

RAPPORT DEFINITIF 07/01/2013
INERIS-DRA-13-125632-00151A

Note descriptive du logiciel CONFINE v1.2

Note descriptive du logiciel CONFINE v1.2

Direction des Risques Accidentels

INERIS

Client : MEDDE

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

F-R. CARRIE, G. GUYOT, E. LOZINGUEZ, D. LIMOGES et R. GOYET pour le
CETE de Lyon

A. BARBE, J-C. LOUAPRE, V. DEBUY et O. GENTILHOMME pour l'INERIS

PREAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

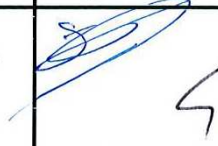
	Rédaction	Relecture	Vérification	Approbation
NOM	O. GENTILHOMME	T. PENELON	B. TRUCHOT et G. CHANTELAUVE	S. DUPLANTIER
Qualité	Ingénieur de l'unité Incendie - Ventilation Direction des Risques Accidentels	Responsable de l'opération 2 (Primarisk) du programme DRA76 Direction des Risques Accidentels	Respectivement Responsable de l'unité Incendie – Ventilation et Délégué Appui à l'Administration Direction des Risques Accidentels	Responsable du pôle Phénomènes Dangereux Direction des Risques Accidentels
Visa				

TABLE DES MATIÈRES

1. AVERTISSEMENT	5
2. PRESENTATION RAPIDE DE L'OUTIL.....	7
2.1 Mode d'emploi.....	7
2.2 Limites d'utilisation	8
3. DESCRIPTIF TECHNIQUE.....	9
3.1 Présentation du bâtiment	9
3.2 Fonctionnement du logiciel CONFINE.....	10
3.2.1 Etape n°1 - détermination des débits de fuite sur chacune des parois	11
3.2.1.1 Précisions sur le coefficient de perméabilité C	12
3.2.1.2 Précisions sur la différence de pression ΔP	13
3.2.2 Etape n°2 - détermination de l'évolution de la concentration dans le local de confinement	17
4. LISTE DES PARAMETRES	19
4.1 Données d'entrée	19
4.1.1 Environnement du site	19
4.1.2 Caractéristiques du bâtiment	19
4.1.3 Scénario accidentel	20
4.2 Constantes utilisées	20
4.3 Données de sortie	20
5. INTERFACES	23
6. ELEMENTS DE VALIDATION.....	25
7. REFERENCES	27

1. AVERTISSEMENT

L'étude des transferts des polluants dans un bâtiment lors d'un accident toxique fait appel à des compétences spécifiques en matière de modélisation des échanges aérauliques, ainsi qu'à des connaissances particulières sur la toxicité aiguë des gaz et sur l'étanchéité à l'air des bâtiments.

L'utilisation de l'outil de modélisation CONFINE n'exonère pas l'utilisateur du bon usage de ses compétences. En effet, malgré tout le soin porté au développement de l'outil, l'utilisateur doit veiller à la cohérence d'ensemble du paramétrage, à sa conformité avec la réalité, et grâce à son expertise à la validation des résultats fournis par l'outil.

L'outil CONFINE ne permet pas de mener une analyse pour un utilisateur ne disposant pas des compétences et des connaissances spécifiques requises dans le domaine d'activité définie ci-dessus.

Dans tous les cas, l'utilisation de l'outil CONFINE s'effectue sous la seule responsabilité de l'utilisateur et, à ce titre, la responsabilité des auteurs et/ou propriétaires de l'outil ne saurait être engagée.

De plus, toute modification de paramètres et/ou de documents se fait sous la seule responsabilité de l'utilisateur.

Si la responsabilité des auteurs/propriétaires était engagée, elle ne pourra être retenue que sur la base des éléments contenus dans la version .pdf et identifiés « CONFINE » (avec l'identifiant du calcul).

2. PRESENTATION RAPIDE DE L'OUTIL

L'outil CONFINE est un code à zones permettant de caractériser la perméabilité maximale à ne pas dépasser pour un local de confinement situé à l'intérieur d'un bâtiment existant lorsque ce dernier est exposé à un nuage toxique. L'indicateur utilisé est le taux de renouvellement d'air à 50 Pascals (n_{50}).

Cet outil est devenu un élément indispensable à la réalisation des études de vulnérabilité toxique dans le cadre des PPRT, notamment pour les bâtiments autres que les bâtiments résidentiels individuels ou collectifs pour lesquels des abaques ont déjà été établis [CERTU, CETE de Lyon et INERIS, 2008].

Développée initialement par le CETE de Lyon sous la forme d'un fichier Excel, la v1.2 de CONFINE est accessible¹ depuis la plateforme Primarisk de l'INERIS (<http://www.ineris.fr/primarisk/>). Un travail de collaboration entre le CETE de Lyon et l'INERIS a permis d'apporter plusieurs améliorations à l'outil, comme par exemple :

- une interface plus conviviale (cf. Figure 1) avec une fenêtre d'aide qui s'actualise en fonction de la position de la souris de l'utilisateur,
- un solveur rendu plus stable et rapide,
- une sélection « automatique » des valeurs de coefficient de pression (dit C_p) sur chacune des faces du bâtiment en s'appuyant sur la norme [NF-EN-15242, 2007],
- la création d'un fichier de sortie au format pdf reprenant l'ensemble des données et pouvant être annexé à l'étude de vulnérabilité.

