de Lyon hors bâtiments militaires - juillet 2007.

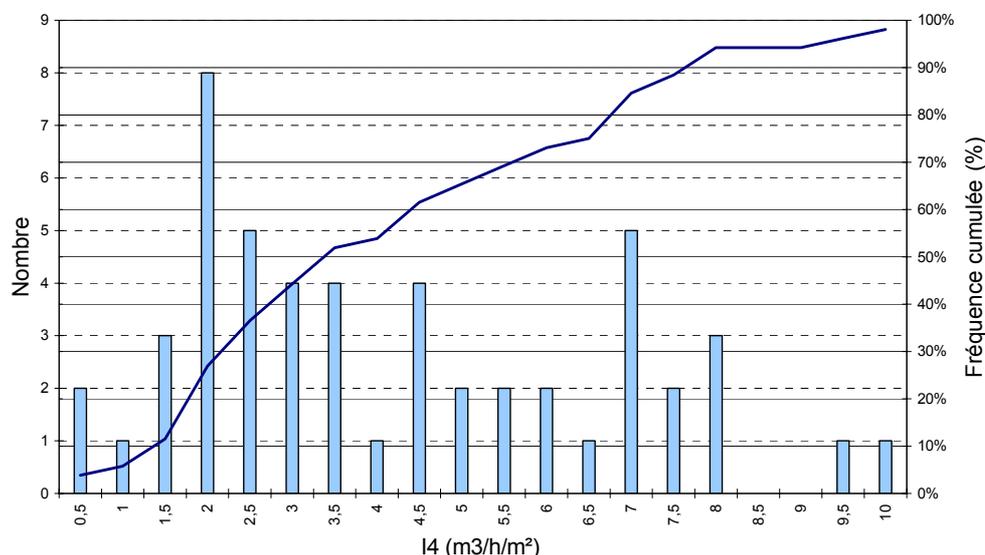


Figure 5 : Répartition de la perméabilité mesurée sur des bâtiments tertiaires. Source : CETE de Lyon

#### 4.4.3 Référentiels et appréciation de la perméabilité à l'air

##### 4.4.3.1 La réglementation thermique 2005 (RT 2005)

Dans le cadre de la RT 2005, il est possible de valoriser une faible valeur de perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment dans le calcul du coefficient énergétique C. On fixe alors au niveau du projet une valeur de perméabilité à l'air, nommée **perméabilité de référence**, qui devra être vérifiée à réception de la construction ou en suivant un référentiel de démarche qualité lors de la conception et de la construction. Une valeur plus faible de perméabilité peut être prise en compte, à condition qu'elle soit validée par une mesure.

En l'absence de ces démarches, une valeur par défaut de perméabilité à l'air est prise en compte dans les calculs. Cette valeur par défaut est pénalisante : elle est supérieure de 0.5 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> à la valeur de référence.

Usage	Valeur par défaut (pénalisante)	Valeur de référence (justifiée par une mesure ou une démarche qualité)	Valeur plus faible que la référence (justifiée par une mesure)
	I <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )	I <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup> )	
Maison individuelle	<b>1.3</b>	<b>0.8</b>	mesurée
Autres bâtiments d'habitation ou à usage de bureaux, d'hôtellerie, de restauration et d'enseignements, ainsi qu'établissements sanitaires.	<b>1.7</b>	<b>1.2</b>	mesurée
Autres usages	<b>3</b>	<b>2.5</b>	mesurée

Tableau 2 : Valeurs de perméabilités définies dans la RT 2005

 Attention ! un bâtiment qui respecte la RT 2005 ne respecte pas forcément une bonne valeur d'étanchéité à l'air.

#### 4.4.3.2 Les labels : « PassivHaus » et « Minergie-P »

Les labels allemand « Passivhaus » (maisons passives, [24] ) et suisse « Minergie-P » ([22] ) visent à créer des maisons à très faibles dépenses énergétiques en assurant la plus grande étanchéité à l'air possible pour limiter les pertes de chaleur. Le niveau requis de **n<sub>50</sub> = 0,6 vol/h** à 50 Pa est très exigeant mais reste couramment atteint dans les constructions qui s'inscrivent dans cette démarche.

#### 4.4.3.3 Échelles d'appréciation du CETE de Lyon

Le CETE de Lyon a élaboré une grille d'appréciation des valeurs d'étanchéité à l'air, issue de son expérience en la matière. Ces éléments sont tirés du guide EDF-CETE de Lyon 2001 ([3] ).

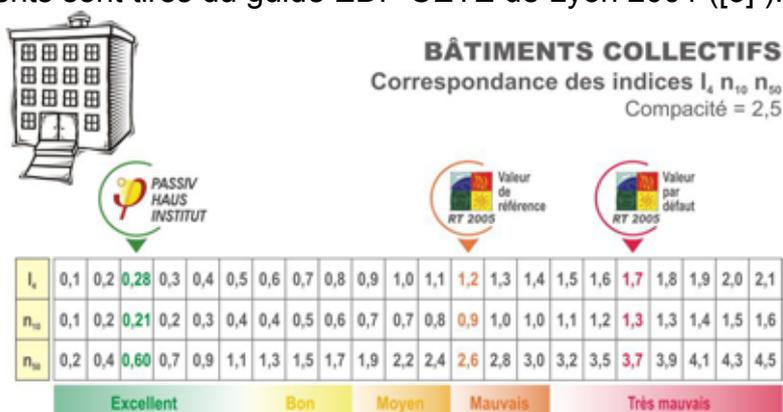


Figure 6 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon et correspondances entre les différents indicateurs pour un bâtiment collectif moyen.



## MAISONS INDIVIDUELLES

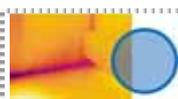
Correspondance des indices  $I_e$ ,  $n_{10}$ ,  $n_{50}$   
Compacité = 1,4



Figure 7 : Échelle d'appréciation du CETE de Lyon et correspondances entre les différents indicateurs pour une maison individuelle moyenne

### 4.5 Défauts courants d'étanchéité à l'air

Quatre grandes catégories de points faibles de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments ont été répertoriées.



#### Liaisons façades et planchers

Liaison mur / dalle sur terre plein, liaison mur / dalle ou plancher en partie courante...



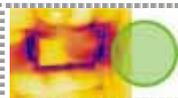
#### Menuiseries extérieures

Seuil de porte palière, seuil de porte-fenêtre, liaison mur / fenêtre au niveau du linteau, coffres de volets roulants...



#### Équipements électriques

Interrupteurs sur paroi extérieure, prises de courant sur paroi extérieure, tableau électrique, plafonniers, câblages...



#### Trappes et les éléments traversant les parois

Trappe d'accès aux combles, trappe d'accès aux gaines techniques...

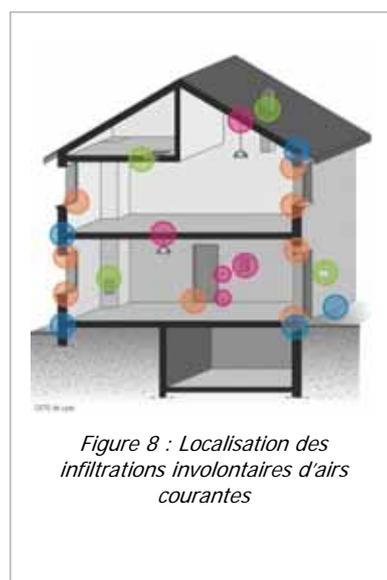


Figure 8 : Localisation des infiltrations involontaires d'airs courantes

En matière d'étanchéité à l'air de l'**enveloppe** d'un bâtiment, on cherche à limiter les infiltrations d'air venant de l'**extérieur**. Lorsque l'on s'intéresse à l'étanchéité à l'air d'un **local**, l'attention est alors portée également sur les liaisons et menuiseries **intérieures** et les équipements électriques, trappes et éléments traversant de parois donnant sur des **parois intérieures**.



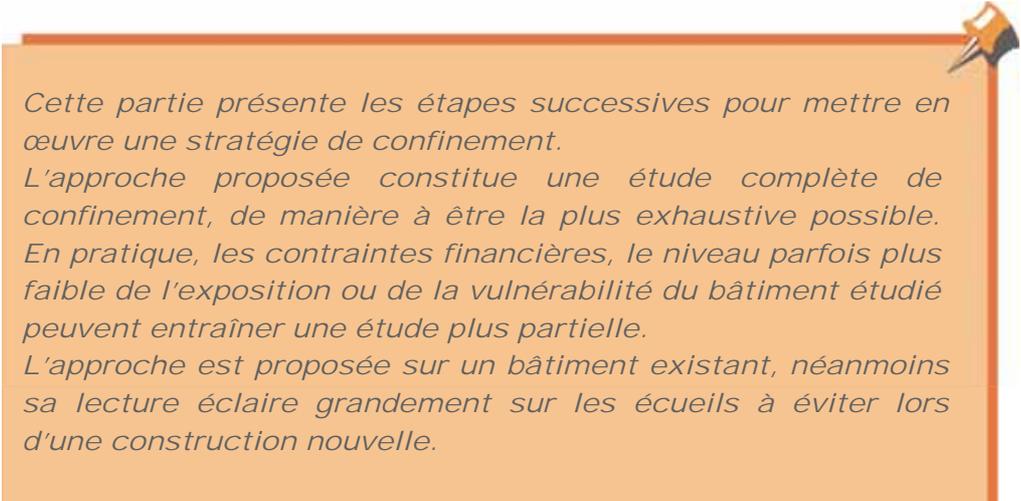
*L'identification de ces 4 catégories de points faibles de l'étanchéité à l'air permet d'ores et déjà :*

- ✓ De définir une grille de diagnostic de l'étanchéité à l'air globale des pièces d'un bâtiment pour la présélection de celles qui sont le plus adaptées au confinement ;*
- ✓ d'attirer l'attention sur les points particuliers à étudier et à contrôler lors de la mise en œuvre, en cas de réhabilitation, et sur les écueils à éviter en cas de construction neuve ;*
- ✓ de montrer la nécessité d'une mesure, l'étanchéité à l'air d'une pièce ou d'un bâtiment étant non quantifiable par simple inspection visuelle ;*
- ✓ de mettre en évidence la nécessité d'une démarche qualité associant et impliquant les différents corps de métiers concernés ;*

*La partie suivante « 5 étapes pour mettre en œuvre une stratégie de confinement » reviendra plus amplement sur ces différents points.*



## Partie 2 : Cinq étapes pour mettre en œuvre une stratégie de confinement



*Cette partie présente les étapes successives pour mettre en œuvre une stratégie de confinement.*

*L'approche proposée constitue une étude complète de confinement, de manière à être la plus exhaustive possible.*

*En pratique, les contraintes financières, le niveau parfois plus faible de l'exposition ou de la vulnérabilité du bâtiment étudié peuvent entraîner une étude plus partielle.*

*L'approche est proposée sur un bâtiment existant, néanmoins sa lecture éclaire grandement sur les écueils à éviter lors d'une construction nouvelle.*

## 5 Étape 1 : Recueillir les données

### 5.1 Contexte général : différentes situations possibles

Le niveau visé de réduction de la vulnérabilité d'un bâtiment dépend bien évidemment du contexte dans lequel s'inscrit la stratégie de confinement.

Cette stratégie peut être issue d'une obligation par l'existence d'un PPRT prévoyant des prescriptions sur le bâti telles que l'aménagement d'un local de confinement pour faire face à un niveau d'aléa toxique.

Pour les établissements scolaires, la mise en place de PPMS<sup>3</sup> est préconisée par voie de circulaire depuis mai 2002, suite aux tempêtes de 1999 et à la catastrophe de Toulouse. Le PPMS doit permettre de faire face aux conséquences d'un accident majeur en attendant l'arrivée de secours. Pour cela, il doit prévoir le lieu et la manière de mettre les élèves et les personnels en sûreté.

Une stratégie de confinement peut aussi résulter de politiques locales incitatives qui trouvent appui sur des clauses particulières des documents d'urbanisme ou sur des plans tels que le PCS<sup>4</sup> ou encore sur des politiques de subventions ciblées à la rénovation ou à la construction.

Le contexte est lui-même étroitement lié au niveau d'exposition et de vulnérabilité du bâtiment étudié.

L'approche présentée ici constitue une étude type sur un bâtiment très exposé, de manière à être la plus exhaustive possible. Dans de tels cas, il convient de réaliser un diagnostic détaillé de vulnérabilité, de fixer une valeur cible d'étanchéité à l'air du local et de s'assurer qu'elle est atteinte.

### 5.2 Évaluer l'opportunité et la faisabilité du confinement en lien avec la durée du confinement

Dans certaines situations, le confinement peut s'avérer inadapté. On peut citer **à titre d'exemple, sans exhaustivité** :

- ✓ Si la présence d'effets concomitants (surpression, thermiques) ne peut pas garantir l'intégrité du bâti ou des vitrages du bâtiment, et qu'il est alors impossible d'assurer un niveau suffisant d'étanchéité à l'air du local ;

<sup>3</sup> Plan Particulier de Mise en Sûreté [1]

<sup>4</sup> Plan Communal de Sauvegarde

- ✓ S'il est impossible de confiner les personnes avant qu'elles ne soient exposées à des doses excessives de polluants toxiques ;
- ✓ Si les locaux de confinement sont conçus pour une durée donnée, du point de vue de leur taille (surface, volume) et de leur étanchéité à l'air (calcul effectué), mais que l'on ne peut garantir que le passage du nuage toxique ou l'évacuation par les secours, ne seront terminés dans ce délai.
- ✓ Dans tous les cas, si l'on ne peut pas garantir que ni la fin du passage du nuage toxique, ni l'évacuation par les secours, ne peuvent se produire avant une durée de 3 heures.

Pour évaluer l'opportunité et la faisabilité du confinement, il paraît dans tous les cas indispensable de se rapprocher des acteurs de la crise impliqués dans les différents plans : PCS, PPI.

### 5.3 Identifier l'aléa technologique

Cette étape est facultative lorsqu'un PPRT impose une valeur forfaitaire de perméabilité à l'air.

Pour dimensionner l'étanchéité à l'air du local de confinement, il est indispensable de connaître les caractéristiques du nuage toxique dimensionnant, i.e. le nuage toxique le plus « dangereux » susceptible d'impacter le bâtiment.

Les porter à connaissances (PAC) comportent les informations essentielles :

- ✓ identité des produits toxiques,
- ✓ concentrations à différentes distances ou concentrations seuils,
- ✓ présence ou non d'effets concomitants thermiques ou de surpression.

☞ **Attention !** Le nuage toxique dimensionnant n'est pas toujours le nuage toxique de concentration la plus élevée. Certains gaz très toxique ont, à concentration faible, des effets sur la vie humaine plus « aigus » que d'autres. Pour cela, il convient de prendre en compte non seulement la concentration, mais aussi les seuils de toxicité aiguë.

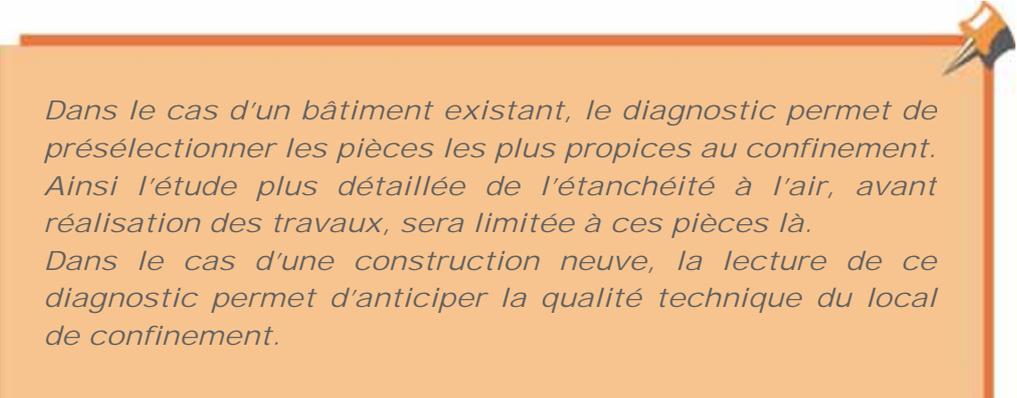
### 5.4 Les personnes à protéger

Il est important de décompter les personnes à protéger et également d'identifier clairement les personnes plus sensibles : personnes âgées, handicapées, de façon à adapter les locaux si besoin.

Le nombre des personnes à protéger conditionne la taille requise des locaux. Les surfaces et volumes par personne doivent respecter les valeurs précisées au paragraphe 1.3.

La disposition (localisation, répartition et présence) des personnes dans le bâtiment, notamment à différentes heures de la journée (heure des repas), conditionne le nombre de locaux à prévoir pour limiter leur circulation à l'extérieur ou dans les parties exposées de l'établissement ou du bâtiment en cas de crise.

## 6 Étape 2 : Réaliser un diagnostic de vulnérabilité - Mémento pour le choix d'un local de confinement



*Dans le cas d'un bâtiment existant, le diagnostic permet de présélectionner les pièces les plus propices au confinement. Ainsi l'étude plus détaillée de l'étanchéité à l'air, avant réalisation des travaux, sera limitée à ces pièces là. Dans le cas d'une construction neuve, la lecture de ce diagnostic permet d'anticiper la qualité technique du local de confinement.*

### 6.1 Trois points essentiels à vérifier

#### 6.1.1 Dimensions du local

En habitat, on suppose que le nombre d'occupants est égal au type de logement plus 1 personne, soit 5 personnes pour un T4. Dans les logements indéfinissables, on comptera le nombre de pièce hors pièces de service (cuisine, WC, salle de bains), plus une personne. Une pièce est généralement suffisante en surface et volume pour être utilisée comme local de confinement. On choisit de préférence une chambre.

Pour les bâtiments non-résidentiels, on calculera l'effectif suivant les textes relatifs à la sécurité incendie : l'arrêté du 25 juin 1980 pour les ERP, bureaux et gares et l'article R232-12-1 du code du travail pour les établissements industriels et commerciaux.



Le local doit pouvoir accueillir tous les occupants.

Il arrive que les dimensions du local calculées correspondent aux dimensions entières du bâtiment. Il faut alors évaluer la possibilité de confiner le bâtiment dans son ensemble.

Pour les raisons pratiques de la gestion de crise, il est préférable d'éviter les locaux de grande hauteur sous plafond (supérieure à 3 m).