The screenshot displays the CONFINE software interface. It features several input sections: 'Local confiné' with fields for Volume, Height, and Permeability; 'Combles non aménagés' with fields for Volume, Height, and Permeability; and 'Reste du bâti' with fields for Volume, Height, and Permeability. Each section includes a table for face characteristics (Face, Type, Surface, Coefficient). To the right, there is a graph titled 'SEI(2h)' showing the concentration C_{int} over time t . The graph includes a curve and a horizontal line representing the initial concentration $C_{int} = f(n_{50}, local)$. Below the graph is a small diagram of a building with a person inside, labeled 'CETE de Lyon'.

Figure 1 : Interface de CONFINE

2.1 MODE D'EMPLOI

Compléter les cases de l'interface d'entrée puis cliquer sur le bouton « lancer la procédure » pour visualiser les résultats et les courbes de concentration.

ATTENTION : l'ensemble des champs doit être rempli : par exemple, s'il n'y a pas de combles non-aménagés, vous devez quand même renseigner des valeurs nulles dans les champs adéquats.

¹ Son accès nécessite toutefois un login et un mot de passe transmis durant la formation « PPRT – Etudes approfondies de confinement » organisée par le CETE de Lyon.

2.2 LIMITES D'UTILISATION

Le tableau ci-dessous présente les valeurs possibles pour les données à renseigner par l'utilisateur.

Paramètre	Valeurs possibles	Min	Max
Topologie du site	Zone urbaine Banlieue pavillonnaire Habitat dispersé Par défaut	NA	NA
Conditions météorologiques ¹	A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10, E3 et F3	NA	NA
Température extérieure ²	Toutes entre ...	-10°C	+30°C
Volumes	Toutes entre ...	0	100 000 000 m ³
Hauteurs	Toutes entre ...	0	500 m
Surfaces de paroi	Toutes entre ...	0	2 500 000 m ²
Perméabilité à l'air	Toutes entre ...	0	100 m ³ /(h. m ²) à 4 Pa
Durée de confinement	1 ou 2 h	1	2
Taux d'atténuation ³	Toutes entre ...	0	1
Largeur du bâtiment	Toutes entre ...	0	5 000 m
Largeur de l'obstacle	Toutes entre ...	0	5 000 m
Hauteur de l'obstacle	Toutes entre ...	0	500 m
Eloignement de l'obstacle	Toutes entre ...	0	5 000 m

Tableau 1 : Limites d'utilisation de CONFINE

(NA : Non Applicable car valeur issue d'un menu déroulant ou imposée)

1 – L'utilisateur a le choix entre neuf conditions météorologiques : A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10, E3 et F3. La lettre caractérise la stabilité atmosphérique selon les classes de Pasquill tandis que le chiffre correspond à la vitesse de vent (en m/s) prise à une hauteur de référence de 10 m.

2 - Pour les conditions de jour (= A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10 et E3), la température extérieure est prise par défaut à 20°C. Pour la condition de nuit (= F3), cette température est de 15°C. Il est toutefois possible pour l'utilisateur de modifier cette valeur imposée par la condition météorologique dans les limites [-10 : +30°C].

3 - Le taux d'atténuation cible est normalement renseigné par l'Administration (DREAL,...) en préambule à toute étude de vulnérabilité toxique. La connaissance de la nature du produit toxique n'est donc pas nécessaire pour l'utilisateur de l'outil CONFINE.

3. DESCRIPTIF TECHNIQUE

3.1 PRESENTATION DU BATIMENT

Dans le logiciel CONFINE, le bâtiment est séparé en 3 zones (cf. Figure 2):

- le local servant de confinement (en vert),
- les combles non aménagés (en orange),
- le reste du bâti (en rose).

Chacune de ces trois zones est assimilée à un volume élémentaire à l'intérieur duquel toutes les grandeurs (concentration, pression de référence et température) sont supposées homogènes dans l'espace.

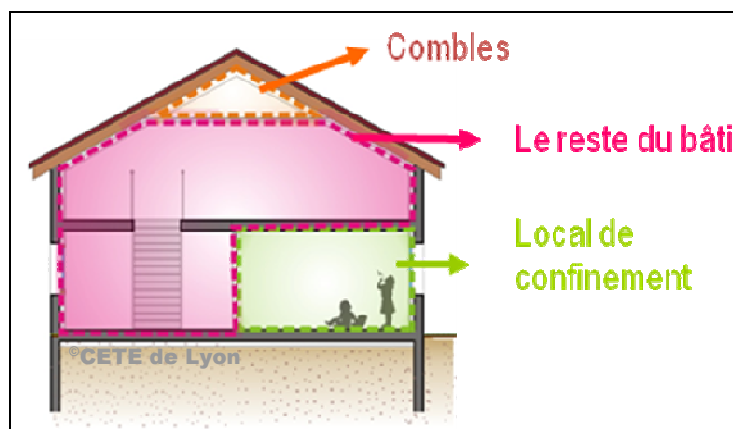


Figure 2 : Zones considérées dans le logiciel CONFINE

Comme le montre la Figure 3, les parois délimitant le bâtiment ainsi que les différentes zones sont repérées dans le logiciel par des lettres allant de A à J, tel que :

- Paroi A : paroi séparant le local confiné de l'extérieur et exposée au vent,
- Paroi B : paroi séparant le local confiné de l'extérieur et située en toiture,
- Paroi C : paroi séparant le local confiné de l'extérieur et abritée du vent,
- Paroi D : paroi séparant le local confiné des combles,
- Paroi E : paroi séparant le local confiné du reste du bâti,
- Paroi F : paroi séparant les combles de l'extérieur et située en toiture,
- Paroi G : paroi séparant les combles du reste du bâti,
- Paroi H : paroi séparant le reste du bâti de l'extérieur et exposée au vent,
- Paroi I : paroi séparant le reste du bâti de l'extérieur et située en toiture,
- Paroi J : paroi séparant le reste du bâti de l'extérieur et abritée du vent.

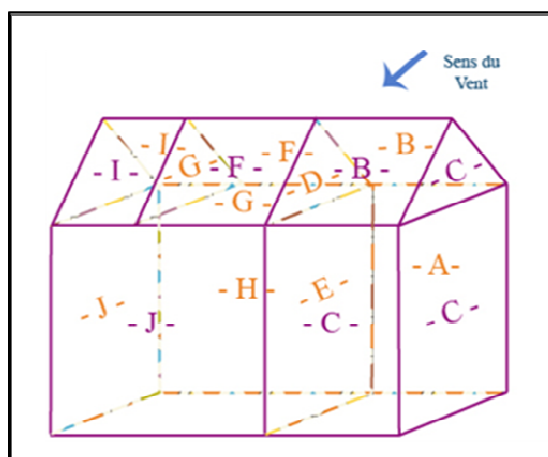


Figure 3 : Repérage des parois délimitant le bâtiment

3.2 FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL CONFINE

Connaissant le nuage toxique de durée une heure et de concentration C_{ext} impactant le bâtiment et les niveaux de perméabilité à l'air des combles et du reste du bâti, le logiciel CONFINE fait varier la perméabilité du local de confinement (= n50) de telle sorte que la concentration maximale atteinte dans ce local ne dépasse pas le SEI du produit toxique concerné (ammoniac, chlore...) et pour la durée spécifiée de confinement (= 1 ou 2 h).

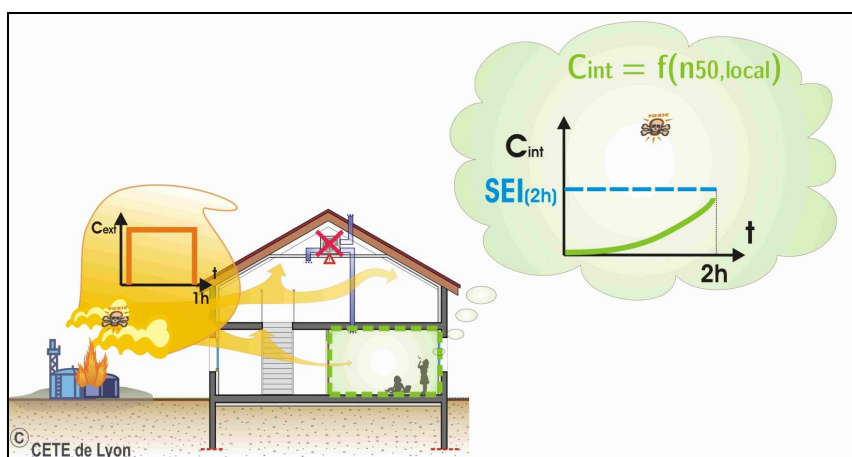


Figure 4 : Illustration du scénario accidentel

Le niveau de performance attendu pour le local de confinement est exprimé à l'aide du taux d'atténuation cible $A_i \in] 0 :1 [$, donné par :

$$A_i = \frac{SEI}{C_{ext}} \quad \text{Équation 1}$$

Cette recherche de la solution finale se fait en plusieurs étapes (cf. Figure 5). Les deux premières étapes sont détaillées dans les deux paragraphes suivants.

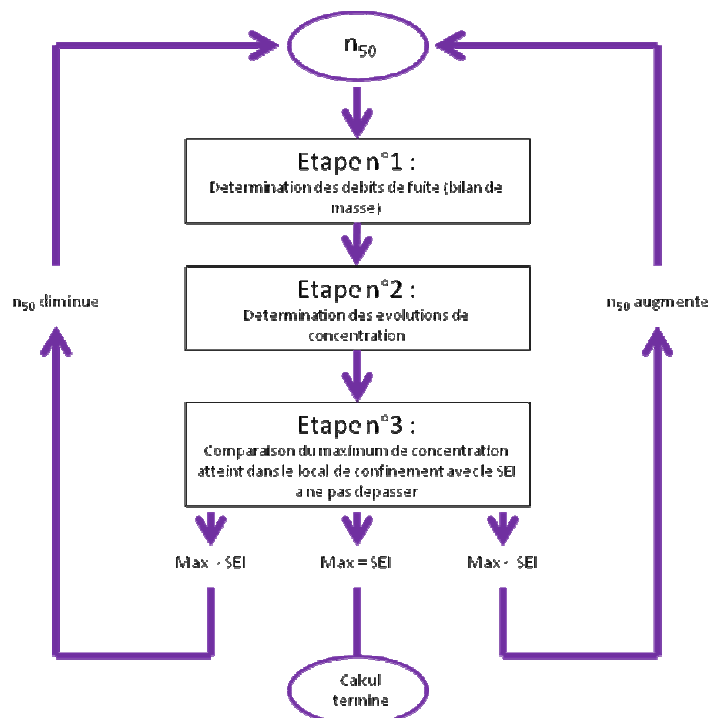


Figure 5 : Logigramme de l'outil CONFINE

Une fois le calcul terminé, le n_{50} est donné avec un arrondi au 0,1 inférieur.