### 6.1.2 Cheminements intérieurs

De manière générale, les personnes doivent pouvoir atteindre le plus rapidement possible le local de confinement, sans être exposées directement au nuage toxique à l'extérieur, ou dans les parties du bâtiment peu étanches dans lesquelles le polluant peut pénétrer en grande quantité. Le nombre et la position des locaux de confinement doit donc être tel que les personnes puissent atteindre le local le plus proche par un cheminement intérieur et dans un délai raisonnable.

Si aucun cheminement interne n'existe, il faut évaluer la possibilité d'en aménager un : percement d'une paroi par une porte, construction d'un hall d'accès, fermeture d'un cheminement ouvert, etc...



Pour un bâtiment collectif, il faut prévoir un local par logement et non un local collectif. D'une part, cela évite une gestion de crise complexe en collectif. D'autre part, cela évite que les personnes traversent les espaces collectifs (hall et couloirs) qui sont des espaces souvent peu étanches à l'air.

Pour les établissements comportant plusieurs bâtiments, il est préférable de prévoir au moins un local par bâtiment.

Pour les bâtiments de grande taille, il s'agit souvent de **trouver un compromis** entre le niveau de sécurité des personnes et la lisibilité du plan de confinement : un nombre important de locaux permet une atteinte rapide des occupants mais les personnes risquent d'hésiter dans le choix du local à atteindre pour se confiner. L'importance des exercices d'entraînement apparaît ici clairement.

### 6.1.3 Protection par rapport au site industriel

L'enveloppe de l'ensemble du bâtiment influe considérablement sur le degré de protection du local de confinement en cas de pollution accidentelle. En effet, les volumes du bâtiment situés autour du local de confinement jouent un rôle « tampon » qui ralentissent et atténuent la pénétration de l'air pollué dans le local de confinement.

Pour une protection efficace, on cherche à maximiser ce rôle « tampon », il faut donc choisir comme local de confinement **une pièce donnant sur une façade protégée du site industriel**, et non sur une façade exposée au site.

L'effet « tampon » est encore supérieur dans le cas d'un local situé en position centrale du bâtiment, car aucune des parois du local n'est exposée directement à l'air extérieur. Toutefois, dans certains types de bâtiments comme ceux résidentiels, peu de pièces centrales de taille suffisante existent pour servir de local de confinement.

Les pièces à double exposition sont à éviter.

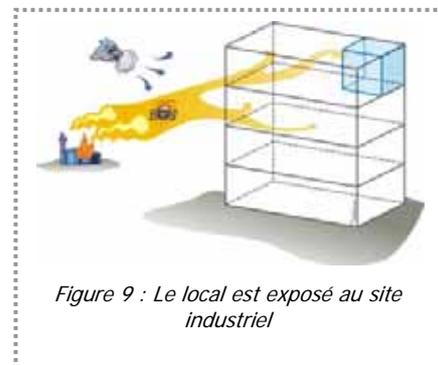


Figure 9 : Le local est exposé au site industriel

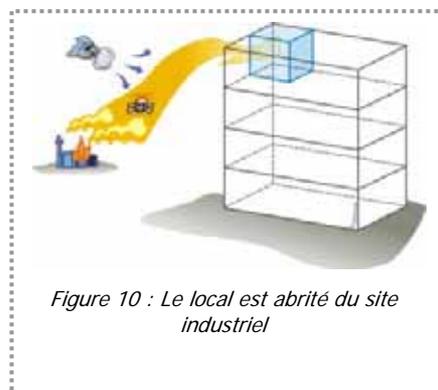


Figure 10 : Le local est abrité du site industriel

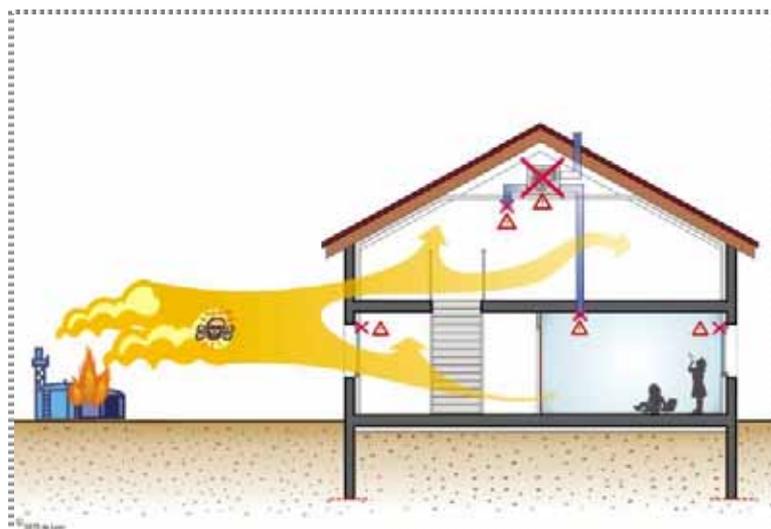
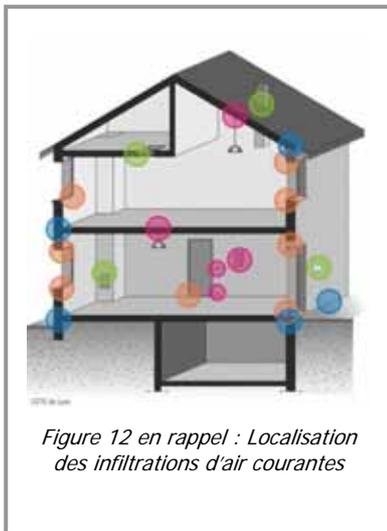


Figure 11 : Le choix d'un local de confinement abrité du site industriel permet de ralentir la pénétration du polluant vers les personnes confinées



## 6.2 Évaluer globalement l'étanchéité à l'air des différentes pièces

Cette étape permet de hiérarchiser les différentes pièces du bâtiment, du point de vue de leur étanchéité à l'air, afin de déterminer les pièces les plus propices à servir au confinement. Cette évaluation porte sur les quatre grandes catégories de points faibles de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments répertoriées dans la partie 4.5. Les catégories « Trappes et éléments traversant de parois » et « Équipements électriques » sont regroupées car l'approche est similaire dans cette étape de diagnostic.



### Menuiseries

#### Portes

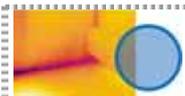
- ✓ Choisir si possible une pièce ne comportant qu'une seule porte ;
- ✓ Préférer les portes à âme pleine ;
- ✓ Vérifier la bonne étanchéité de la porte d'accès : bon état général, planéité, **uniformité de l'espace périphérique** de la porte afin que le jointoiment soit bien efficace.

#### Fenêtres

- ✓ Préférer les locaux avec peu d'ouvertures et de petits ouvrants ;
- ✓ Préférer les fenêtres à double vitrage avec joints.

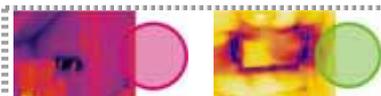
#### Coffres de volets roulants

- ✓ Éviter les pièces avec coffres de volets roulants s'ils ne sont pas totalement extérieurs aux locaux.



### Parois

- ✓ Proscrire les locaux dont les **parois** sont **très perméables** (plafonds suspendus sans dalle béton ou plafond plaques de plâtre, plancher sur lambourdes) ;
- ✓ Choisir les locaux dont les parois sont étanches à l'air ou **très peu perméables** (carrelage, faïence, enduits humides, sol béton ou carrelé, plaques de plâtre bien jointoyées) ;
- ✓ Éviter les pièces avec des techniques constructives pour lesquelles la perméabilité à l'air est difficilement maîtrisable.



### Équipements électriques et trappes et les éléments traversant les parois

- ✓ Préférer les locaux avec peu de traversées de parois et peu d'équipements électriques ;
- ✓ Éviter les locaux comportant le tableau de fusibles et le disjoncteur.

### 6.3 Évaluer globalement le rôle protecteur de l'enveloppe du bâtiment

Choisir un local de confinement protégé du site industriel (Cf. § 6.1.3) permet toujours d'augmenter de manière très significative le rôle protecteur de l'enveloppe du bâtiment, par rapport à un local exposé au site industriel. Une fois la localisation du local déterminée, des travaux permettent d'améliorer encore le niveau de protection de l'enveloppe du bâtiment.

#### 6.3.1 Étudier globalement l'étanchéité à l'air de l'enveloppe

L'étanchéité à l'air de l'enveloppe peut parfois être améliorée grandement par des mesures simples. Pour cela, on peut recenser certains « points noirs » constituant des infiltrations importantes d'air involontaire :

- ✓ État de la porte d'entrée,
- ✓ État de la trappe d'accès aux combles, etc...

#### 6.3.2 Les éléments liés aux systèmes de chauffage, ventilation et climatisation

Il ne sert à rien d'assurer un très bon niveau d'étanchéité à l'air d'un bâtiment, en réduisant les infiltrations d'air involontaires, si toutes les entrées d'air volontaires ne sont pas « maîtrisables », et « colmatables » rapidement lors d'une crise.

Dans un bâtiment, les entrées d'air volontaires sont liées aux systèmes de chauffage, ventilation et climatisation. Pour chaque pièce, il convient donc de :

- ✓ Recenser les systèmes de ventilation ainsi que les éléments liés : entrées et sorties d'air, extractions ;
- ✓ Recenser les systèmes de chauffage et climatisation afin d'évaluer leur influence sur les circulations d'air ;
- ✓ Évaluer les conditions de mise en œuvre des dispositifs susceptibles d'améliorer l'efficacité en cas de crise : caractère obturable des entrées et sorties d'air, des extractions, arrêt coup de poing possible, ...
- ✓ Éliminer les locaux comprenant des appareils à combustion ou des conduits de fumée ;

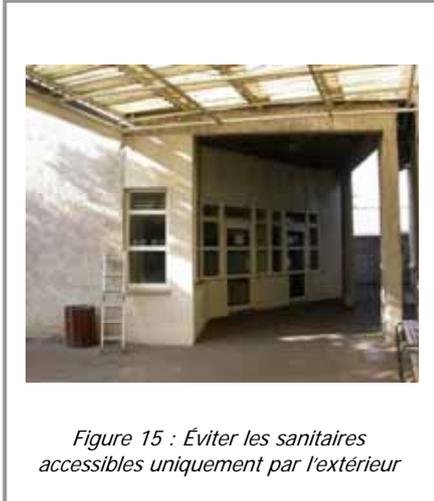


Figure 13 : Recenser la qualité de l'étanchéité de la porte d'entrée



Figure 14 : Recenser les éléments liés aux systèmes de ventilation : entrées d'air, extractions, etc...

- ✓ Évaluer la possibilité de réguler le chauffage depuis le local de confinement ;
- ✓ Recenser les autres entrées d'air volontaires telles que les cheminées.



#### **6.4 Autres équipements et aménagements**

- ✓ Recenser l'existence d'une prise de courant et d'un point lumineux afin de préférer ces pièces là ;
- ✓ Recenser les points d'eau ou évaluer les possibilités d'en aménager ;
- ✓ Dans les bâtiments non résidentiels, évaluer les conditions d'aménagement des sanitaires attenants au local ou, à défaut, l'aménagement d'accès protégés par cheminement intérieur ;
- ✓ Présence ou facilité à aménager des sas d'entrée dans le bâtiment, dans le local.

#### **6.5 BILAN : Tableau type de diagnostic**

Ces différents éléments peuvent être recensés dans un tableau de diagnostic effectué par pièce, et par bâtiment, le cas échéant.

Nom du bâtiment et de la pièce observée	Point essentiel n°1 : les dimensions			Point essentiel n°2 : son exposition par rapport au site industriel	Point essentiel n°3 : cheminements intérieurs	Étanchéité à l'air de la pièce						Evaluation du rôle protecteur de l'enveloppe		Autres équipements et aménagements			Potentialité à servir au confinement
	Hauteur totale sous plafond	Surface au sol	Volume totale de la pièce			parois	Trappes et éléments traversant de parois, Equipements électriques	menuiseries				Étanchéité à l'air globale	CVC	Sas d'entrée	sanitaires	Point lumineux et prise de courant	
<p><i>Éviter</i> les locaux de grande hauteur sous plafond</p>	<p><i>A comparer</i> avec la surface recommandée par personne à abriter</p>	<p><i>A comparer</i> avec le volume recommandé par personne à abriter</p>	<p><i>Préférer</i> les locaux protégés par des espaces tampons (rez de chaussée, présence d'une partie du bâtiment entre le site industriel et le local...) <i>Éviter</i> les locaux à double exposition</p>	<p><i>Préférer</i> les locaux accessibles depuis l'intérieur par la plus grande partie des personnes exposées</p>	<p><b>Matériaux, Mode constructif</b> <i>Proscrire</i> les parois très perméables <i>Préférer</i> les locaux dont les parois sont étanches à l'air ou très peu perméables (carrelage, faïence, enduits humides, plaques de plâtres bien jointoyées)</p>	<p><b>Type de plafond, Matériaux</b> <i>Proscrire</i> les parois très perméables (plafonds suspendus sans dalle béton ou plaque de plâtre...) <i>Préférer</i> les locaux dont les parois sont étanches à l'air ou très peu perméables</p>	<p><i>Éviter</i> les locaux contenant des tableaux de fusibles ou le disjoncteur <i>Préférer</i> les locaux avec peu de traversées de parois</p>	<p><b>Etat des portes, Matériau, Nombre</b> <i>Préférer</i> les locaux ne comportant qu'une seule porte</p>	<p><i>Préférer</i> les locaux avec peu d'ouvertures et de petits ouvrants <i>Préférer</i> les locaux avec des fenêtres double vitrage avec joints</p>	<p><i>Éviter</i> les locaux comprenant des coffres de volets roulants s'ils ne sont pas totalement extérieurs</p>	<p><i>Recenser</i> les points noirs : porte d'entrée, trappes d'accès aux combles, etc...</p>	<p><b>Type, localisation et nombre des éléments liés</b> <i>Préférer</i> les locaux depuis lesquels on peut arrêter les systèmes CVC <i>Préférer</i> les entrées et sorties d'air obturables <i>Proscrire</i> les locaux comprenant des appareils à combustion ou des conduits de fumée</p>	<p><i>Évaluer</i> la difficulté à aménager un sas d'entrée</p>	<p><i>Proscrire</i> les locaux sans sanitaires ou avec sanitaires difficilement aménageables pour les bâtiments autres que résidentiels</p>	<p><i>Préférer</i> les locaux avec une prise de courant et un point lumineux</p>	<p><b>de ++ (très propice) à -- (à écarter)</b></p>	

Figure 16 : Tableau type de diagnostic pour le choix de la pièce servant au confinement

## 7 Étape 3 : Réduire la vulnérabilité - Atteindre une valeur cible d'étanchéité à l'air pour le local de confinement

*Dans une logique de prévention, le local de confinement devra présenter une valeur d'étanchéité à l'air permettant de protéger les personnes confinées d'un nuage toxique de caractéristiques connues. L'atteinte de cet objectif passe par 5 points essentiels :*

- 1. Le calcul de la valeur cible à atteindre ;*
- 2. Une mesure et la localisation des fuites avant travaux permettent de mieux cibler les travaux nécessaires*
- 3. Afin que la valeur cible soit atteinte, il est nécessaire de mettre en place un plan qualité préalablement ;*
- 4. La réalisation des travaux nécessaires pour atteindre la valeur cible ;*
- 5. Réaliser une mesure à réception ;*

*Ces 5 points sont décrits par ordre chronologique.*

### 7.1 Calculer la valeur cible d'étanchéité à l'air du local

Une modélisation des échanges aérauliques entre l'extérieur, le bâtiment et le local de confinement, telle que celle utilisée dans l'outil CONFINE décrit dans la partie 10, permet de calculer le niveau d'étanchéité à l'air du local, voire du bâtiment, afin d'atteindre un niveau de protection donné.

Par exemple, on peut calculer l'étanchéité à l'air nécessaire afin que la dose en toxique reçue par une personne confinée dans le local pendant 2 heures reste inférieure à la dose correspondant aux effets irréversibles pour ce polluant.

Cette étape est facultative lorsqu'un PPRT impose une valeur forfaitaire d'étanchéité à l'air pour le local de confinement.

## 7.2 Un plus : mesurer l'étanchéité à l'air avant travaux et localiser les points critiques

Dans le cas d'un bâtiment existant, le diagnostic peut se solder par une mesure d'étanchéité des locaux pressentis.

Avantages de la mesure avant travaux	Inconvénients de la mesure avant travaux
<p>Permet de sélectionner, à partir des locaux pressentis, les plus étanches à l'air donc les plus efficaces en cas de nuage toxique.</p> <p>Donne une idée de l'importance des travaux à réaliser.  <i>Dans certains cas, la mesure peut montrer que le local est suffisamment étanche par rapport à la valeur cible. Des travaux mineurs sur l'étanchéité peuvent alors être suffisants.</i></p> <p>Permet de localiser les points critiques pour cibler les travaux nécessaires pour améliorer l'étanchéité.  <i>On peut par exemple quantifier précisément le gain obtenu par le traitement soigné de l'étanchéité à l'air des portes et fenêtres.</i></p>	<p>La mesure d'étanchéité a un coût non négligeable, qui doit néanmoins être comparé aux coûts des travaux divers évités.</p>

Tableau 3 : Avantages et inconvénients d'une mesure avant travaux

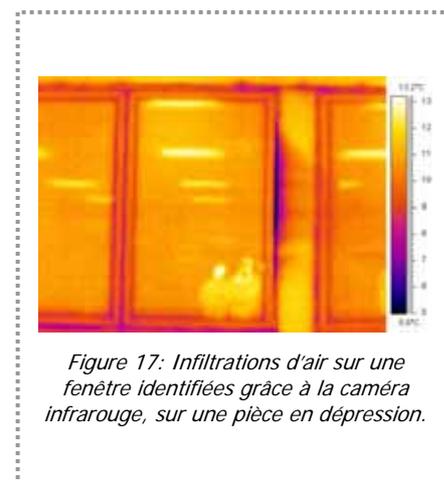


Figure 17: Infiltrations d'air sur une fenêtre identifiées grâce à la caméra infrarouge, sur une pièce en dépression.

Divers systèmes de localisation des fuites existent tels que la caméra infrarouge ou les poires à fumée. Une localisation simple « à la main » est parfois très instructive. Les méthodes de localisation des fuites sont décrites dans le guide du CETE de Lyon « Perméabilité à l'air des bâtiments : généralités et sensibilisation » ([5]).