3.2.1 ETAPE N°1 - DETERMINATION DES DEBITS DE FUITE SUR CHACUNE DES PAROIS

Pour un n_{50} donné, le logiciel ajuste les pressions de référence (P_1 pour le local de confinement, P_2 pour les combles et P_3 pour le reste du bâti) afin de vérifier le bilan de masse sur chaque zone². A la fin de cette étape, la somme des débits massiques entrant est donc égale à la somme des débits massiques sortant (à un critère de convergence près) pour chacune des trois zones considérées. Le système à résoudre est donc :

² Ce bilan de masse consiste à résoudre un système de 3 équations à 3 inconnues en utilisant la méthode de NEWTON-RAPHSON.

$$\sum_i Q_{m,i} = 0$$

$i = A, B, C, D, E$ pour le local confiné
 $i = -D, F, G$ pour les combles
 $i = -E, -G, H, I, J$ pour le reste du bâti

Équation 2

Avec le critère de convergence suivant:

$$\sum_i Q_{m,i} < 10^{-6}$$

Équation 3

Où Q_m correspond au débit massique de fuite (en kg/h). Celui-ci est calculé à l'aide d'une loi puissance donnée par :

$$Q_m = \rho \times \text{signe}(\Delta P) \times C \times [\Delta P]^n$$

Équation 4

Avec :

ρ la masse volumique de l'air traversant la paroi [kg/m^3].
 C le coefficient de perméabilité à l'air de la zone considérée [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n}$],
 ΔP la différence de pression régnant de part et d'autre de la paroi [Pa],
et n le coefficient d'écoulement (ici $n = 2/3$).

3.2.1.1 PRECISIONS SUR LE COEFFICIENT DE PERMEABILITE C

Le coefficient de perméabilité à l'air C , propre à chaque zone, est calculé à partir de :

$$C = Q_{4Pa_Surf} \times \left(\frac{1}{4}\right)^{2/3}$$

Équation 5

Pour les combles non-aménagés et le reste du bâti, la perméabilité à l'air sous 4 Pa (= Q_{4Pa_Surf}) fait partie des données demandées à l'utilisateur. Pour le local confiné, cet indicateur peut être déduit du taux de renouvellement d'air à 50Pa (n_{50}), objectif du calcul :

$$Q_{4Pa_Surf,local} = \left(\frac{4}{50}\right)^{2/3} \times \frac{\text{Volume du local}}{\sum_{i=A}^E \text{Surface de la paroi } i \text{ du local}} \times n_{50,local}$$

Équation 6

3.2.1.2 PRECISIONS SUR LA DIFFERENCE DE PRESSION ΔP

La différence de pression ΔP est égale à :

$$\Delta P = P_{zone2} - P_{zone1} + P_{tir2} - P_{tir1} + P_{vent} \quad \text{Équation 7}$$

Où :

P_{zone1} correspond à la pression de référence de zone étudiée [Pa]

P_{zone2} à la pression de référence de la zone adjacente [Pa]

P_{tir1} à la pression liée au tirage thermique de la zone étudiée [Pa]

P_{tir2} à la pression liée au tirage thermique de la zone adjacente [Pa]

P_{vent} à la pression exercée par le vent [Pa]

Le repérage des zones autour de chaque paroi est indiqué sur le Tableau 2.

Paroi	Zone 1	Zone 2	h_{default}
A	Local	Extérieur	$hp_1+h_1/2$
B	Local	Extérieur	hp_1+h_1
C	Local	Extérieur	$hp_1+h_1/2$
D	Local	Combles	hp_1+h_1
E	Local	Bâti	$hp_1+h_1/2$
F	Combles	Extérieur	hp_2+h_2
G	Combles	Bâti	hp_2
H	Bâti	Extérieur	$hp_3+h_3/2$
I	Bâti	Extérieur	hp_3+h_3
J	Bâti	Extérieur	$hp_3+h_3/2$

Tableau 2 : Repérage des zones autour de chaque paroi

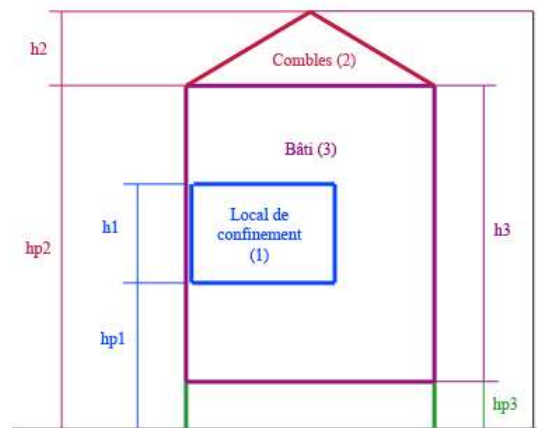


Figure 6 : Repérage des paramètres pour le calcul de h_{default}

3.2.1.2.1 CALCUL DE LA PRESSION LIEE AU TIRAGE THERMIQUE

Le calcul de P_{tir1} ou P_{tir2} se fait de la façon suivante :

$$P_{tir1,2} = -\rho_{1,2} \cdot g \cdot h_{\text{default}} \quad \text{Équation 8}$$

Avec :

g la constante de gravité ($= 9,81 \text{ m/s}^2$)

h_{default} la hauteur du défaut [m] dont l'expression est donnée sur la Figure 6.