## 7.3 Mettre en place un plan qualité

Avant le commencement des travaux, il convient de formaliser un plan qualité qui aura pour but :

- ✓ de faire apparaître les points sensibles du local de confinement dès l'élaboration des plans ;
- ✓ de trouver des solutions pour traiter l'étanchéité à l'air y compris par des détails d'exécution ;

Les infiltrations d'air parasites sont diverses et leur traitement touche des corps de métiers très différents. Un plan qualité, associé à une mesure à réception des travaux, représente la seule garantie d'atteindre la valeur cible d'étanchéité lorsqu'elle est exigeante.

- ✓ de sensibiliser les entreprises à leurs rôles respectifs afin d'atteindre l'objectif de perméabilité à l'air dans un enjeu de sécurité des personnes ;
- ✓ de suivre en continu leur travail et la mise en oeuvre des dispositions prévues ;
- ✓ d'obtenir la meilleure qualité possible afin de répondre aux performances demandées.

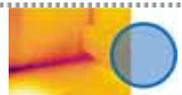


Les travaux présentés concernent l'aménagement d'un local de confinement dans un bâtiment existant. Pour une construction neuve, chacun de ces points peut être anticipé dès la conception du bâtiment.

#### **7.4 Réaliser les travaux nécessaires au respect de l'objectif de performance d'étanchéité à l'air**

Les travaux couramment réalisés pour atteindre la valeur cible d'étanchéité à l'air du local de confinement concernent les points faibles de l'étanchéité diagnostiqués en partie 6.2 sur les différentes pièces du bâtiment.

## *Liaisons façades et planchers*



- ✓ Jointolement des liaisons murs verticaux avec planchers et plafonds,
- ✓ Choix de techniques et produits adaptés.

## *Menuiseries*



### **Toutes les menuiseries**

- ✓ Installer des **menuiseries de qualité** : les performances des fenêtres sont définies par la norme européenne EN 12207 de mai 2000 ;
- ✓ Jointolement des liaisons entre fenêtres, portes ou portes-fenêtres et toits ou murs.

### **Porte d'accès au local**

- ✓ Installation d'une porte à âme pleine étanche à l'air ;
- ✓ Changement des joints périphériques de la ou des portes d'accès ;
- ✓ Assurer le fonctionnement normal de la ventilation en équipant la porte de clonette ou barre d'étanchéité en partie basse ou avec une **grille de transfert obturable**.

### **Coffres de volets roulants**

- ✓ Jointolement des liaisons entre coffre, fenêtre et murs.

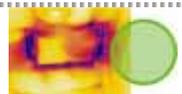
## *Équipements électriques*



De façon générale, il est nécessaire de limiter le nombre de percements des parois et de porter une attention particulière à chacun d'entre eux.

- ✓ Colmatage des points de passage de l'ensemble des équipements électriques installés sur les parois extérieures ou dans le local :
  - tableau électrique,
  - interrupteurs et prises de courants,
  - points lumineux type plafonniers,
  - câblage des différents systèmes de mesures.
- ✓ Choix de produits adaptés (notamment dans le cadre des constructions à ossature bois).

## *Trappes et éléments traversant les parois*



Reprise des joints d'étanchéité au niveau de l'ensemble des liaisons, par exemple :

- ✓ trappes d'accès aux gaines techniques et combles ;
- ✓ gaines techniques traversant les planchers ;
- ✓ conduits d'évacuation des fumées ou des gaz, en façade ou en toiture selon le système de chauffage retenu ;
- ✓ conduits d'évacuation de l'air vicié en toiture.



Les fuites d'air sont éparpillées et diverses. Il est donc impossible de quantifier l'étanchéité à l'air par simple inspection visuelle. Il est nécessaire de la mesurer.

### 7.5 Mesurer l'étanchéité du local à réception des travaux

Seule une mesure à réception des travaux permet de :

- ✓ S'assurer préalablement que **les moyens** seront développés en phase travaux afin d'atteindre l'objectif de protection des personnes ;
- ✓ **Valider les investissements réalisés** concernant le calcul de l'étanchéité à l'air cible et les travaux mis en oeuvre,
- ✓ **Valider** l'atteinte de l'objectif fixé de protection des personnes.

L'expérience montre qu'avec un minimum de soin, une perméabilité à l'air inférieure à 3 vol/h à 50 Pa peut être atteinte couramment avec une structure lourde.

## 8 Étape 4 : Autres travaux à réaliser pour réduire la vulnérabilité du bâtiment



Les 3 premiers points essentiels pour le choix d'un local de confinement sont :

- ✓ ses dimensions ;
- ✓ son exposition par rapport au site industriel ;
- ✓ son accessibilité par cheminement intérieur.

D'autres travaux ne portant pas directement sur l'étanchéité à l'air du local de confinement sont nécessaires. Leur faisabilité a été normalement identifiée dans la phase de diagnostic (§ 6.1, 6.3, 6.4).

### 8.1 Travaux concernant les 3 premiers points essentiels

Le diagnostic a normalement permis de choisir un local situé sur une façade protégée du site industriel, et de taille suffisante pour accueillir tous les occupants du bâtiment.

Pour créer des cheminements intérieurs vers le local de confinement, il peut être envisagé de réaliser des percements de parois, ou des aménagements de fermeture d'espaces semi-ouverts (fermeture de préaux dans les écoles par exemple).

## 8.2 Travaux pour garantir le rôle protecteur de l'enveloppe du bâtiment

### 8.2.1 Améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment : réduire les infiltrations d'air involontaires

L'amélioration peut être sommaire (changement des joints de la porte d'entrée, de la trappe d'accès aux combles ou à la cave, etc...). Une étude plus approfondie peut être menée par un bureau d'étude spécialisé.

Plus l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment augmente, plus le niveau de protection augmente.

👉 **Notez bien !** Pour les constructions neuves, une bonne valeur d'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment

- ✓ Peut être valorisée dans le cadre de la RT 2005 si elle est inférieure ou égale à la valeur de référence,
- ✓ Accroît très fortement le rôle protecteur du bâtiment,
- ✓ Ralentit la pénétration du polluant dans le local de confinement.

### 8.2.2 Maintenir le rôle protecteur en cas de crise : pouvoir annuler les débits d'air volontaires

👉 **Attention !** Un premier travail consiste à prévenir la crise en identifiant puis en effectuant les travaux nécessaires. Néanmoins, seules une information et une sensibilisation des occupants permettent ensuite une utilisation efficace de ces équipements en cas de crise.

Les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation doivent pouvoir être coupés rapidement en cas de consignes de confinement. Le système de coupure doit être compatible avec le respect des règles de sécurité incendie et le contexte d'usage. Le cas des bâtiments collectifs est particulièrement sensible<sup>(5)</sup>.

Pour l'ensemble du bâtiment, il convient également de prévoir des systèmes d'obturation rapide pour les entrées et sorties d'air, extractions liées aux systèmes de ventilation, chauffage, climatisation. Des clapets anti-retour sur l'extraction et l'insufflation si la ventilation est du type double flux.

Des travaux plus lourds (sur les cheminées à foyer ouvert par exemple) peuvent également être envisagés.

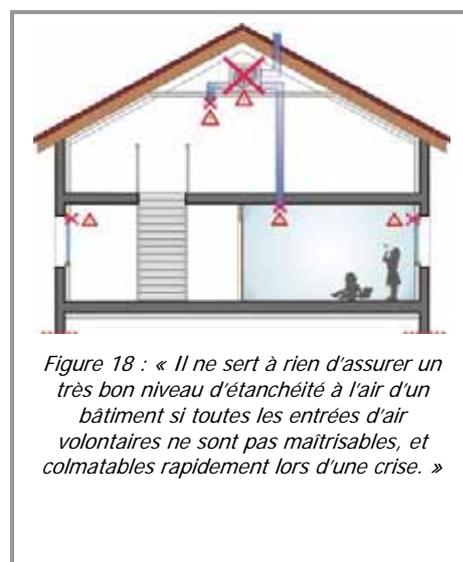


Figure 18 : « Il ne sert à rien d'assurer un très bon niveau d'étanchéité à l'air d'un bâtiment si toutes les entrées d'air volontaires ne sont pas maîtrisables, et colmatables rapidement lors d'une crise. »

<sup>5</sup> Par exemple, il est déconseillé de prévoir l'arrêt de la ventilation en habitat collectif à cause du risque d'usage abusif (cf. enseignements du cas d'étude 14).

### 8.3 Autres travaux d'aménagement à prévoir

- ✓ Aménager un point lumineux et une prise de courant dans le local, si celui-ci n'en contient pas ;
- ✓ Réaliser un/des sas d'entrée dans le bâtiment et le local de confinement ;
- ✓ Aménager des sanitaires, avec accès sécurisé depuis le local de confinement (porte donnant dans le local), ou sas d'entrée pour le local ;
- ✓ Aménager un point d'eau. Si un point d'eau n'est pas aménageable, il est nécessaire de stocker quelques bouteilles d'eau.



Postulat de base :  
L'existence d'un local de confinement techniquement bien conçu ne suffit pas. Il faut en outre garantir sa bonne utilisation ainsi que sa pérennité.

## 9 Étape 5 : Prévoir les règles comportementales en cas de crise

### 9.1 Les gestes essentiels pour annuler effectivement les débits d'air volontaires

Un certain nombre de travaux ont été réalisés, de manière préventive, afin que les débits d'air volontaires puissent être annulés en cas de crise.

Pour que l'enveloppe du bâtiment joue effectivement son rôle protecteur en cas de crise, il faut que les occupants utilisent efficacement ces équipements et aient les bons réflexes :

- ✓ fermeture des portes et fenêtres du bâtiment ;
- ✓ coupure effective des systèmes de chauffage, ventilation, et climatisation ;
- ✓ obturation effective des entrées et sorties d'air obturables.

Ces bons réflexes seront décrits dans la fiche de consignes.

### 9.2 Information des personnes : le plan de confinement et la signalisation

Notamment pour les établissements avec plusieurs locaux de confinement, il est utile de prévoir un plan de confinement diffusé et affiché largement. Ce plan de confinement précise la localisation des espaces de confinement et les cheminements pour y accéder.

Le plan de confinement peut être complété par une signalisation claire (flèches) pour faciliter les cheminements.

### 9.3 Matériel et équipements à prévoir dans le local de confinement

Un **escabeau** permet de faciliter le colmatage manuel, à l'aide de ruban adhésif sur les portes, fenêtres, interrupteurs, prises, plafonniers, etc... Ce confinement non structurel effectué par les occupants pendant la crise, permet d'augmenter significativement l'efficacité du confinement.

Le **ruban adhésif** est un ruban spécial étanche à l'air, en papier crêpe de 40 à 50 mm de large. La quantité de ruban adhésif doit être suffisante par rapport au linéaire à recouvrir : linéaire des fenêtres et des portes, nombre de prises et d'interrupteurs, etc...

Une **armoire de sécurité** située dans le local comporte de manière permanente le matériel nécessaire pour une durée de confinement donnée :

- ✓ Le ruban adhésif pour renforcer la protection ;
- ✓ Un ou deux seaux en cas d'absence de sanitaires ;
- ✓ Des bouteilles d'eau même si présence d'un point d'eau ;
- ✓ Des occupations **calmes** pour les personnes pendant le confinement (ex. lecture, jeux de société). Exclure toute activité dégageant de la chaleur (TV, ordinateur, etc.) ou du dioxyde de carbone en grande quantité ;
- ✓ Les linges en cas de picotements nasaux ;
- ✓ Un récepteur radio autonome . Il est recommandé d'inscrire la fréquence donnée par les services de secours sur le poste de radio ;
- ✓ Une lampe de poche ;
- ✓ Des piles de rechange ;
- ✓ Une **fiche de consignes** précisant les actions à mener avant, pendant et après l'alerte.



Les effets secondaires du confinement (hausse de la température, raréfaction en oxygène et augmentation du dioxyde de carbone) augmentent avec l'activité des personnes confinées.

### 9.4 Savoir gérer la crise : rôle de la fiche de consignes

Il est indispensable d'établir une fiche de consignes précisant les actions à réaliser au moment, pendant et après l'alerte. Cette fiche doit être disponible dans le local de confinement ou dans l'armoire de confinement. Elle doit être connue des différentes personnes susceptibles de se regrouper dans le local. Cette fiche doit être établie au cas par cas, et prendre en compte le contexte et les spécificités de l'opération.

Elle peut être établie en reprenant les informations précisées dans la figure suivante, extraite de la fiche technique CETE « *Fiche de consignes : règles comportementales pour un confinement efficace* » ([6] ).



La fiche de consignes doit être cohérente avec les plans servant à la gestion de la crise sur le territoire (PCS, PPMS, PPI).

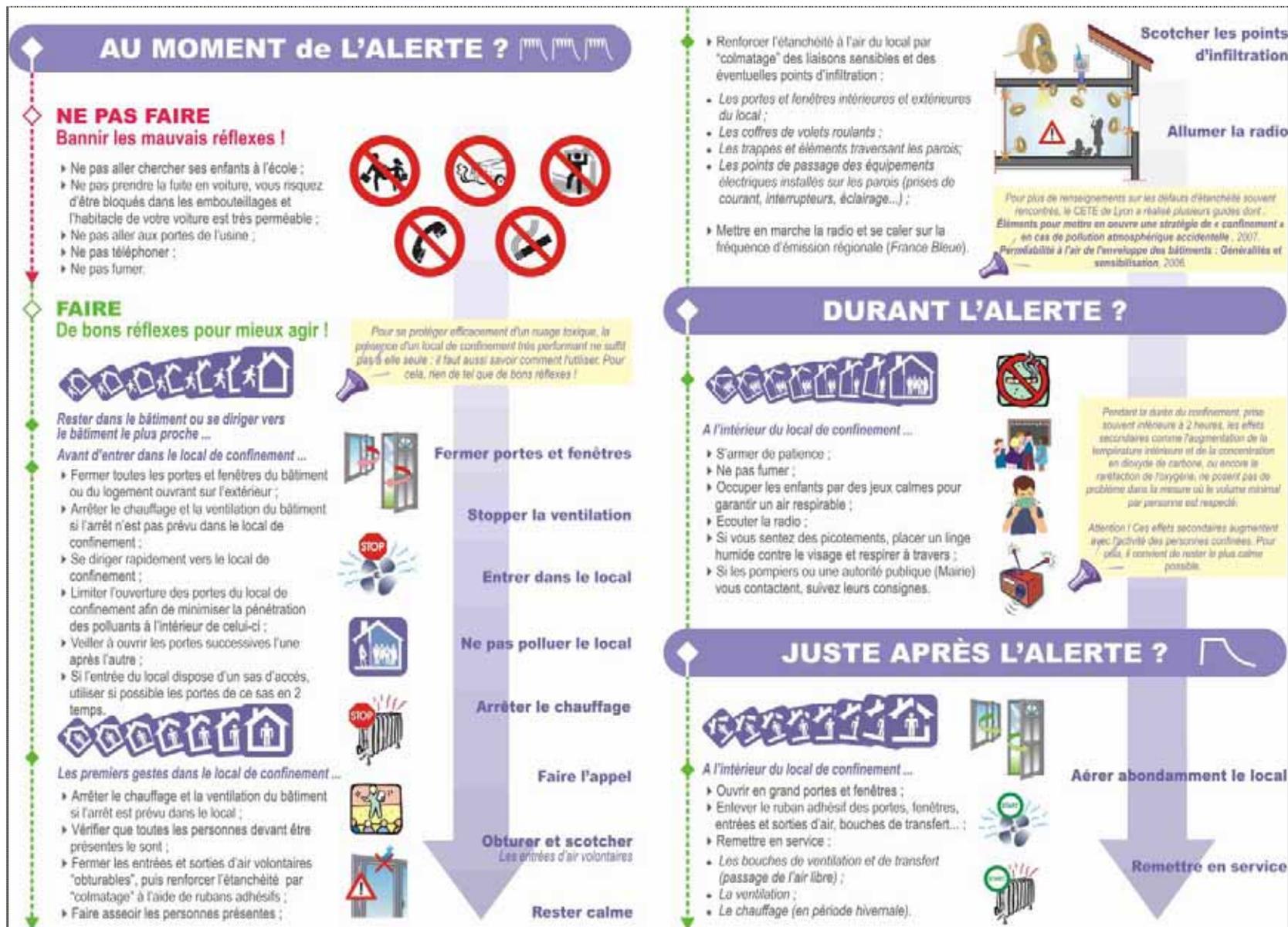


Figure 19: Extrait de la fiche technique CETE « Fiche de consignes : règles comportementales pour un confinement efficace » ([5]).

## 9.5 L'exercice annuel d'alerte

Un premier exercice d'alerte peut permettre de valider le choix des locaux de confinement, ou au contraire révéler des dysfonctionnements non identifiés préalablement.

Un exercice annuel d'alerte est également essentiel.

### Il informe :

- ✓ En faisant comprendre le plan de confinement ainsi que les éléments de signalisation, afin de connaître le local de confinement le plus proche et le cheminement associé ;
- ✓ En faisant connaître la fiche de consignes ;
- ✓ En faisant connaître la procédure générale de confinement.

### Il prépare, en familiarisant sur les mesures à prendre :

- ✓ Fermeture des portes et fenêtres extérieures de l'ensemble du bâtiment ;
- ✓ Coupure des systèmes de chauffage, ventilation et climatisation ;
- ✓ Obturation éventuelle des entrées d'air volontaires et des extractions ;
- ✓ Renforcement de l'étanchéité des fenêtres du local par la pose d'adhésif.

### Il permet de vérifier que les signaux de début et de fin d'alerte :

- ✓ Sont connus et reconnus ;
- ✓ Sont entendus par toutes les personnes ;
- ✓ Ne sont pas confondus avec d'autres signaux tels que celui d'alerte incendie.

## 9.6 Maintenance du local de confinement

L'objectif d'une maintenance annuelle est de garantir la pérennité de l'efficacité du confinement.

Elle permet de vérifier le bon fonctionnement :

- ✓ De la coupure des systèmes de climatisation, ventilation et chauffage ;
- ✓ Des clapets sur les conduits de ventilation s'il y a lieu.

Elle est l'occasion de :

- ✓ Remplacer le jeu de piles et vérifier le fonctionnement du récepteur de radio;
- ✓ Vérifier l'état des joints des fenêtres et des portes.

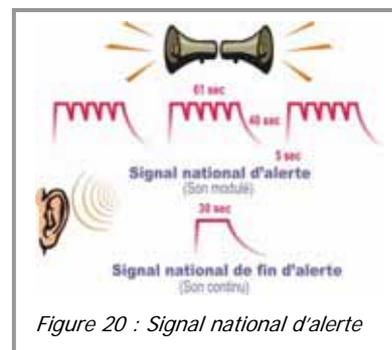


Figure 20 : Signal national d'alerte

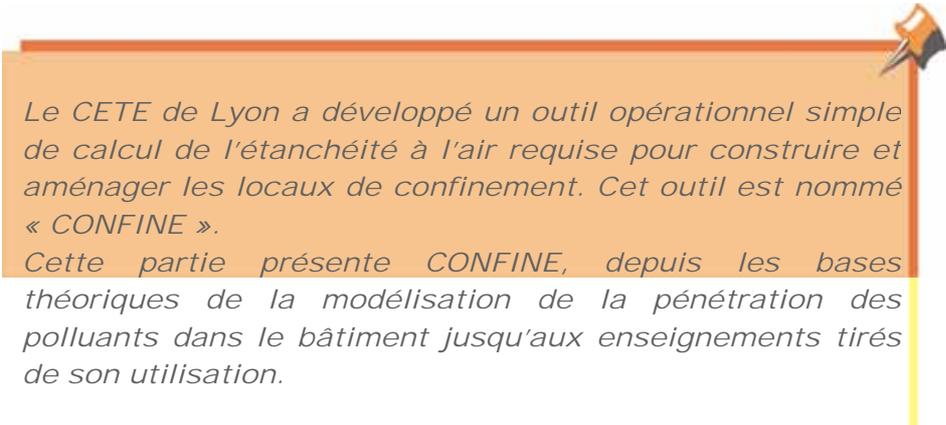


Plus rapidement les personnes reçoivent l'information de début et de fin d'alerte, la comprennent puis la traduisent en de bons réflexes, plus le confinement sera efficace.

Tous les deux ans, il est important de changer les rubans adhésifs (noter, sur les rouleaux, la date de mise en place et la date probable du changement). Pour éviter leur détérioration, il est conseillé de les placer dans une poche en plastique bien fermée.



## Partie 3 : Calculer l'exigence d'étanchéité à l'air d'un local confiné. L'outil CONFINE du CETE de Lyon.



*Le CETE de Lyon a développé un outil opérationnel simple de calcul de l'étanchéité à l'air requise pour construire et aménager les locaux de confinement. Cet outil est nommé « CONFINE ».*

*Cette partie présente CONFINE, depuis les bases théoriques de la modélisation de la pénétration des polluants dans le bâtiment jusqu'aux enseignements tirés de son utilisation.*

## 10 Contenu de l'outil CONFINE

Les bases théoriques de la modélisation utilisée dans CONFINE sont plus amplement détaillées dans le rapport du CETE de Lyon « CONFINE 2.0. Modélisation des transferts aérauliques en situation de confinement » [8] ).

### 10.1 Destination de l'outil

Un utilisateur de l'outil CONFINE est responsable de l'exploitation qu'il en fait. Pour cette raison, l'outil CONFINE est destiné à des bureaux d'études expérimentés en matière de modélisation des échanges aérauliques.



### 10.2 Principe du modèle aéraulique

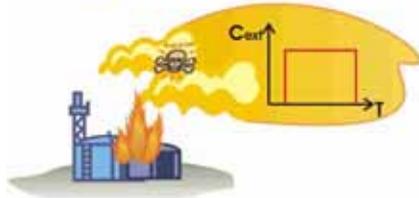
L'outil CONFINE (Figure 21) permet de calculer, sous certaines hypothèses, la valeur maximale admissible de perméabilité à l'air du local de confinement afin de protéger les personnes confinées d'effets irréversibles. Le calcul est réalisé à partir de scénarios pénalisants de pollution extérieure.

L'outil doit être opérationnel, le calcul de l'évolution de la concentration d'un produit toxique dans un local confiné repose donc sur certaines hypothèses explicitées ci-après.

La simulation aéraulique prend en compte les données climatiques : températures, vitesse de vent, stabilité atmosphérique.

## Données d'entrée

### Nuage toxique



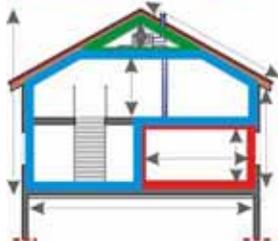
- Profil(s) de concentration extérieure
- Seuil(s) de toxicité

### Conditions extérieures



- Vitesse et direction du vent
- Stabilité atmosphérique
- Température extérieure
- Rugosité du terrain

### Bâtiment



#### Caractéristiques géométriques :

- Volume des zones
- Surfaces des parois séparatives
- Coefficients de pression en façade

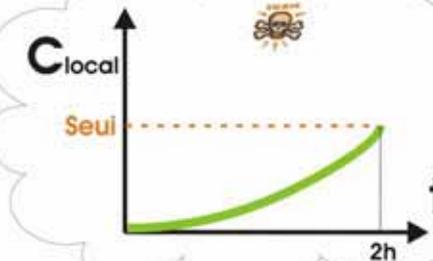


#### Caractéristiques aérauliques :

- Perméabilité à l'air du bâtiment et des combles
- Perméabilité à l'air du local de confinement

Paramètre ajustable

## Résultat : concentration dans le local de confinement



Tant que la concentration dans le local au bout de 2 heures dépasse la concentration seuil



Figure 21 : Tableau de principe de CONFINE

### 10.3 Représentation géométrique

Le bâtiment est représenté de manière simplifiée en 3 zones aérauliques :

- le local confiné ;
- les combles non aménagés ;
- le reste du bâtiment.

Chaque zone a une concentration en polluant, une température, une pression supposées uniformes, une valeur de perméabilité à l'air.

Dans cette représentation géométrique simplifiée, il est important que certaines caractéristiques comme le volume des zones et leur perméabilité soient globalement préservées par rapport au bâtiment réel.

### 10.4 Hypothèses du modèle aéraulique

Les phénomènes moteurs généralement retenus pour modéliser les transferts aérauliques en bâtiment sont : le vent ; le tirage thermique induit par les gradients de masse volumique de l'air ; les systèmes de ventilation mécanique. Ces trois phénomènes génèrent des flux d'air indissociables : notamment, tous les trois ont un effet sur les différences de pression de part et d'autre des défauts d'étanchéité de l'enveloppe et donc sur les flux d'air parasites.

#### 10.4.1 Isolement des flux d'air volontaires

La modélisation de CONFINE repose sur l'hypothèse d'une annulation des flux d'air volontaires entre le local et le reste du bâtiment, et entre le bâtiment et l'extérieur pendant la durée du confinement : systèmes de chauffage, ventilation et climatisation arrêtés dans tout le bâtiment, portes et fenêtres fermées dans tout le bâtiment, orifices volontaires obturés dans le bâtiment.

Cette hypothèse prise, conformément aux définitions courantes du confinement passif, il reste à intégrer les effets du vent et du tirage thermique sur les écoulements à travers les inétanchéités du bâtiment et du local.

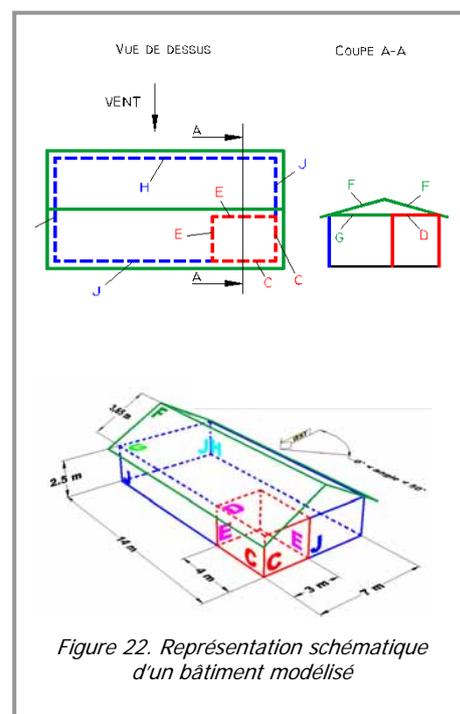


Figure 22. Représentation schématique d'un bâtiment modélisé

#### 10.4.2 Le vent

Le vent modifie la pression au niveau d'un orifice donnant sur l'extérieur. Classiquement, dans les modèles aérauliques de « zone », on utilise des coefficients de pression disponibles dans la littérature pour déduire la pression sur une façade. Pour la surface  $i$ , et pour une incidence de vent donnée, le coefficient de pression est défini par :

$$C_{p,i} = \frac{p_{\text{surf},i}}{0.5 \rho v^2}$$

Équation 5 : Pression en façade due au vent

où :

$p_{\text{surf},i}$  est la pression provoquée par le vent au niveau de la surface  $i$  (Pa),

$\rho$  est la masse volumique de l'air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), et

$v$  est la vitesse du vent sur le bâtiment (m/s).



Par ailleurs, la vitesse du vent est généralement corrigée pour prendre en compte les différences entre des données issues de stations météo, c'est-à-dire, généralement en site ouvert et plat, et la vitesse à proximité du bâtiment considéré. Différentes relations existent pour réaliser cette correction. CONFINE propose un choix entre trois types d'entre elles.

#### 10.4.3 Le tirage thermique

Le tirage thermique résulte de la différence des masses volumiques entre l'air extérieur et l'air intérieur. Pour le prendre en compte, il convient de corriger les pressions en prenant en compte la variation de pression avec la hauteur. Dans l'hypothèse d'équilibre hydrostatique :

$$P(h) = P_0(h_{\text{ref}}) + p(h) = P_0(0) - \rho_0 g h_{\text{ref}} + p(h_{\text{ref}}) - \rho g (h - h_{\text{ref}})$$

Équation 6 : Expression de la pression à une hauteur  $h$

où :

$P$  est la pression absolue (Pa),

$p$  est la pression relative à la pression atmosphérique à hauteur identique (Pa),

$\rho$  est la masse volumique de l'air ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$g$  est l'accélération de la pesanteur ( $= 9.81 \text{ m}/\text{s}^2$ ),

$h$  est la hauteur du défaut par rapport au sol (m),

$h_{\text{ref}}$  est la hauteur de référence de la zone (m),

$0$  est un indice désignant une caractéristique de l'atmosphère.

#### 10.4.4 Débit d'air entre deux zones adjacentes

Le débit volumique d'air passant par un petit orifice tel qu'un défaut d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment soumis à une différence de pression peut être exprimé par une relation du type :

$$q_{v,i,j} = C < P_{t,j} - P_{t,i} >^n$$

Équation 7 : Expression du débit d'air à travers un petit orifice

où :

- $q_{vi}$  est le débit volumique d'air ( $m^3 s^{-1}$ )  
 $C$  est le coefficient de perméabilité à l'air du défaut ( $m^3 s^{-1} Pa^{-n}$ )  
 $P_t$  est la pression totale de part et d'autre du défaut intégrant les effets du vent et du tirage thermique (Pa)  
 $n$  est un exposant caractéristique de l'écoulement, variant entre 0.5 pour un écoulement inertiel et 1 pour un écoulement laminaire,  
 $i,j$  sont des indices relatifs aux zones de part et d'autre du défaut, et  
 $<a>^n = \text{signe}(a) |a|^n$  par convention.

Dans CONFINE, seul ce type d'ouverture est pris en compte. De plus, CONFINE suppose que la perméabilité des parois peut être résumée à un seul défaut d'étanchéité affecté à chaque type de parois, celles-ci étant classées selon leur orientation et les milieux qu'elles séparent. L'exposant est généralement forfaitisé à 2/3, valeur moyenne constatée sur de nombreuses constructions.

#### 10.5 Système mathématique à résoudre

Il s'agit de déterminer les pressions inconnues dans les 3 zones du modèle. Pour cela, sur chaque zone, nous écrivons une équation de bilan, sachant que les flux d'air entrants et sortants doivent s'équilibrer. Cette équation prend la forme générique suivante indiquant que la somme algébrique des débits massiques reçus dans la zone  $i$  doit être nulle :

$$\sum_{j,k} q_{m,i,j,k} = 0$$

Équation 8 : Système non linéaire à résoudre pour déterminer les débits interzones

Dans CONFINE, un système non-linéaire de 3 équations à 3 inconnues ( $p_1, p_2, p_3$ ) est résolu. Les pressions dans les 3 zones du bâtiment sont ainsi déterminées.

Les flux de polluants dans les différentes zones sont le produit du flux d'air correspondant par la concentration du polluant dans la zone d'où provient l'air. On peut alors écrire le système suivant d'équations différentielles de premier ordre :

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = \sum_j (q_{v,entrant,i,j} C_j) - q_{v,sortant,i} C_i$$

pour  $i = 1, 2, 3$

*Equation 9 : Equations à résoudre pour le calcul des concentrations dans chaque zone*

avec les conventions suivantes :

- $C_i, C_j$  concentrations dans les zones  $i$  et  $j$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- $q_{v,entrant,i,j}$  débit d'air en provenance de la zone  $j$  entrant dans la zone  $i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $q_{v,sortant,i}$  débit d'air sortant de la zone  $i$  ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
- $\sum_j$  somme pour les indices  $j$
- $V_i$  volume de la zone  $i$  ( $\text{m}^3$ ).

La résolution de ce système permet de déterminer l'évolution de la concentration en polluant dans les différentes zones.

### **10.6 Exemples de sorties de CONFINE**

CONFINE permet de :

- ✓ calculer la perméabilité à l'air maximale admissible du local de confinement afin d'assurer un niveau de protection donné,
- ✓ générer des graphes d'évolution de la concentration dans chacune des 3 zones : combles, local confiné et reste du bâti,
- ✓ déduire l'évolution de la dose reçue dans le local.

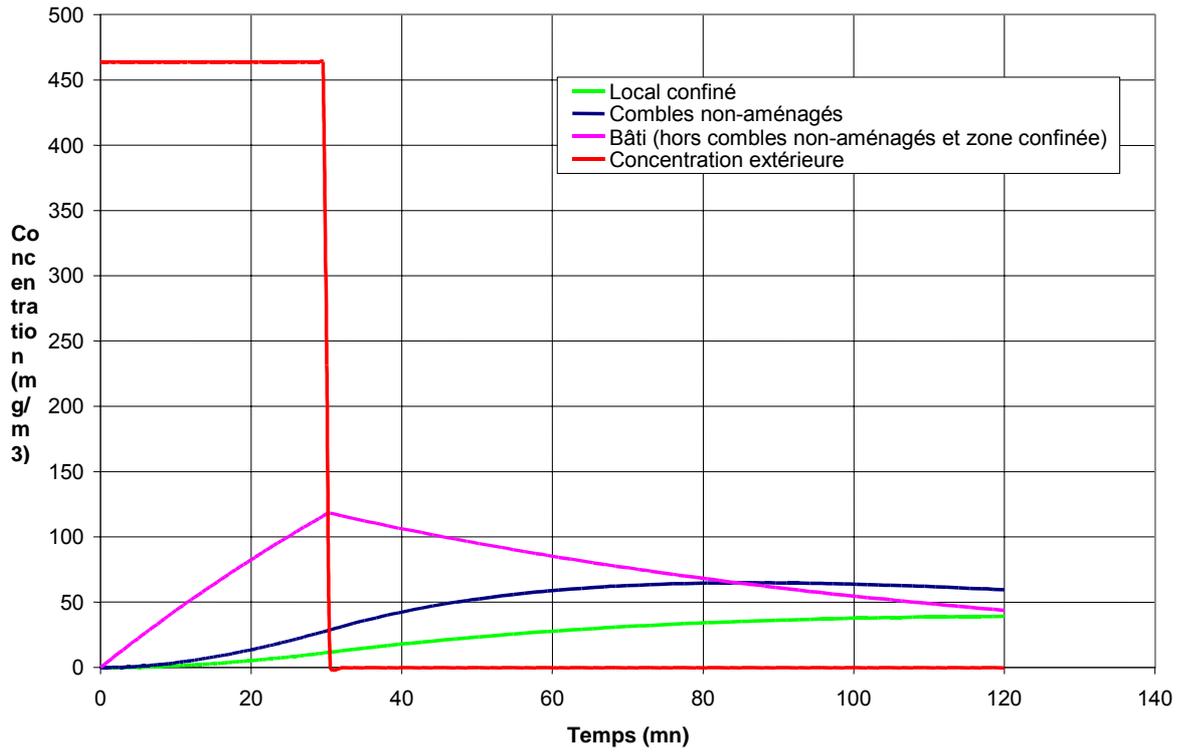


Figure 24. Évolution de la concentration dans les différentes zones.

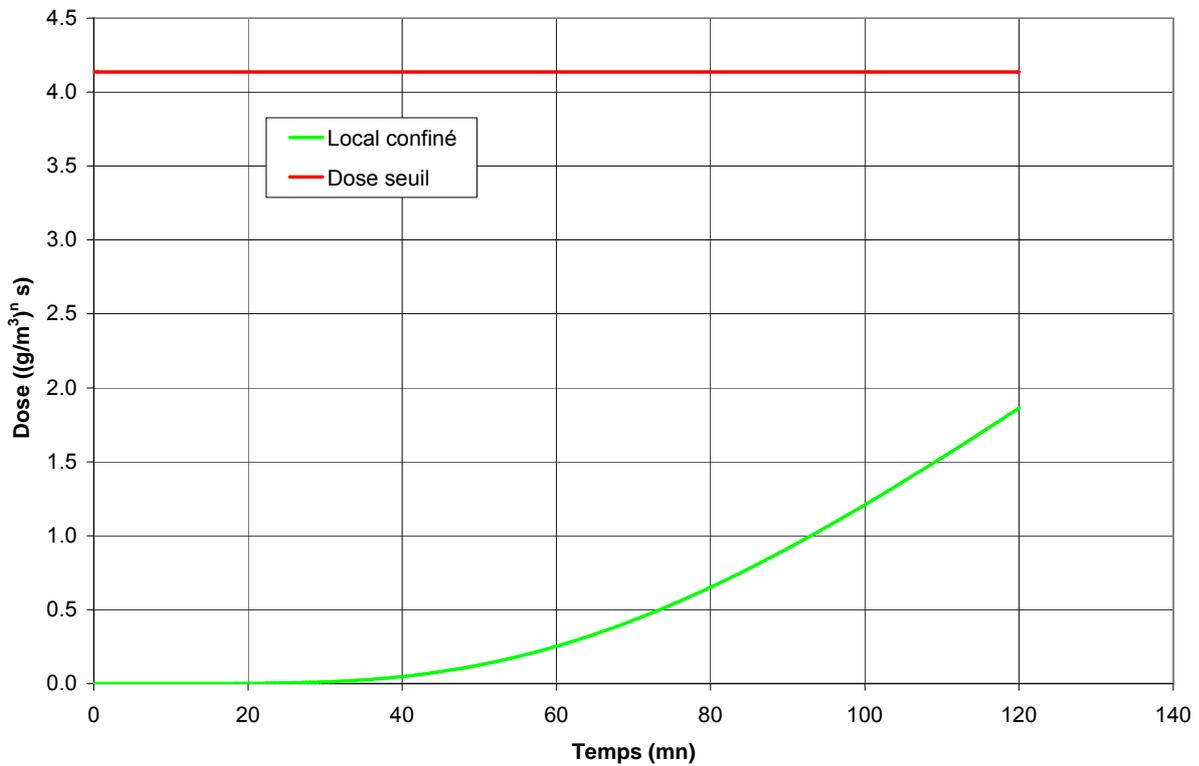


Figure 25. Évolution de la dose dans la zone confinée. Par défaut, la dose seuil correspond à la dose conduisant aux effets irréversibles

## 11 Applications de l'outil CONFINE : quelques enseignements

L'outil CONFINE a permis de mettre en évidence très clairement l'influence sur l'efficacité du confinement de certains paramètres comme l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment et du local de confinement, la vitesse du vent, ou encore l'exposition du local par rapport au site industriel.