$\rho_{1,2}$ la masse volumique de l'air traversant la paroi [kg/m^3]

3.2.1.2.2 CALCUL DE LA PRESSION EXERCEE PAR LE VENT

La pression P_{vent} sur une paroi soumise à l'effet du vent est calculée par :

$$P_{vent} = 1/2 \times C_p \cdot \rho_{exterieur} \cdot V_{vent}^2 \quad \text{Équation 9}$$

Où :

C_p est le coefficient de pression de la paroi [-]

$\rho_{exterieur}$ la masse volumique de l'air extérieur [en kg/m³]

V_{vent} la vitesse de vent [en m/s]

De façon évidente, ce calcul ne concerne que les parois orientées vers l'extérieur c'est-à-dire A, B, C, F, H, I et J. Pour les autres parois, $P_{vent} = 0$.

A/- COEFFICIENT DE PRESSION

Les coefficients de pression, notés C_p , sont choisis à l'aide de la norme [NF-EN-15242, 2007]. Comme on peut le constater sur le Tableau 3, les valeurs de C_p dépendent :

- de la **présence ou non d'un obstacle** entre l'installation source et le bâtiment. En effet, cet obstacle peut protéger le bâtiment de l'effet du vent propice à des infiltrations plus importantes dans le bâtiment,
- de la **hauteur de la paroi** (une paroi en hauteur risque de moins bénéficier de l'effet protecteur apporté par l'obstacle contrairement à une paroi située au niveau du sol),
- de la **position de la paroi par rapport au bâtiment**. Selon la règle des 60° illustrée sur la Figure 7, une paroi peut être exposée ou abritée du vent qui va donc générer respectivement des surpressions ou des dépressions,
- de la **pente des parois pour la toiture**.

Partie de façade	Protection	Coefficients adimensionnels de pression de vent				
		Au vent C_{p1}	Sous le vent C_{p2}	Toit (suivant la pente) C_{p3}		
				< 10°	10° – 30°	> 30°
Basse	Ouverte	+ 0,50	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	Normale	+ 0,25	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	Protégée	+ 0,05	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
Moyenne	Ouverte	+ 0,65	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20
	Normale	+ 0,45	- 0,50	- 0,60	- 0,50	- 0,20
	Protégée	+ 0,25	- 0,30	- 0,50	- 0,40	- 0,20
Haute	Ouverte	+ 0,80	- 0,70	- 0,70	- 0,60	- 0,20

Tableau 3 : Coefficients de pression de vent selon norme NF-EN-15242

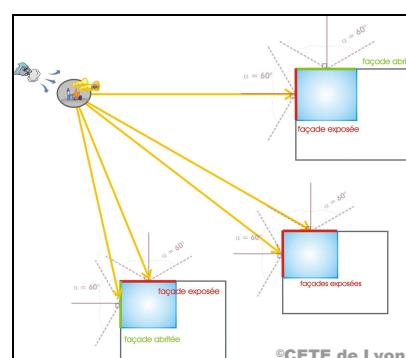


Figure 7 : Règle d'exposition des parois³

³ Une paroi sera considérée comme « exposée au vent » si la droite reliant l'installation au centre de la paroi considérée s'inscrit dans un angle de - 60° / + 60° par rapport à la médiane de la paroi. A défaut, la paroi est considérée comme « abritée du vent ».

Dans un souci de contrôler le paramétrage d'entrée, les valeurs adéquates du C_p ne sont pas choisies par l'utilisateur mais sélectionnées « automatiquement ». Pour ce faire, l'outil procède en plusieurs étapes, conformément à la norme NF-EN-15242 :

- **Etape 1 :** en fonction de la hauteur moyenne⁴ de la zone étudiée, le programme décide si cette zone appartient à la partie basse, moyenne ou haute du bâtiment :
 - o Si hauteur moyenne < 15 m, la zone étudiée est en partie basse
 - o Si $15 \text{ m} \leq \text{hauteur moyenne} \leq 50 \text{ m}$, la zone est en partie moyenne
 - o Si hauteur moyenne > 50 m, la zone est en partie haute
- **Etape 2 :** selon la présence ou non d'un obstacle situé entre l'installation source et le bâtiment cible, le programme évalue ensuite la classe de protection du bâtiment :
 - o S'il n'y a pas d'obstacle, le programme considère une protection dite « ouverte » pour le bâtiment
 - o Si un obstacle est présent, la protection du bâtiment sera « ouverte » si $(\text{largeur obstacle} / \text{largeur bâtiment}) \leq 0,5$. Sinon :
 - « ouverte » si $(\text{éloignement} / \text{hauteur de l'obstacle}) \geq 4$
 - « normale » si $4 > (\text{éloignement} / \text{hauteur de l'obstacle}) \geq 1,5$
 - « protégée » si $(\text{éloignement} / \text{hauteur de l'obstacle}) < 1,5$
- **Etape 3 :** le positionnement de chaque zone et la classe de protection du bâtiment étant connus, il est alors possible d'attribuer une classe de protection pour chaque zone, à savoir :
 - o Pour la partie basse, la classe de protection est :
 - égale à celle du bâtiment si $(\text{hauteur de l'obstacle} > \frac{1}{2} \times \min \{\text{hauteur du bâtiment} ; 15\})$
 - sinon égale à « ouverte »
 - o Pour la partie moyenne, la classe de protection est :
 - égale à celle du bâtiment si $(\text{hauteur de l'obstacle} - 15 > \frac{1}{2} \times \min \{\text{hauteur du bâtiment} - 15 ; 35\})$
 - sinon égale à « ouverte »
 - o Pour la partie haute, la classe de protection est toujours égale à « ouverte ».
- **Etape 4 :** détermination des valeurs de C_p pour chaque paroi du bâtiment en utilisant le Tableau 3.