### 11.1 Mise en évidence de l'influence de l'étanchéité à l'air du local de confinement

Les deux graphes suivants ont été réalisés sur un même bâtiment, exposé de la même façon au site industriel, soumis à un même créneau de concentration extérieure du même gaz toxique, avec les mêmes conditions climatiques, seule la valeur d'étanchéité à l'air du local de confinement varie entre  $n_{50}=0.6$  vol/h et 5 vol/h.

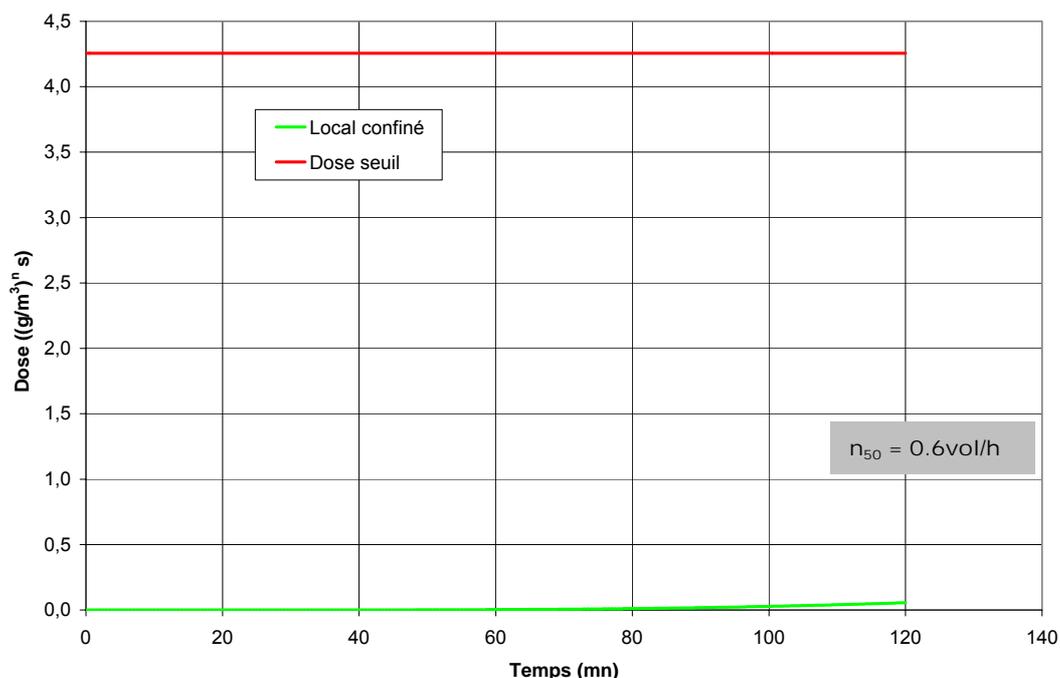


Figure 26 : Évolution de la dose dans un local de perméabilité à l'air 0.6vol/h à 50 Pa. Scénario de fuite de chlore « 2p-5D-350m »

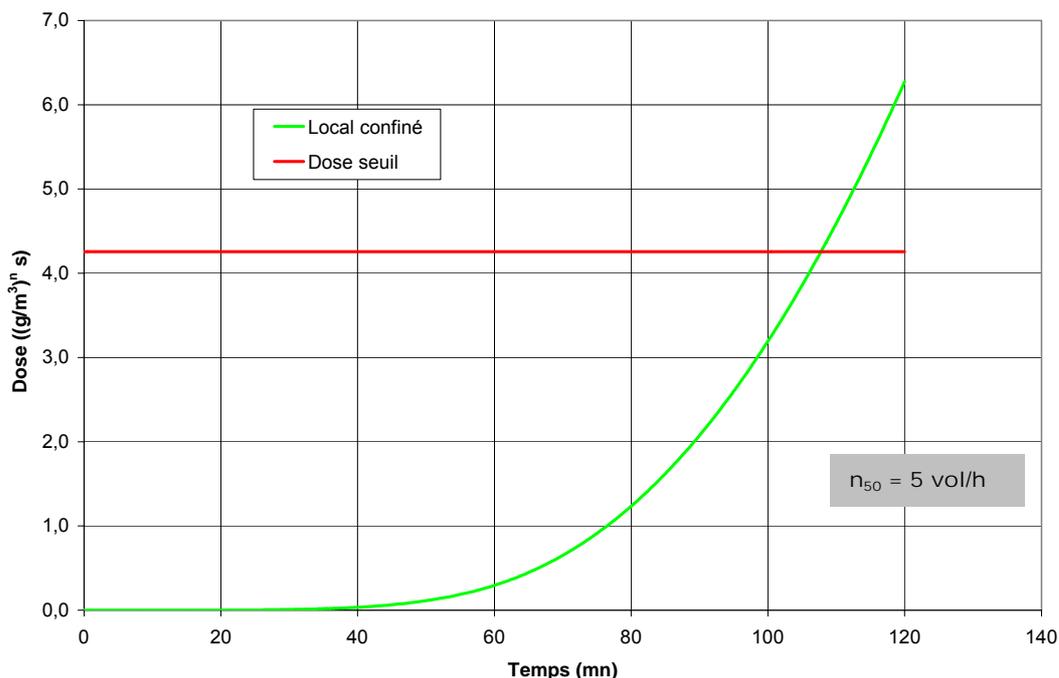


Figure 27 : Évolution de la dose dans un local de perméabilité à l'air 5vol/h à 50 Pa. Scénario de fuite de chlore « 2p-5D-350m »

Dans ce scénario, on observe que des personnes confinées pendant 2 heures dans un local de confinement de perméabilité à l'air 5 vol/h à 50 Pa ne seront pas protégées des effets irréversibles. Dans ce cas, la Figure 27 montre que la dose reçue à l'intérieur du local atteint la dose correspondant aux effets irréversibles au bout de moins 110 minutes de confinement. Pour le même scénario, un local de confinement de perméabilité à l'air 0.6 vol/h à 50 Pa protégera efficacement les personnes confinées pendant 2 heures. Au bout de 2 heures, la Figure 26 montre que la dose reçue est inférieure au dixième de la dose correspondant aux effets irréversibles.

### 11.2 Mise en évidence de l'exposition du local par rapport au site industriel

Les deux graphes suivants ont été réalisés sur un même bâtiment, soumis à un même créneau de concentration extérieure du même gaz toxique, avec les mêmes conditions climatiques, seule l'exposition au site industriel varie. Dans un cas, le site industriel « fictif » est placé face au local de confinement qui lui est directement exposé. Dans l'autre cas le site industriel fictif est placé à l'opposé, le local est alors protégé du site industriel.

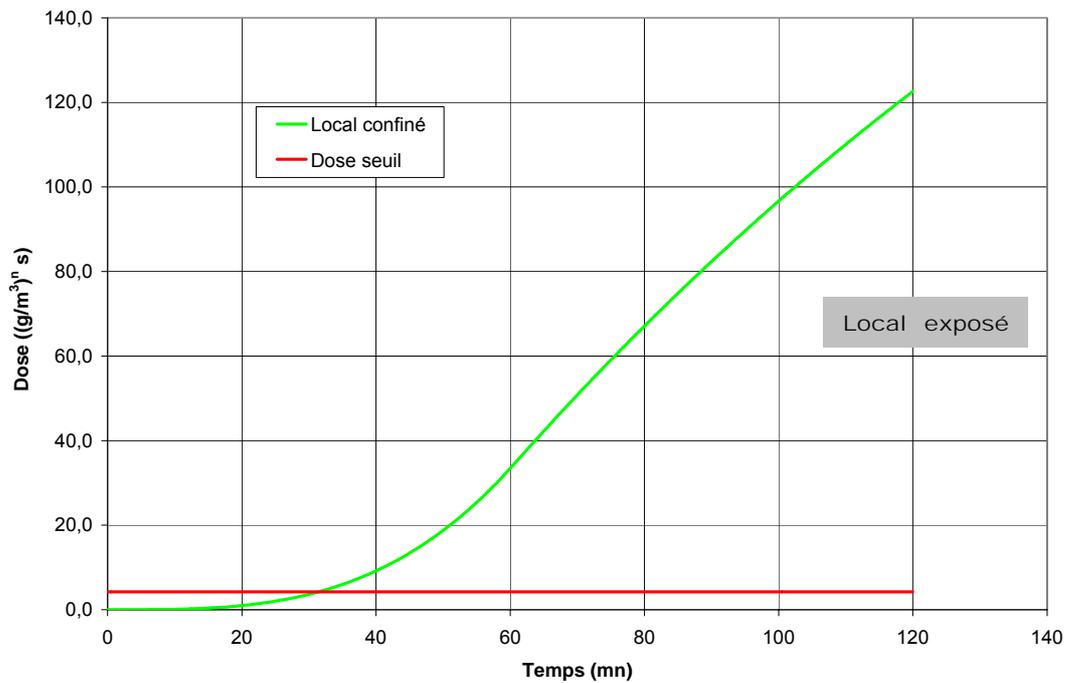


Figure 28 : Évolution de la dose dans un local exposé au site industriel, de perméabilité à l'air 2.5vol/h à 50 Pa. Scénario de fuite de chlore « 2p-5D-350m »

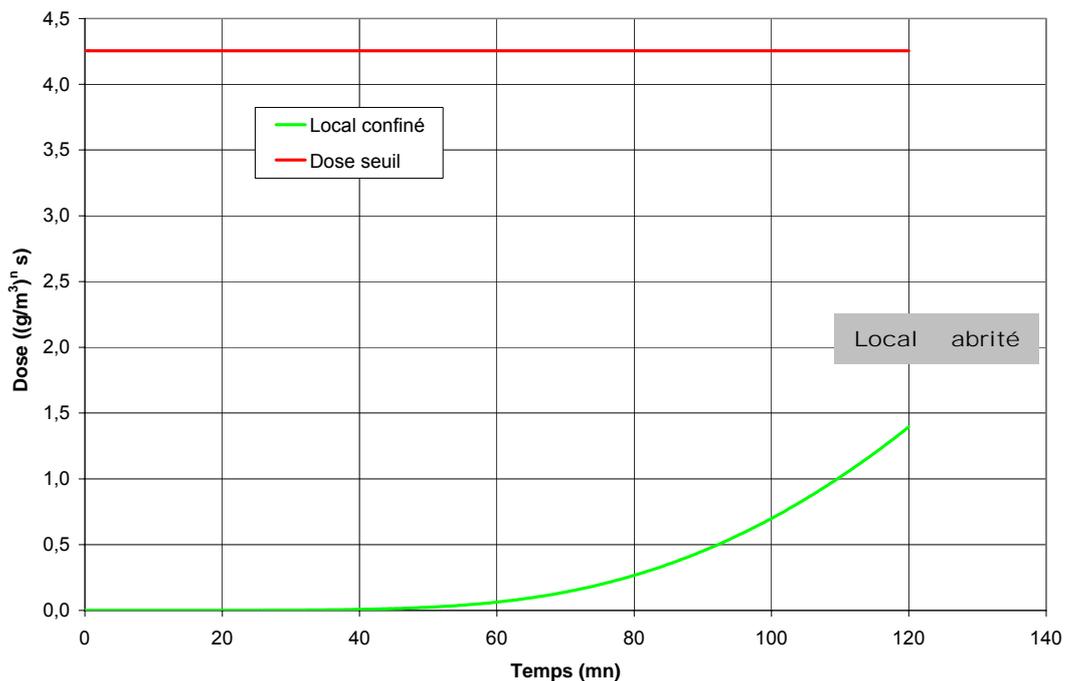


Figure 29 : Évolution de la dose dans un local abrité du site industriel, de perméabilité à l'air 2.5vol/h à 50 Pa. Scénario de fuite de chlore « 2p-5D-350m »

Dans ce scénario, on observe que des personnes confinées pendant 2 heures dans un local de confinement exposé au site industriel ne seront pas protégées des effets irréversibles. La Figure 28 montre que la dose reçue à l'intérieur du local atteint la dose correspondant aux effets irréversibles au bout de 30

minutes de confinement. Pour le même scénario, un local de confinement abrité du vent protégera efficacement les personnes confinées pendant 2 heures. Au bout de 2 heures, la Figure 29 montre que la dose reçue est proche du tiers de la dose correspondant aux effets irréversibles.

### **11.3 Mise en évidence de l'influence de la vitesse du vent**

L'augmentation de la vitesse de vent présente deux conséquences « contradictoires » sur le confinement :

- ✓ D'une part, la dispersion des polluants dans l'atmosphère augmente et le profil de concentration à prendre en compte pour le dimensionnement de l'étanchéité à l'air du local diminue ;
- ✓ D'autre part, la pression due au vent s'exerçant sur les façades du bâtiment augmente (Équation 5), ce qui amplifie la pénétration des polluants dans le bâtiment et vers le local de confinement.

Il est donc difficile de déterminer a priori si les fortes vitesses de vent augmentent ou diminuent la concentration en gaz toxique dans le local de confinement.

La modélisation de la concentration extérieure du nuage toxique sous diverses conditions météorologiques<sup>6</sup>, associée à la modélisation de la pénétration du polluant dans le bâtiment<sup>7</sup>, a permis de quantifier la part respective de chacun de ces deux effets « contradictoires » sur le confinement.

La Figure 30 montre très clairement que **malgré la dilution à l'extérieur, les fortes vitesses de vent augmentent très fortement la concentration en gaz toxique à l'intérieur du local de confinement.**

Sur le scénario étudié, le passage d'un vent de 3m/s (3F) à 15m/s (15D) entraîne une diminution d'un facteur proche de 18 de la concentration extérieure. Celle-ci passe de 3915 mg/m<sup>3</sup> à 217.5 mg/m<sup>3</sup>. Néanmoins la dose reçue dans le local au bout de 2 heures de confinement est multipliée par 27. Cette dernière passe de 4.5 (g/m<sup>3</sup>)<sup>n</sup>.s à 122(g/m<sup>3</sup>)<sup>n</sup>.s. La dose correspondant aux effets irréversibles est dans le premier cas atteinte au bout de près de 2 heures de confinement, alors qu'avec un vent de 15m/s, elle est atteinte au bout de seulement 40 minutes.

---

<sup>6</sup> Réalisée par l'INERIS

<sup>7</sup> Réalisée par le CETE de Lyon

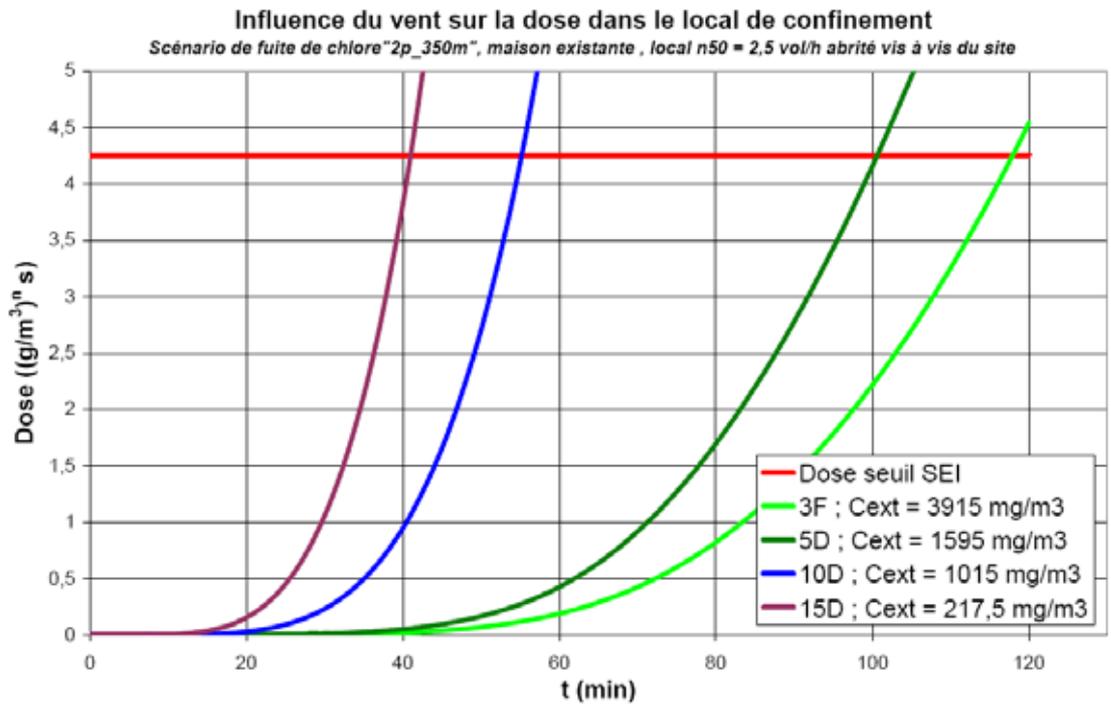
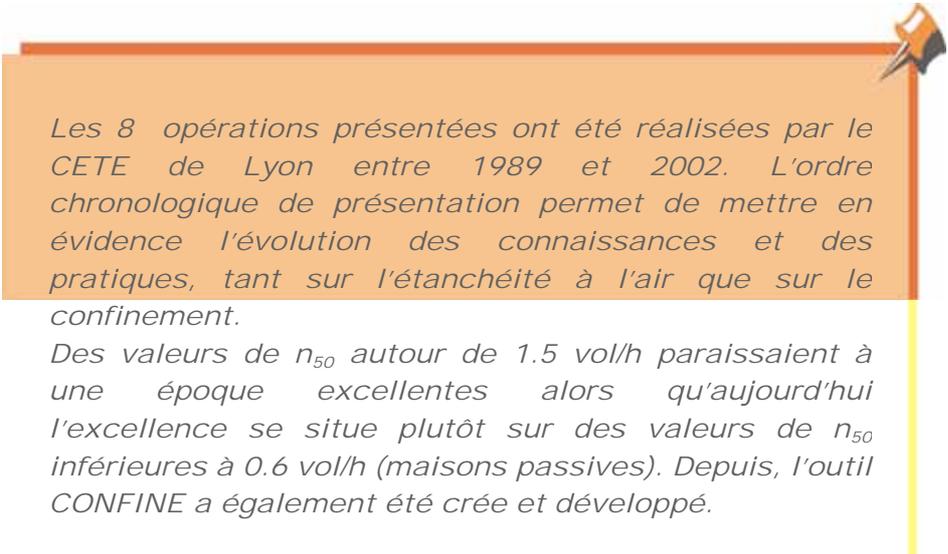


Figure 30: Influence de la vitesse de vent sur la dose dans un local de confinement de perméabilité à l'air 2.5vol/h à 50 Pa. Scénario de fuite de chlore « 2p-350m ». Source : INERIS-CETE de Lyon

Ce constat converge avec les conclusions d'une étude de sensibilité réalisée sur les différents paramètres d'entrées de CONFINE (G.Guyot, 2007,[29] ), dans laquelle il a été montré que la vitesse du vent était le paramètre le plus influant sur l'efficacité du confinement, devant l'étanchéité à l'air du bâtiment et du local.



## Partie 4 : Huit fiches de cas



*Les 8 opérations présentées ont été réalisées par le CETE de Lyon entre 1989 et 2002. L'ordre chronologique de présentation permet de mettre en évidence l'évolution des connaissances et des pratiques, tant sur l'étanchéité à l'air que sur le confinement.*

*Des valeurs de  $n_{50}$  autour de 1.5 vol/h paraissent à une époque excellentes alors qu'aujourd'hui l'excellence se situe plutôt sur des valeurs de  $n_{50}$  inférieures à 0.6 vol/h (maisons passives). Depuis, l'outil CONFINE a également été créé et développé.*

## 12 Opération « Jean Moulin »

Pont de Claix (Isère)

### Opération de construction neuve

Remplacement de 3 Tours  
« Tritons-Hérons » de 135 logements  
Construction de 56 logements :  
- 34 logements collectifs en 3 bâtiments  
- 22 logements individuels

**Maître d'ouvrage :** OPAC 38

**Permis de construire :** 10 mars **1989**

**Réception des travaux :**

- logements individuels : juillet **1990**
- logements collectifs : mai **1991**

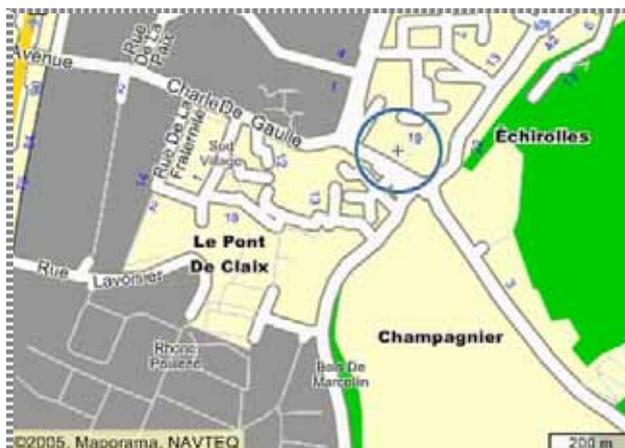


### Situation géographique

Les bâtiments se situent à environ 2000 m au nord du point origine supposé de l'accident. Le terrain est situé en Zone Z2 du POS.

### Exposition au risque

Il y a un risque de pollution par nuage toxique. Il n'y a pas de risque thermique, ni de surpression.



### Exigences du permis de construire

Le permis de construire demande que 30% de la surface des locaux, avec un minimum de 20 m<sup>2</sup>, soient des locaux de confinement où « *le taux de renouvellement d'air pourra être ramené rapidement à 0.05 vol/h* ».

Cette exigence est surdimensionnée pour la taille des locaux de confinement. Elle n'est pas explicite quant à l'étanchéité à l'air du logement puisque le taux de renouvellement d'air n'est pas donné à une dépression de référence (4 Pa pour le I<sub>4</sub>, 10 Pa pour le n<sub>10</sub> et 50 Pa pour le n<sub>50</sub>).

### Description de l'opération

Il s'agit d'une opération mixte de 34 logements collectifs et 22 logements individuels « en bande ». Les logements collectifs sont construits en béton banché avec isolation intérieure, dalles en B.A. ainsi que la dalle sous combles, menuiserie PVC classement A3. Les logements individuels sont construits en « agglomérés » avec

isolation intérieure, menuiserie PVC classement A3. Le pare-vapeur est réalisé par un film polyane continu, un espace sous fermettes est aménagé pour laisser place au réseau de ventilation. La consultation des entreprises a été du type appel d'offres ouvert en lots séparés.

### Éléments de conception pour le confinement

La contrainte principale est liée à la mise en place d'un dispositif de ventilation double flux : local technique plus vaste, réseau plus important pour passage des gaines d'insufflation, passage en double plafond dans les halls et circulations.

- L'ensemble de chaque logement est confiné ;
- L'aspiration et le rejet d'air sont équipés de clapets étanches asservis à un interrupteur dans chaque logement ;
- Les traversées de l'enveloppe ont été particulièrement bien étudiées.

Les résultats des mesures d'étanchéité à l'air sont très dispersés : de  $n_{50}=1.3$  à 7 vol/h pour les logements collectifs et de  $n_{50}=2$  à 4.6 vol/h pour les logements individuels.

### Coûts

Lors de la réalisation, le maître d'ouvrage a estimé le surcoût dû au confinement :

- en individuels 4 600 F HT pour le double flux, 1 800 F HT pour les suppléments d'étanchéité demandés aux entreprises. Ne sont pas comptées les prestations qualitatives de la part des entreprises et de l'ingénierie.

- en collectifs 5 800 F HT pour le double flux, 3 700 F HT pour les suppléments d'étanchéité demandés aux entreprises. Ne sont pas comptées les prestations qualitatives de la part des entreprises et de l'ingénierie.

### Enseignements à tirer

Parmi les facteurs d'échec de cette opération, on notera :

- Le manque de concertation des acteurs dès le programme.
- L'objectif trop ambitieux de confiner l'ensemble du logement. Il est préférable de se concentrer sur une pièce, une chambre de préférence dans la construction neuve ; d'autant plus qu'il a été depuis montré que le confinement était alors plus efficace.
- Les nombreux changements de compagnons non informés et non formés pour la démarche. Tous les corps de métiers doivent unir leurs efforts pour des opérations aussi ambitieuses et inhabituelles. Il demeure beaucoup de formation à réaliser pour que les entreprises et leurs compagnons comprennent que l'atteinte des objectifs dépend essentiellement d'eux et que l'essai de réception sanctionne leurs faiblesses.
- Le manque de soin apporté aux points faibles de la ventilation double flux, notamment les nombreux percements de l'enveloppe, et les défauts d'étanchéité des clapets utilisés.

Ces remarques peuvent être tempérées, s'agissant de la première opération dont la perméabilité à l'air ait été contrôlée.

## 13 Opération « École V. Pignat »

Jarrie ( Isère)

### Construction et aménagement de locaux de confinement

École primaire de 315 personnes

**Maître d'ouvrage** : Commune de Jarrie

Architecte : Genève à Grenoble

Programme : Début 1993

Réception : Octobre 1994



### Situation géographique

L'école est située à Basse Jarrie au nord de la Gare, au cœur du village et à l'Est de l'usine.

### Exposition au risque

L'école est à 250 m au Nord-Est du stockage de chlore. La zone de l'école est située en zone Y, zone où les équipements existants peuvent être améliorés sous réserve de confinement et de non-augmentation de la fréquentation. Le risque provient essentiellement du chlore. La présence de chlorure de méthyle n'engendre pas de menace de suppression, ni de brûlure.



### Contexte de l'opération

Après la révision du POS intégrant la directive Seveso en 1992, la municipalité en concertation avec la population a décidé de renforcer sur place la protection des élèves en cas d'accident chimique, solution préférée à une délocalisation de l'école. Les travaux ont eu lieu pendant les vacances scolaires 1993.

### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Le confinement est obligatoire dans la zone. L'exigence du dossier après concertation des services de l'État est un renouvellement d'air dans les locaux de confinement qui doit être ramené rapidement à 1.1 vol/h sous 50 Pa.

### Description de l'établissement

Le groupe scolaire est formé de 2 entités, les classes primaires et l'école maternelle.

### **Nombre de personnes à mettre à l'abri**

Le nombre de personnes à mettre à l'abri simultanément est de 315 personnes. Les espaces de confinement devront avoir une surface minimum de 470 m<sup>2</sup> et un volume de 1135 m<sup>3</sup>.

### **Choix des pièces pour le confinement**

Pour l'école primaire, les espaces de confinement sont 3 salles spécialement construites pouvant servir : l'une de salle d'évolution ; les 2 autres de salle de projection-bibliothèque. La ligne directrice était de ne pas entraver la mise à l'abri par du mobilier. Ces 3 salles sont placées entre les classes construites en 1934 et sont accessibles sans passage extérieur. Elles ont pour dimensions : 270 m<sup>3</sup>, 257 m<sup>3</sup> et 418 m<sup>3</sup>.

Pour l'école maternelle, la salle dortoir sert de salle de confinement, elle a un volume de 330 m<sup>3</sup>.

### **Éléments de conception et travaux réalisés pour le confinement**

Les caractéristiques des 3 salles construites pour le confinement de l'école primaire sont :

- Structure en pavillons boîtes en béton coulé en place,
- Sas au niveau des entrées et sorties de secours,
- Baies limitées et fixes,
- Ventilation de type double flux sur registres étanches asservis à une fermeture automatique,
- Pénétrations (électricité, téléphone, eau, assainissement) limitées,
- Sanitaires intégrés.

Pour l'école maternelle, la salle de confinement a été « mise à nu » :

- les pénétrations ont été traitées,
- les ouvrants remplacés par des châssis fixes,
- le plafond est constitué de 2 épaisseurs de plaques de plâtre avec traitements particuliers des joints et jonctions,
- la ventilation double flux ainsi que les clapets coupe-feu des arrivées et départs sont commandés par un arrêt coup de poing.

Les travaux ont été effectués par un groupement d'entreprises. Plusieurs réunions de préparation de chantier ont permis de sensibiliser les entreprises et d'apporter des solutions aux points singuliers. Un plan qualité a été mis en œuvre dès la préparation du chantier et pendant toute la durée du chantier. Il a permis de réduire les malfaçons.

Les mesures de réception ont eu lieu d'août à octobre 1994 en fonction de l'avancement des chantiers. Tous les résultats sont excellents soit de 0.15 à 0.53 vol/h sous 50 Pa, très inférieurs à l'exigence de 1.1 vol/h sous 50 Pa.
--

### *Enseignements à tirer*

Ces excellents résultats montrent qu'il est possible d'atteindre de très bons niveaux d'étanchéité. Les facteurs de réussite sont : la volonté du maître d'ouvrage ; la mise en place d'un plan qualité très sévère ; le professionnalisme des entreprises impliquées ; la concertation entre tous les acteurs ; et les choix architecturaux. L'utilisation des salles est limitée à des activités laissant l'espace libre pour une meilleure utilisation lors des alertes.

## 14 Immeuble « Le Ruchon »

Pont de Claix (Isère)

### Opération de réhabilitation - Agrandissement

28 logements type T4 collectifs en 2 cages d'escalier

**Maître d'ouvrage :** Ville de Pont de Claix (38)

**Maître d'œuvre :** Alain RIMET

Début de l'action **1992**

Essais sur logement témoin : 28 juillet 1993

Réception : 18 janvier **1994**



Façade Nord

### Situation géographique

L'immeuble est situé au sud de Grenoble, à Pont de Claix entre le cours Saint André et les voies de déchargement de l'usine Rhône Poulenc.



### Exposition au risque

L'immeuble est en limite de l'emprise de l'usine dans la zone dite Z1 soumise à restriction urbanistique. Le risque provient d'un nuage toxique de chlore. Il n'y a pas de risque thermique, ni de surpression.

### Contexte de l'opération

L'immeuble était une copropriété en difficulté financière, la commune a acquis les logements et décidé de les réhabiliter et les moderniser. Le but est de maintenir la population sans augmentation et en leur assurant plus de sécurité.

### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Le permis de construire demande que 30% de la surface des locaux, avec un minimum de 20 m<sup>2</sup>, soient des locaux de confinement où « *le taux de renouvellement d'air pourra être ramené rapidement à 0.05 vol/h* ».

Cette exigence est surdimensionnée pour la taille des locaux de confinement. Elle n'est pas explicite quant à l'étanchéité à l'air du logement puisque le taux de renouvellement d'air n'est pas donné à une dépression de référence (4 Pa pour le I<sub>4</sub>, 10 Pa pour le n<sub>10</sub> et 50 Pa pour le n<sub>50</sub>).

Après concertation, il a été décidé de créer un volume de confinement d'au moins un m<sup>2</sup> par personne et d'obtenir une étanchéité à l'air de 0.86 vol/h sous 50 Pa.

### **Description du bâtiment**

Il s'agit d'un bloc simple des années 1950 : ossature en béton et maçonnerie, planchers hourdis, doublages en briques plâtrières, menuiseries bois, chauffage individuel par poêle, ventilation naturelle par shunt.

### **Nombre de personnes à mettre à l'abri**

Dans cette stratégie de confinement, le nombre de personnes qui avait été pris en compte était le type de l'appartement soit 4 personnes pour un logement de type 4.

### **Choix des pièces pour le confinement**

Après analyse du bâti et concertation, il est apparu que les salles d'eau étaient les lieux les plus aptes au confinement malgré leur exigüité. En effet, les cuisines en extension étaient traversées par un joint de dilatation, une partie des chambres sont exposées côté usine. De plus, il semblait difficile de les équiper. La salle d'eau semblait plus facile à traiter. Elle a une surface de 4.77 m<sup>2</sup> et un volume de 11.95 m<sup>3</sup>.

### **Travaux réalisés pour le confinement**

Les travaux de réhabilitation concernaient l'agrandissement des cuisines par extension extérieure, des salles d'eau par annexion des séchoirs, des balcons par construction rapportée. Les prestations comprenaient : isolation par l'extérieur, remplacements des menuiseries extérieures par des menuiseries PVC, remises aux normes de l'installation électrique, chauffage individuel gaz par production d'eau chaude, ventilation mécanique contrôlée, charpente bois et couverture tuiles.

Les travaux spécifiques au confinement comprenaient :

- Agrandissement de la salle d'eau par annexion du séchoir,
- Claustra remplacée par un remplissage en blocs de béton,
- Incorporation d'une fenêtre PVC classée A3 posée sur un joint silicone,
- Mur extérieur avec enduit hydrofuge intérieur avant pose du doublage,
- Limitation des pénétrations,
- Porte d'accès de la salle d'eau équipée de joints périphériques et d'un seuil « suisse »,
- Mise en place d'une bouche obturable sur la porte,
- Pose de clapets coupe feu sur les conduits de ventilation,
- Commandes par « coup de poing » placées dans les escaliers pour l'arrêt de la ventilation.

Les mesures de perméabilité à l'air réalisées à la réception montrent une étanchéité variant de 0.29 à 1.75 volume par heure sous 50 Pa.

### **Règles comportementales pour le confinement**

Mise en place d'une armoire de confinement comprenant les consignes, le ruban adhésif, un poste de radio autonome fm.

*Enseignements à tirer*

Une très bonne étanchéité a pu être obtenue. La situation des salles d'eau enchâssées dans les logements et n'ayant qu'une paroi en façade opposée à l'usine permet d'escompter une plus grande difficulté du polluant à s'introduire dans la pièce.

Onze ans après la réalisation des travaux de confinement, il a été constaté quelques dérives qui peuvent perturber l'efficacité du confinement :

- enlèvement du seuil suisse d'où diminution de l'étanchéité à l'air ;
- dispersion des éléments constituant le contenu de l'armoire.

Le choix de la salle de bains comme pièce de confinement apparaît aujourd'hui comme ambitieux et contestable : cette pièce est trop petite, très technique, comportant de nombreuses pénétrations et donc sensible au moindre défaut. L'aménagement de la porte avec un seuil suisse pose des problèmes d'accessibilité pour les personnes âgées ou handicapées. Il est nécessaire d'utiliser d'autres techniques d'obturation : clonette ou barre d'étanchéité amovibles.

L'arrêt de la ventilation par coup de poing dans les escaliers est difficile à gérer : utilisation abusive, dégradation en vie normale, démarche d'arrêt difficile en cas d'incident (identification, réflexe).

Les entreprises et leurs compagnons sont difficiles à sensibiliser au concept d'étanchéité à l'air et donc au soin à apporter dans leur travail. De plus, les équipes ont souvent changé. Une stabilité des compagnons et une démarche qualité ou un travail en séquence devraient améliorer leurs prestations.

## 15 Opération « Lycée de l'Edit »

Roussillon (Isère)

### Opération neuve

Extension du lycée d'enseignement professionnel sans augmentation de l'effectif, création de 6 salles de classes, 2 salles de dessin et commodités.

**Maître d'ouvrage :** Conseil Général de l'Isère

PC du 25 mars 1994

11 Avril 1994 Réunion de coordination entre les différents Corps d'État

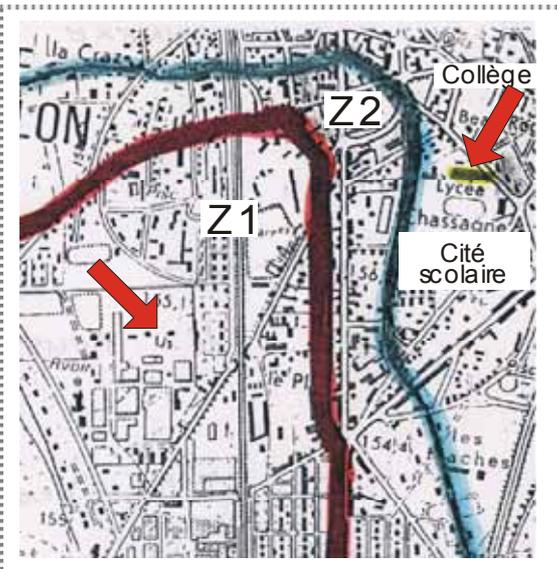


### Situation géographique

Le lycée est implanté à Roussillon, commune de la vallée du Rhône, à l'Est de la Nationale 7.