⁴ Cette hauteur moyenne est calculée en additionnant la hauteur de plancher à la demi-hauteur de la zone.

B/- VITESSE DE VENT

Le calcul de la vitesse de vent se fait à l'aide d'une loi logarithmique basée sur la relation de BUSINGER et sur la longueur de MONIN-OBUKOV [CETE de Lyon, 2011] :

$$V_{vent}(z) = u_a \times \frac{\ln\left(\frac{z + z_0}{z_0}\right) - \Psi(z)}{\ln\left(\frac{z_{ref} + z_0}{z_0}\right) - \Psi(z_{ref})} \quad \text{Équation 10}$$

Où :

u_a correspond à la vitesse météorologique imposée par l'utilisateur (3 m/s pour A3, B3, E3 et F3, 5 m/s pour B5, C5 et D5 et 10 m/s pour C10 et D10),

z à la hauteur du bâtiment [m],

z_0 à la longueur de rugosité [m], donnée par le Tableau 4,

z_{ref} à la hauteur de référence prise pour la vitesse météorologique (ici $z_{ref} = 10$ m),

L à la longueur de MONIN-OBUKOV [m], calculée à l'aide du Tableau 5,

Ψ à la relation de BUSIGNER [-], donnée par le Tableau 6.

La rugosité du terrain z_0 est déterminée en utilisant le tableau suivant :

Type de terrain		Z ₀ [m]
« zone urbaine »		0,95
« banlieue pavillonnaire »		
« habitat dispersé »		0,183
« par défaut »	Si hauteur du bâtiment	
	>10 m	0,95
	<10 m	0,183

Tableau 4 : Détermination du paramètre de rugosité

La longueur de MONIN-OBUKOV est fonction de la stabilité atmosphérique qui est exprimée selon les classes de PASQUILL.

Condition météo	A _{monin}	B _{monin}	L [m]
A	-11.4	0.1	= A _{monin} × Z ₀ ^{B_{monin}}
B	-26	0.17	= A _{monin} × Z ₀ ^{B_{monin}}
C	-123	0.3	= A _{monin} × Z ₀ ^{B_{monin}}
D			= 10 ⁵
E	123	0.3	= A _{monin} × Z ₀ ^{B_{monin}}
F	26	0,17	= A _{monin} × Z ₀ ^{B_{monin}}

Tableau 5 : Détermination de la longueur de Monin [CETE de Lyon, 2011]

La forme de la relation de BUSIGNER Ψ dépend également de la classe de stabilité atmosphérique.

Condition météo	Ψ
A, B et C	$\Psi(a) = 2 \ln\left(\frac{1+a}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+a^2}{2}\right) - 2 \tan^{-1}(a) + \frac{\pi}{2}$ Avec $a = \left(1 - 15 \frac{Z}{L}\right)^{1/4}$
D	$\Psi = 0$
E et F	$\Psi(z) = -2 \frac{Z}{L}$

Tableau 6 : Détermination du coefficient de Busigner

3.2.2 ETAPE N°2 - DETERMINATION DE L'EVOLUTION DE LA CONCENTRATION DANS LE LOCAL DE CONFINEMENT

Une fois les débits de fuite connus, le logiciel procède à un bilan de masse du polluant à l'intérieur de chaque zone du bâtiment en utilisant une méthode explicite.

$$V_k \frac{dC_k}{dt} = \sum_i \left(\frac{Q_{m,entrant \text{ dans } k}}{\rho_i} \right) \times C_i - \sum_i \left(\frac{Q_{m,sor tant de k}}{\rho_k} \right) \times C_k \quad \text{Équation 11}$$

Cette étape permet de prédire l'évolution de la concentration dans les 3 zones du bâtiment (C₁ pour le local confiné, C₂ pour les combles non-aménagés et C₃ pour le reste du bâti). L'utilisation de l'Équation 11 nécessite toutefois de connaître le

profil de concentration extérieure. Dans la version actuelle de CONFINE, celui-ci prend la forme du palier illustré sur la Figure 8 : la concentration est maximale pendant la durée de largage fixée à 1 h, passe par une valeur médiane au pas de temps suivant puis s'annule définitivement.

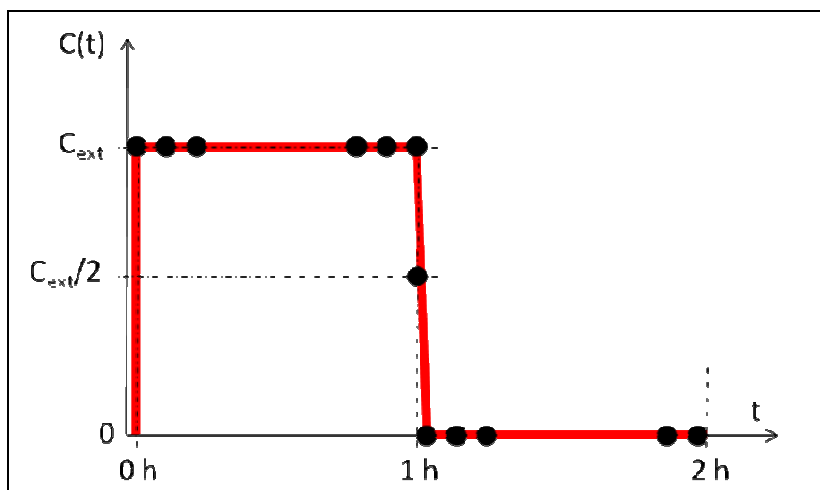


Figure 8 : Profil de concentration extérieure

4. LISTE DES PARAMETRES

4.1 DONNEES D'ENTREE

4.1.1 ENVIRONNEMENT DU SITE

Dans ce paragraphe sont listés les paramètres permettant de définir les conditions météorologiques et environnementales :