### Exposition au risque

Le lycée est distant d'environ 1000 m au Nord-Est des usines chimiques les plus proches, à près de 2000 m du point supposé de l'accident surpression, à 700 m de l'accident ammoniac et à 1000 m de l'accident phosgène. La limite de zone Z2 du POS est la rue du lycée. Le lycée professionnel est situé en zone Z2.



### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Le permis de construire est délivré sous réserve que toutes les mesures techniques soient prises afin d'assurer le confinement des pièces habitables. Après concertation, l'exigence de renouvellement d'air des locaux confinés a été prise égale à 1.46 vol/heure sous 50 Pascals.

### Description de l'opération

L'extension est constituée d'un bâtiment en rez-de-chaussée sur terre plein de 37.20 m par 17.36 m et d'un passage couvert le reliant aux ateliers existants. La surface utile est de 570 m<sup>2</sup>. Le volume chauffé est de 1598 m<sup>3</sup>.

### Nombre de personnes à mettre à l'abri

Le nombre de personnes à mettre à l'abri simultanément est de 150 personnes.

## Choix des pièces pour le confinement

L'ensemble de l'extension correspond au volume à confiner.

### Éléments de conception pour le confinement

- L'enveloppe est constituée de panneaux porteurs préfabriqués assemblés par clavetage. Un soin particulier a été porté lors de la réalisation des joints horizontaux ou verticaux (réalisation de joints à la pompe).
- Les menuiseries sont des châssis vitrés aluminium coulissants classés A3 E2 V2. Les portes d'accès et de secours sont en aluminium.
- Un sas a été créé devant chacune de ces portes. Les portes des sas sont à âme pleine et comprennent des balais d'étanchéité en pied. Les dormant sont équipés de joints verticaux et horizontaux en partie haute.
- La ventilation simple flux est installée dans les classes et sanitaires. Un arrêt coup de poing de la ventilation avec commande d'un volet coupe feu a été installé dans le couloir d'entrée.
- Les entrées d'air situées dans les salles sont « obturables ».
- Un soin particulier a été demandé au niveau des pénétrations des fluides à l'intérieur du bâtiment.
- Le plafond est constitué de plaques de plâtre BA13 jointoyées par des rubans à support aluminium Scotch 425. Un plafond acoustique est suspendu sous le plafond en plaques de plâtre (dans le volume confiné).

Le renouvellement d'air obtenu varie de 1.90 à 2.19 vol/h à 50 Pascals sans aucun colmatage non structurel.

### Enseignements à tirer

Le confinement d'un bâtiment réalisé en panneaux modulaires (absence de joints humides) était un défi difficile à relever. Toutefois, certaines dispositions constructives (plafond plaque de plâtre, sas d'entrée, renforcement de liaisons), ont permis de construire un bâtiment dont l'étanchéité est supérieure à celle de bâtiments du même type.

Bien que le niveau d'étanchéité obtenu puisse paraître bon, compte tenu des techniques constructives, l'exigence de 1.46 Vol/h sous 50 Pa n'est pas atteinte. Toutefois, il faut noter que la pose d'adhésif sur les liaisons dormant ouvrants, en particulier les portes et fenêtres pendant l'alerte, permettra d'améliorer sensiblement l'étanchéité.

## 16 Complexe nautique

Pont de Claix (Isère)

**Construction** d'un complexe nautique en remplacement d'une piscine

**Maître d'ouvrage** : Ville de Pont de Claix

**Maître d'œuvre** : Alain Rimet (Grenoble)

**Éléments du programme** : Déc. 1996

**Réception du confinement** : 24 Mai 2000

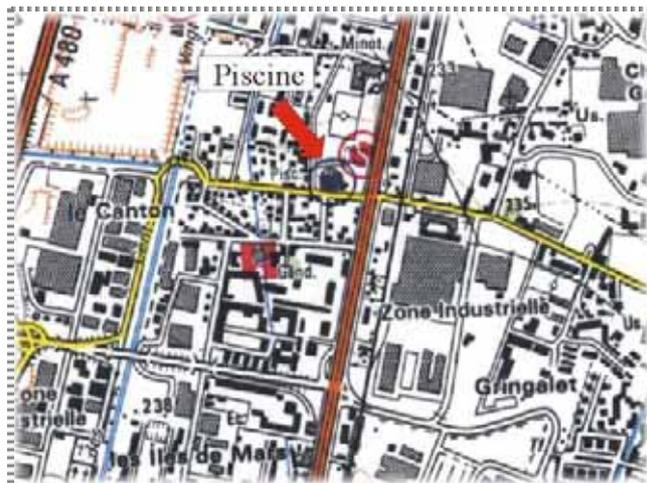


### Situation géographique

La piscine est située au Nord Ouest du site industriel.

### Exposition au risque

La piscine est située en Zone Z2 du POS, du fait de la proximité d'une industrie chimique soumise à la directive SEVESO.



### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

La construction du complexe nautique en remplacement de la piscine « Tournesol » a été acceptée moyennant l'aménagement de locaux de confinement capables d'accueillir 376 personnes maximum (capacité antérieure). La commission technique du jury de concours de maîtrise d'œuvre a pris acte de cette exigence pour la sélection du projet lauréat.

Exigences mentionnées au programme : 1 m<sup>2</sup> et 2.5 m<sup>3</sup> minimum par personne ; étanchéité à l'air : n<sub>50</sub>=2.34 vol/h.

### Nombre de personnes à mettre à l'abri

Le local de confinement doit pouvoir accueillir 376 personnes.

## Choix des pièces pour le confinement

Les locaux retenus pour la mise à l'abri de la population sont :

- Les locaux vestiaires et locaux personnels : 337 m<sup>2</sup>
- Les locaux administratifs : 55.2 m<sup>2</sup>

La hauteur sous plafond est de 3 m donc un volume confiné de 1177 m<sup>3</sup> qui répond à l'exigence mentionnée au programme.

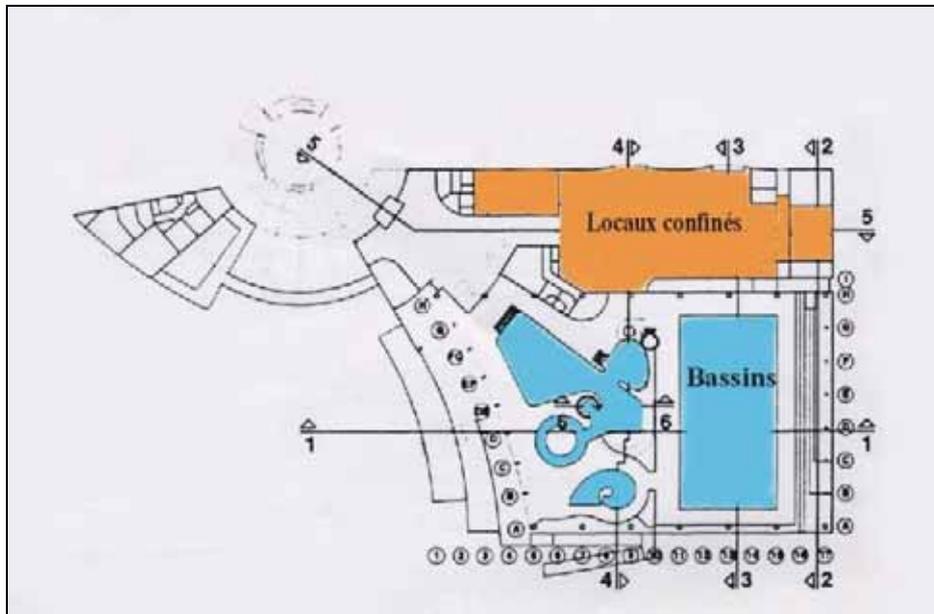


Figure 31 : Plan du centre nautique et des locaux de confinement

## Éléments de conception pour le confinement

- La structure sur administration et vestiaires est en béton armé et la charpente sur les bassins en lamellé collé ;
- Les locaux confinés ne comprennent pas d'ouverture côté usine et peu d'ouverture côté Nord ;
- Les murs sont en double paroi peu perméables à l'air ;
- Éclairage zénithal des vestiaires. Il est réalisé par des dômes et des châssis en pavé de verre. Leur étanchéité à l'air a été soignée lors de la mise en œuvre ;
- Liaisons châssis toiture soignées ;
- Joints des trappes de désenfumage renforcés ;
- Les ouvrants des locaux administratifs en aluminium avec leurs joints présentent une bonne étanchéité à l'air.

### Points particuliers :

La zone administrative ne comporte pas de point d'eau et est indépendante des vestiaires créant un problème de responsabilité et d'efficacité. Un joint de dilatation traverse le vestiaire. Il est difficile d'être sûr de son étanchéité à l'air. La porte coulissante donnant sur le pédiluve pose des problèmes d'étanchéité à l'air.

## Règles comportementales en cas de crise

Un plan de confinement doit être écrit et testé.

### **Enseignements à tirer**

Le traitement de l'étanchéité à l'air a bien été abordé : solution simple, double enveloppe, un minimum d'ouvrants extérieurs, un soin particulier apporté aux liaisons et joints d'ouvrants.

Certains points doivent encore faire l'objet d'un traitement particulier :

- Joints des portes en partie basse ;
- Étanchéité des portes donnant sur le pédiluve ;
- Vérification de l'obturation du joint de dilatation ;
- Accessibilité aisée du coup de poing arrêt de la ventilation ;
- Mise en place d'un point d'eau dans les locaux administratifs ;
- Moyen de communication entre les vestiaires et les locaux administratifs ou création d'une porte entre les deux locaux.

## 17 Groupe Raffin Cabois

Pont de Claix (Isère)

### Opération de réhabilitation

L'opération comprend 4 bâtiments d'habitation de 4 niveaux ce qui représente un total de 24 appartements.

**Maître d'ouvrage :** OPAC 38

Maître d'œuvre génie climatique :  
G. Guillemard

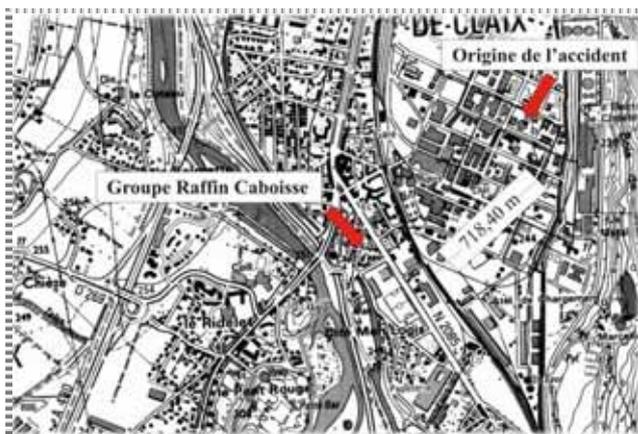
Premiers contacts : Septembre 2000

Contrôle du confinement : 10 Juillet 2001



### Situation géographique

L'opération se trouve en bordure de la route de Vizille, à côté du stade, à 700 mètres du lieu supposé de l'accident technologique, orientation Sud à Ouest.



### Exposition au risque

Dans le cadre d'une réhabilitation, l'OPAC 38 a pris en compte la volonté de la commune de Pont de Claix de voir respecter les termes du P.O.S. liés à la présence d'une usine soumise à la directive SEVESO. Le risque est de type nuage toxique de chlore. Il n'y a pas de risque thermique, ni de surpression.

### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Le P.O.S. exige le confinement. L'usage se réfère au document réalisé par le CETE de Lyon en 1993. Une perméabilité à l'air égale ou inférieure à 1.49 vol/h sous 50 Pa est préconisée pour toute construction ou réhabilitation soumise à permis de construire dans la zone en question.

### Description des bâtiments

Les constructions datent de 1955, il s'agit d'une structure en béton, vide d'air et briques creuses, plancher sur lambourdes. Les menuiseries originales sont en bois à simple vitrage.

### Nombre de personnes à mettre à l'abri

3 personnes pour les appartements T2, 4 personnes pour les appartements T3.

### Choix des pièces pour le confinement

Le principe retenu est de réaliser des cellules de confinement pour chaque appartement, ces cellules comprennent la salle de bain et la chambre contiguë.

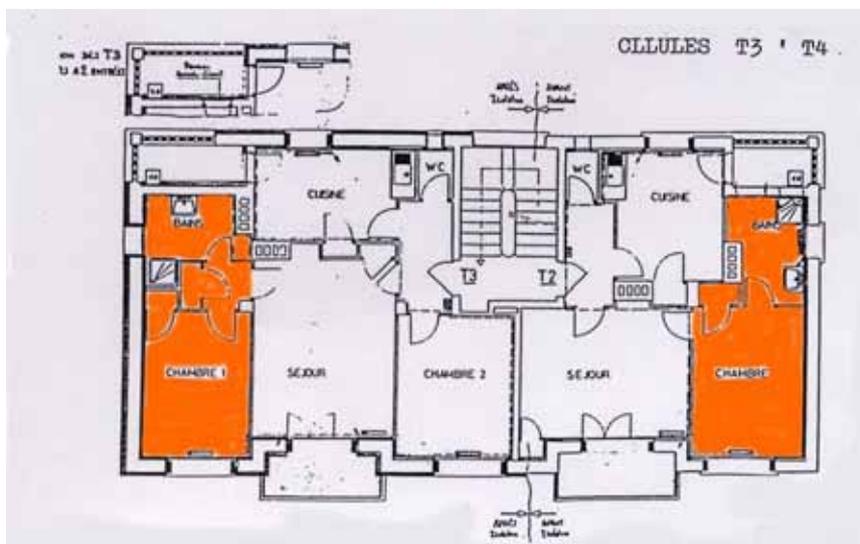


Figure 32 : Plan des logements et des locaux de confinement

### Travaux réalisés pour le confinement

- Les fenêtres ont été changées et remplacées par des menuiseries PVC classement A3 E3 V3 double vitrage posées sur le dormant bois existant ;
- La fenêtre de la chambre est munie d'une entrée d'air obturable ;
- Une VMC collective a été installée ;
- Les convecteurs électriques remplacés par un chauffage collectif par radiateurs à eau chaude ;
- Le revêtement de sol de la chambre est composé d'un linoléum qui n'a pas été changé. Ce revêtement repose sur un parquet sur lambourdes ;
- La salle de bain est carrelée. Les équipements sanitaires de la salle de bains ont été changés et tous les passages des arrivées et évacuations d'eau étanchés ;
- Les portes de communication séjour, dégagement ou chambre sont étanchéifiées, équipées d'un seuil suisse et d'une bouche de transfert obturable.

Dans un logement témoin où les travaux des réhabilitations avaient été effectués, 4 essais effectués donnent un renouvellement d'air qui varie de 3.98 à 4.47 vol/h sous 50 Pascals. Dans un logement de référence qui n'avait pas encore fait l'objet d'une réhabilitation, le renouvellement d'air est de 5.09 vol/h sous 50 Pascals.

### *Enseignements à tirer*

Après travaux, le gain de perméabilité d'environ de 20% ne constitue pas un résultat suffisant. Il reste une perméabilité diffuse de l'enveloppe qui se situe particulièrement au niveau du plancher sur lambourdes très perméable, de la fissuration des cloisons aussi bien dans le placard de la chambre que le cloisonnement entre la salle de bain et le séchoir, des liaisons du cloisonnement et du doublage avec le plafond, la dalle de plancher et entre éléments.

Pour atteindre l'objectif souhaité, il aurait fallu :

- remplacer le plancher sur lambourdes par une chape humide qui se liera aux cloisons, revêtement collé à convenance, plinthes collées en continu avec joint à la pompe haut et bas sur la périphérie de la pièce,
- disposer un enduit armé sur les cloisonnements présentant des fissures,
- suivre toutes les pénétrations : électricité, arrivées d'eau et évacuation, chauffage, les trous qui ont pu être faits par les occupants,
- boucher efficacement l'entrée d'air dans le petit vantail de la fenêtre de la chambre,
- traiter soigneusement la liaison fenêtre PVC - ancien dormant bois,
- soigner le stockage et la pose des menuiseries (fuites d'air entre dormant et ouvrant du petit battant).

La qualité du travail des entrepreneurs n'a pas pu compenser les fuites diffuses. Le diagnostic du bâti n'a pas été suffisamment détaillé et n'a pas permis de prendre en compte et de traiter correctement l'étanchéité à l'air du local de confinement.

# 18 Collège « le Moucherotte »

Pont de Claix (Isère)

## Reconstruction

Collège de 350 élèves, 90 professeurs et personnel administratif

**Maître d'ouvrage** : Conseil Général 38  
**Architecte** : Atelier F4 – M. FRAGERI

Réception des travaux : Juillet 2001



## Situation géographique

Le collège est implanté sur la commune de Pont de Claix, entre le cours St André et le torrent le Drac. Cette zone ne présente pas de relief proche.

## Exposition au risque

Le collège est situé à 300 mètres au Nord-Ouest de l'usine Rhône Poulenc de Pont de Claix. Il est aussi concerné par l'usine Distugil de Champagnier. Le collège n'est pas concerné par les risques thermique et de surpression. Le risque à prendre en compte est le risque de nuage toxique. Les types de gaz toxiques présents sur le site de Pont de Claix sont le chlore, le phosgène, l'oxyde de carbone, l'acide chlorhydrique, les isocyanates.



## Contexte de l'opération

Un collège, type « Pailleron » était implanté sur la même parcelle. Le bâtiment devenait dangereux vu sa structure : les plaques de revêtement extérieur « fluaient ». Après consultation des élus et de la population, il a été décidé de reconstruire le collège sur la partie disponible de la parcelle sans augmenter les effectifs. Cette solution permet d'accueillir les élèves sans délocalisation et de maintenir une vie sociale sur le quartier.

## Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Le collège « le Moucherotte » se situe en zone Z2 du P.O.S. Un espace de 1.5 m<sup>2</sup> en surface et 3.6 m<sup>3</sup> en volume est retenu par personne ainsi qu'une perméabilité à l'air des locaux inférieure à 1.49 vol/h sous 50 Pascals.

## Description du bâtiment

C'est une construction en béton R+1. Un grand hall central dessert les classes et salles dédiées en périphérie.

## Nombre de personnes à mettre à l'abri

Le nombre de personnes à mettre à l'abri n'a pas évolué : il est de 350 élèves et 90 professeurs et agents administratifs. Des réunions avec présence des parents peuvent avoir lieu. Le nombre de personnes total à prendre en compte est de 500 personnes. Les locaux de confinement devront avoir une surface minimum de 750 m<sup>2</sup> et un volume de 1800 m<sup>3</sup>.

## Éléments de conception pour le confinement

Le grand hall central a été conçu par l'architecte afin de répondre au programme en matière de confinement.

- Sa situation centrale permet de profiter des salles périphériques comme espaces « tampons » ;
- Les entrées du hall ont été traitées avec des sas ;
- Le hall est éclairé par des verrières à châssis fixe et des hublots ;
- Il n'est pas équipé de ventilation mécanique ;
- Sa surface de plus de 800 m<sup>2</sup> et son volume de 4000 m<sup>3</sup> répondent amplement aux exigences de confinement.

Les essais de réception du local de confinement ont été réalisés avec le « banc de mesure grand volume » qui permet de tester des locaux de plus<sup>8</sup> de 40 000 m<sup>3</sup>. Le taux de renouvellement global du hall mesuré était de 3.2 vol/h sous 50 Pascals.

## Règles comportementales en cas de crise

Des armoires de sécurité contenant les consignes de sécurité, du ruban adhésif, un poste de radio autonome ont été recommandées.

### Enseignements à tirer

Lors des mesures, les travaux du collège n'étaient pas terminés, certains aménagements manquaient : porte de la salle informatique, clonettes de bas de portes, joints périphériques et des défauts d'infiltration constatés pouvaient être facilement colmatés : gaines, liaisons des portes des sas, porte voilée. Une intervention complémentaire sur ces points a été réalisée.

L'intégration du confinement dans le programme de construction a permis de réaliser un espace ayant des caractéristiques d'étanchéité intéressantes. Pour autant, l'étanchéité reste insuffisante par rapport à l'exigence formulée. Toutefois, il faut noter que sans traitement particulier, la perméabilité à l'air de l'espace aurait probablement été de l'ordre de 8.8 vol/h sous 50 Pa (constat sur d'autres espaces similaires). En outre, le choix d'un local au centre du collège permet de protéger l'espace des surpressions et dépressions directes sur ses parois.

<sup>8</sup> si  $n_{50} < 1.5$  vol/h à 50 Pa

## 19 École « Joliot Curie »

Salaise sur Sanne (Isère)

### Aménagement de local de confinement dans une construction existante

École primaire, école maternelle, restaurant scolaire, activités post scolaires

**Maître d'ouvrage** : Commune

Début de l'action : Septembre 2000  
Réception du confinement : 29 mai 2002

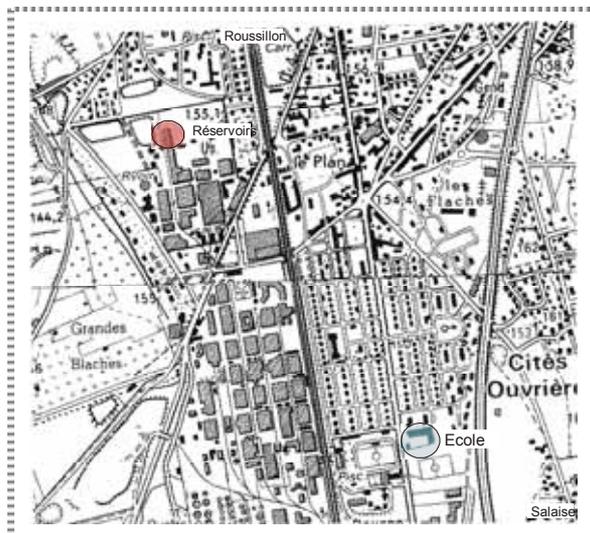


### Situation géographique

L'école est située à Salaise sur Sanne (Isère), en bordure de la RN7, en limite de la commune de Roussillon.

### Exposition au risque

La zone de l'école est classée en zone Udy du P.O.S donc soumise à restriction urbanistique. Seul le risque toxique est considéré, des réservoirs de phosgène se situent à 1200 m, des sphères d'ammoniac à 1300 m, une installation de chlorure de méthyle à 1800 m.



### Contexte de l'opération

La municipalité de la commune, très sensible à la protection de sa population du fait de la proximité d'usines soumises à la directive Seveso, mène une politique volontariste par rapport aux risques. L'école Joliot Curie répond à un besoin de proximité tant scolaire qu'extrascolaire. Il n'est pas envisageable de la déplacer. La municipalité a décidé d'engager les études et travaux nécessaires à la protection des élèves et occupants de l'école en cas d'accident technologique.

### Exigences urbanistiques et valeurs retenues pour le confinement

Lors de dépôt de permis de construire dans la zone où se situe l'école, l'annexe au P.O.S (exigences et moyens de confinement) préconise : le dimensionnement des locaux avec une surface de 1.5 m<sup>2</sup> par personne et un volume de 3.6 m<sup>3</sup> par personne ; une étanchéité à l'air du local lors de l'accident inférieure à 1.5 Vol/h sous 50 Pascals.

## Description de l'établissement

Le groupe scolaire est formé de plusieurs bâtiments.

Un bâtiment principal perpendiculaire à la RN7 de type R+2. en structure béton, poteaux, poutres. Un couloir en partie Nord distribue une rangée de salles de classes au Sud qui sont toutes communicantes.

Une extension destinée à recevoir le restaurant scolaire et la salle d'activité Berthouard a été adjointe au bâtiment principal, structure béton et façades en structure aluminium.

Un bâtiment en L en rez-de-chaussée reçoit l'école maternelle, il est relié à l'école primaire par un préau.

Enfin, un bâtiment d'habitation près et parallèle à la RN7 abrite des logements de fonction.

## Nombre de personnes à mettre à l'abri

Le nombre actuel de personnes à mettre à l'abri simultanément est de 210 enfants et 24 adultes. Ce nombre a été retenu pour la stratégie mise en place. Les locaux de confinement devront avoir une surface minimum de 315 m<sup>2</sup> et un volume de 1134 m<sup>3</sup>.

## Choix des pièces pour le confinement

Plusieurs locaux de confinement ont été pressentis :

- 3 salles (dont la salle d'activités Berthouard) au 1<sup>er</sup> étage du bâtiment principal - surface 210 m<sup>2</sup>, volume 683 m<sup>3</sup>
- La salle d'évolution de l'école maternelle - surface 70 m<sup>2</sup>, volume 237 m<sup>3</sup>
- Le restaurant scolaire - surface 254 m<sup>2</sup>, volume 826 m<sup>3</sup>

A noter que les surfaces et volumes des locaux sont inférieurs aux exigences du paragraphe 1.3.

Avant travaux, les résultats des essais de perméabilité à l'air ont été les suivants :

- Salle d'évolution de la « maternelle » : 5.15 vol/h sous 50 Pascals.
- Salles au 1<sup>er</sup> étage du bâtiment principal : 3.66 à 4.24 vol/h sous 50 Pascals.
- Restaurant scolaire : 2.92 vol/h sous 50 Pascals.

Après concertation et réflexion, le restaurant scolaire associé à une salle d'activité (salle Berthouard) a paru être le local le mieux adapté. Ainsi, il peut recevoir l'ensemble des occupants de l'école, d'où un seul responsable du confinement et un seul lieu d'abri. La surface et le volume de confinement, 401 m<sup>2</sup> et 1304 m<sup>3</sup>, répondent aux exigences minimales de surface et de volume.

## Travaux réalisés pour le confinement

Ils ont été effectués par deux entreprises en lots séparés après un audit sur les exigences demandées et les solutions pour y parvenir.

- Une porte de communication a été créée entre le restaurant et la salle Berthouard ;
- Les portes extérieures en aluminium ont été remplacées par des portes très performantes du point de vue de la perméabilité à l'air ;
- La dalle de toiture a été auscultée lors du changement du faux plafond acoustique et ne présentait pas de fissuration ;
- La porte du bureau a été équipée de joints périphériques ;

- Une porte pleine avec joints périphériques a été mise en place entre le restaurant et l'office ;
- Les circuits de ventilation, chauffage ont été contrôlés et étanchés ;
- Des clapets coupe feu commandés par un « coup de poing » ont été mis en place sur les gaines de ventilation d'arrivée et d'évacuation. Ce coup de poing commande également l'arrêt de la chaudière et des groupes de ventilation ;
- Les gaines d'électricité ont reçu des bouchons de silicone ;
- L'enveloppe extérieure a été examinée et tous les défauts d'étanchéité identifiés ont été traités.

Les mesures de réception de perméabilité réalisées démontrent que les performances, d'environ 1.17 vol / h à 50 Pa, sont supérieures à l'exigence formulée (1.5 vol / h à 50 Pa) et qu'il est utile de se servir du bureau comme sas d'entrée.

### **Règles comportementales en cas de crise**

Un plan de confinement est mis en place, les élèves de maternelle ont un cheminement intérieur à suivre, possible grâce au percement d'une porte pour relier l'école primaire, pour ne pas être exposés au nuage toxique.

Une armoire « confinement » est placée dans le restaurant. Elle comprend des lampes de secours rechargeables, des rouleaux du ruban adhésif en papier crêpe, un poste de radio autonome, des piles, des linges, une paire de ciseau. Des jeux ont été installés dans la salle Berthouard pour occuper les enfants. Une armoire contenant de l'eau en bouteille, des gâteaux secs avec une fiche extérieure de surveillance et de validité des produits a été installée dans le restaurant.

### **Coûts**

Les travaux strictement liés au confinement portent sur l'électricité, le chauffage, et la ventilation et l'intervention sur les menuiseries. Le coût était de 34 € / m<sup>2</sup> pour l'électricité, chauffage, ventilation et de 41 € / m<sup>2</sup> pour les menuiseries soit 75 € / m<sup>2</sup> de surface utile.

### **Enseignements à tirer**

Ces bons résultats montrent qu'avec de la rigueur dans la réalisation des travaux, il est possible d'atteindre des performances fixées d'étanchéité à l'air. La pédagogie, la concertation et une excellente coopération montrent toute leur efficacité pour ce genre de réalisation.

La structure aluminium ne paraissait pas performante, les résultats des essais ont démontré l'inverse. La typologie des structures des bâtiments ne doit donc pas faire l'objet d'un rejet à priori.

Le diagnostic de recherche des locaux a montré également toute son utilité. Un cheminement de la réflexion est nécessaire pour arriver à trouver un bon compromis.

## Photos



Figure 33 : Vue générale bâtiment principal



Figure 34 : Bâtiment principal et restaurant scolaire



Figure 35 : Intérieur du restaurant



Figure 36 : Porte avant remplacement



Figure 37 : Maternelle

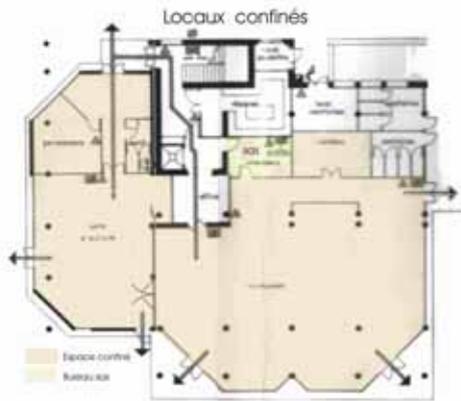


Figure 38 : Plan et photo des locaux confinés



Uyx : Zone réservée aux activités économiques, en particulier aux installations soumises à déclaration et à autorisation.  
 L'urbanisation doit être maîtrisée vis à vis des risques technologiques

Udx et Udy : Zone réservée à la construction d'immeubles d'habitation, commerce, bureaux ou activités non nuisantes.  
 L'urbanisation doit être maîtrisée vis à vis des risques technologiques

Uxx et Uxy : zone réservée aux activités artisanales, industrielles et de service non nuisantes  
 L'urbanisation doit être maîtrisée vis à vis des risques technologiques

NBx : Zone naturelle avec bâtiments existants, constructions nouvelles admises sous conditions  
 L'urbanisation doit être maîtrisée vis à vis des risques technologiques

Figure 39 : Localisation de l'école sur le plan d'occupation des sols

# Références

- [1] Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
- [2] Circulaire n°2002-119 du 29 mai 2002 du Ministère de l'éducation nationale, relative à l'élaboration d'un plan particulier de mise en sûreté (PPMS) face aux risques majeurs (BOEN hors-série n°3 du 30/05/2002). 31 p.
- [3] EDF-CETE de Lyon. 2001. *Perméabilité à l'air des bâtiments d'habitation – Guide améliorer la performance des logements existants*. Rapport CETE DVT n°01.43. Juillet 2001.
- [4] CETE de Lyon / DEU, *Perméabilité à l'air des logements neufs*, publ. H2E85 – mars 1983
- [5] CETE de Lyon, *Perméabilité à l'air des bâtiments : Généralités et sensibilisation*, 2006, 41p. En ligne sur [www.cete-lyon.equipement.gouv.fr](http://www.cete-lyon.equipement.gouv.fr) dans domaines d'activité AUHC.
- [6] CETE de Lyon, *Fiche de consignes : Règles comportementales pour un confinement efficace*, Fiche Technique, 2007, 4p.
- [7] CETE de Lyon, *Prévenir les risques industriels mettre à l'abri les personnes*, Fiche Produit, 2007, 4p.
- [8] CETE de Lyon, *CONFINE 2.0. Modélisation des transferts aérauliques en situation de confinement*, 2007, 14p.
- [9] EN 12207. 2000. *Fenêtres et portes. Perméabilité à l'air*. Mai 2000
- [10] EN 13465. 2004. *Méthodes de calcul pour la détermination des débits d'air dans les logements. Ventilation des bâtiments*. Juin 2004.
- [11] EN 13829. 2001. *Détermination de la perméabilité à l'air des bâtiments. Méthode de pressurisation par ventilateur. Performance énergétique des bâtiments*. Février 2001.
- [12] Goyet R., Carrié R., Limoges D. 2005. *PPRT. Note sur la vulnérabilité du bâti*. CETE de Lyon. DVT Rapport n°05.50. Juillet 2005.
- [13] Guillot K. Litvak A., 2000. *Étanchéité à l'air des constructions. Campagne de mesure de perméabilité à l'air et de ventilation de 70 logements*. Rapport CETE DVT n°00.173. Septembre 2000.

- [14] INRS. Institut National de Recherche et de Sécurité.  
<http://www.inrs.fr>
- [15] INERIS, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques. Fiches et rapports de seuils de toxicité aiguë, en ligne sur [www.ineris.fr](http://www.ineris.fr).
- [16] Jetter, J.J., Whitfield, C., *Effectiveness of expedient sheltering in place in a residence*, Journal of Hazardous Materials, A119, 2005, p.31-40.
- [17] Litvak, A. 2000. *Étanchéité à l'air des constructions. État de l'art et recensement des pratiques*. Rapport CETE de Lyon DVT, rapport n°00.41, Avril 2000.
- [18] Litvak, A. 2001. *Perméabilité à l'air de 12 bâtiments tertiaires de grands volumes*. Rapport CETE de Lyon DVT, rapport n°01.45. Août 2001.
- [19] MEDAD, *Plan de Prévention des Risques Technologiques. Guide méthodologique*, octobre 2007, 152 p.
- [20] MEDAD, *PPRT. Complément technique sur la vulnérabilité aux effets toxiques.*, INERIS-CERTU-CETE de Lyon, à paraître en 2008.
- [21] Manuel Recknagel 3ème édition mars 1995
- [22] MINERGIE, en ligne sur [www.minergie.ch](http://www.minergie.ch)
- [23] NICS, National Institute for Chemical Studies, *Sheltering in Place as a public protective action*, 2001, 54p.
- [24] PASSIVHAUS INSTITUT, en ligne sur [www.passivhaus.de](http://www.passivhaus.de)
- [25] Persily, A., et al., *Building Retrofits for Increased Protection Against Airborne Chemical and Biological Releases*, National Institute of Standards and Technology, NISTIR-7379, 2007, 179p.
- [26] Rogers, G.O, et al., *Evaluating protective actions for chemical agent emergencies*, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-6615, 1990, 324p.
- [27] RT 2005. Arrêté du 25 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiment.
- [28] United Kingdom, *Preparing for Emergency*, en ligne sur [www.preparingforemergencies.gov.uk](http://www.preparingforemergencies.gov.uk)
- [29] Guyot, G., *Influence de la perméabilité à l'air des bâtiments sur la pénétration des polluants extérieurs toxiques dans un local de confinement*, INSAL-CETHIL-CETE de Lyon, mémoire de master MEGA génie civil, 2007, 80p.
- [30] Woodson, W.E., *Human factors design handbooks*, Mac Graw Hill, 1981.

# Glossaire

**CETE** : Centre d'Études Techniques de l'Équipement (MEDAD).

**CERTU** : Centre d'Études des Réseaux, des Transports, de l'Urbanisme et des constructions publiques (MEDAD)

**CVC** : systèmes de chauffage, ventilation, climatisation.

**DDE** : Direction Départementale de l'Équipement

**DRIRE** : Direction Régionale de l'Industrie et de la Recherche

**INERIS** : Institut National de l'Environnement industriel et des Risques

**MEDAD** : Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, regroupe depuis mai 2007 notamment les anciens ministères des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer (MTETM) et de l'Écologie, et du Développement Durable (MEDD).

**PAC** : Porter A Connaissance

**PCS** : Plan Communal de Sauvegarde

**PLU** : Plan Local d'Urbanisme

**POI** : Plan d'Opération Interne

**PPI** : Plan Particulier d'Intervention

**PPMS** : Plan Particulier de Mise en Sûreté

**PPRT** : Plan de Prévention des Risques Technologiques

**SEI** : Seuil des Effets Irréversibles, homogène à une concentration

**SIP** : « Shelter-in-Place », traduction anglophone de « confinement



**CETE**  
de Lyon

département  
Villes et Territoires

**46, rue Saint-Théobald**  
**BP 128**  
**38081 l'Isle d'Abeau**  
**cedex**

**téléphone :**

**04 74 27 51 03**

**télécopie :**

**04 74 27 51 18**

**mél : [dvt.cete-lyon](mailto:dvt.cete-lyon@equipement.gouv.fr)**

**[@equipement.gouv.fr](mailto:dvt.cete-lyon@equipement.gouv.fr)**

**Le CETE de Lyon**  
**appartient au Réseau**  
**Scientifique et Technique**  
**de l'Équipement**