- **Topologie du site** : « zone urbaine », « banlieue pavillonnaire », « habitat dispersé » ou « par défaut »
- **Condition météorologique** : A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10, E3 ou F3
- **Température extérieure** : imposée par le choix de la condition météorologique (20°C si A3, B3, B5, C5, C10, D5, D10 ou E3, 15°C si F3) mais possibilité laissée à l'utilisateur de modifier cette valeur [en °C]
- **Obstacle** : présence ou non d'un obstacle entre l'installation source et le bâtiment étudié (« oui » ou « non »)
- **Largeur de l'obstacle** : uniquement si obstacle présent [en m] – l_{obst}
- **Hauteur de l'obstacle** : uniquement si obstacle présent [en m] – H_{obst}
- **Eloignement de l'obstacle** : uniquement si obstacle présent [en m] – E_{obst}

4.1.2 CARACTERISTIQUES DU BATIMENT

Les données ci-dessous sont propres au bâtiment étudié.

- Local de confinement
 - o **Hauteur du plancher** [en m] – $hp1$
 - o **Hauteur du local de confinement** [en m] – $h1$
- Combles non aménagés
 - o **Hauteur du plancher** [en m] – $hp2$
 - o **Hauteur des combles** [en m] – $h2$
- Reste du bâti
 - o **Hauteur du plancher** [en m] – $hp3$
 - o **Hauteur du reste du bâti** [en m] – $h3$
- **Largeur du bâtiment** : uniquement si obstacle présent [en m] – l_{bat}
- **Surface des parois A, B, C, D, E, F, G, H, I et J** [en m²]
- **Pente de toiture de la paroi B, F et I** (« < 10° », « entre 10 et 30° » ou « > 30° »)
- **Perméabilité à l'air des parois des combles non aménagés et du reste du bâti** [en m³/h par m² sous 4 Pa] – $Q_{4\text{Pa_surf_combles}}$ et $Q_{4\text{Pa_surf_bati}}$

- **Volume des différentes zones** du bâtiment [en m³] – V1, V2 et V3

4.1.3 SCENARIO ACCIDENTEL

Les données d'entrée relatives au scénario toxique étudié sont regroupées dans ce paragraphe. Le scénario accidentel est conforme au nuage toxique conventionnel de durée une heure et de concentration C_{ext} décrit dans le document « PPRT- Complément technique relatif à l'effet toxique, juillet 2008 ».

- **Durée de confinement** (1 ou 2 h)
- **Taux d'atténuation souhaitée dans le local de confinement** i.e. le rapport $A_i = \frac{SEI}{C_{ext}}$ (-)

4.2 CONSTANTES UTILISEES

CONFINE fait appel à plusieurs constantes auxquelles **l'utilisateur n'a pas accès** mais dont les valeurs peuvent être modifiées, si nécessaire, par le programmeur.

- **Pression atmosphérique** (= 101325 Pa) - Pa
- **Constante intervenant dans la loi des gaz parfaits** (= 287,055 J/kg.K) – R_gp
- **Exposant pour le calcul des débits de fuite** entre les zones (= 2/3) - n
- **Nombre maximal d'itérations** toléré pour le solveur (= 50) - Nmax
- **Critère de convergence sur le bilan de masse** de chaque zone (= 1^e-6) - Eps
- **Constante d'accélération** (= 9,81 m/s²) - constG
- **Durée de largage du produit** (= 1 h) – Tlargage
- **Concentration maximale dans le nuage** (= 1 ppm) – Cmax
- **Température intérieure du bâtiment** (= 20°C) - Tp

4.3 DONNEES DE SORTIE

Tous les résultats sont listés ci-dessous :

- **Perméabilité à l'air du local de confinement** [en vol/h sous 50 Pa et sous 10 Pa] – n50 et n10
- **Pression de référence calculée dans chacune des zones du bâtiment** [en Pa]
- **Coefficient de pression utilisé** pour chaque paroi du bâtiment [-] - Cp
- **Hauteur du défaut** pour chaque paroi [en m] - hdef
- **Pression due au tirage thermique de la zone adjacente** pour chaque paroi [en Pa] – Ptir1
- **Pression due au tirage thermique de la zone considérée** pour chaque paroi [en Pa] – Ptir2

- **Pression exercée par le vent** pour chaque paroi [en Pa] – Pvent
- **Différence de pression** pour chaque paroi [en Pa] - ΔP
- **Débits volumiques fuyant et entrant** dans chacune des zones du bâtiment [en m³/h]
- **Taux d'atténuation calculé dans le local de confinement** [-] – C1
- **Taux d'atténuation calculé dans les combles non aménagés** [-] – C2
- **Taux d'atténuation calculé dans le reste du bâti** [-] – C3

5. INTERFACES

La Figure 9 montre les différentes interfaces graphiques pouvant se présenter à l'utilisateur. Le fait de « lancer le calcul » permet d'afficher deux écrans de résultats, l'un regroupant les résultats principaux (n_{50} , pressions, caractéristiques de parois...) et l'autre les données de concentration. Un lien « Imprimer la page » permet d'imprimer rapidement le contenu de chaque écran tandis que les liens « Résultats sous forme pdf » et « Tableau de concentration : fichier csv » permettent de générer (voir ultérieurement d'enregistrer) un fichier *.pdf regroupant toutes les données d'entrée et résultats obtenus du cas étudié et un fichier *.csv des données de concentration.

De même, des liens « Sauver les données d'entrée » ont été mis en place afin de créer rapidement un fichier de mise en donnée pouvant être relu par l'interface d'entrée.

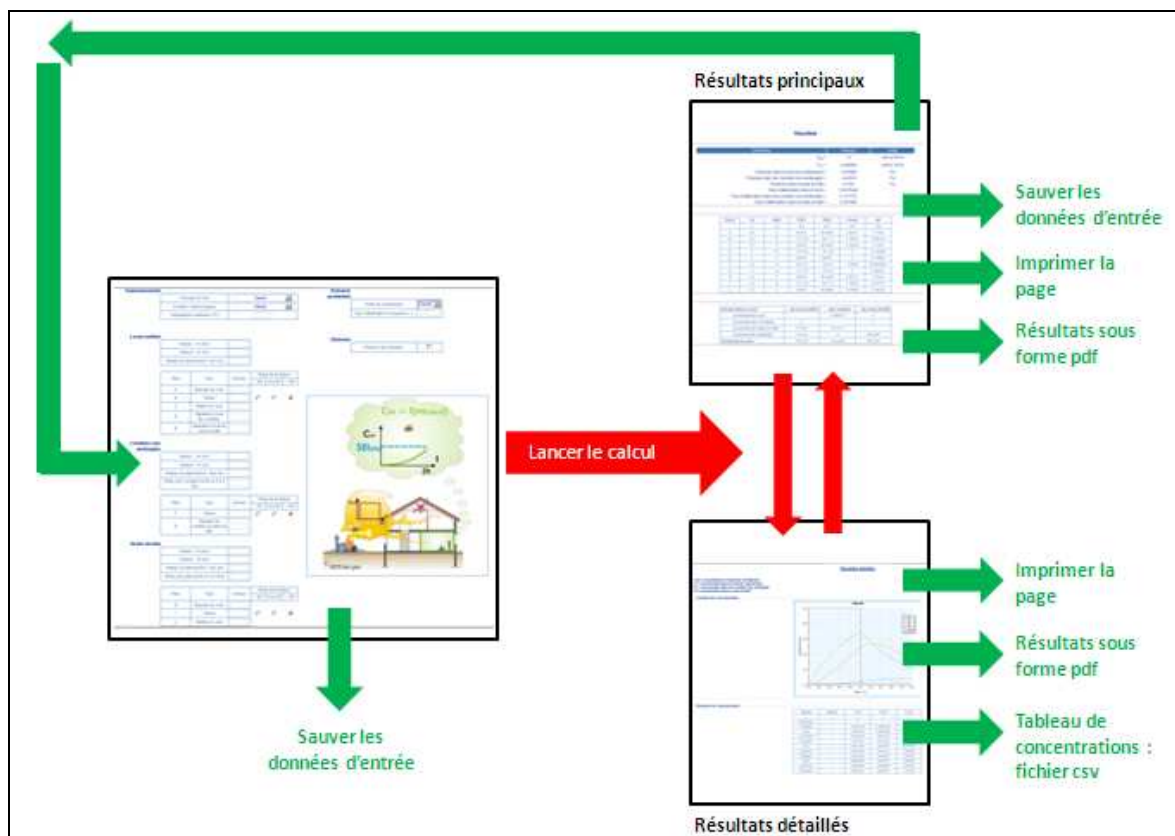


Figure 9 : Visualisation des différentes interfaces de l'outil CONFINE

Ajoutons enfin que, depuis l'interface d'entrée, il est possible de télécharger :

- La présente note présentant l'outil CONFINE,
- Le guide de « Modélisation des transferts aérauliques en situation de confinement – Bases théoriques et éléments de validation » [CETE de Lyon, 2011]

6. ELEMENTS DE VALIDATION

Plusieurs tests d'évaluation ont été effectués sur l'outil CONFINE avant que celui-ci ne soit mis à la disposition de l'utilisateur :

- Cas test n°1 : étude générique avec un bâtiment constitué d'un local de confinement, des combles non-aménagés et du reste du bâti.
- Cas test n°2 : local de confinement situé en plein milieu du reste du bâti
- Cas test n°3 : pas de combles non-aménagés dans le bâtiment
- Cas test n°4a : étude PPRT n°1 déjà réalisée par le CETE de Lyon
- Cas test n°4b : même étude que précédemment mais en imposant une température de l'air extérieur de -10°C
- Cas test n°5 : étude PPRT n°2 déjà réalisée par le CETE de Lyon
- Cas test n°6 : étude PPRT déjà réalisée par l'INERIS
- Cas test n°7 : local de confinement exposé directement au nuage toxique
- Cas test n°8 : étude générique avec un bâtiment constitué d'un local de confinement, des combles non-aménagés et du reste du bâti (justification du passage de CONFINE v1.0 à v1.1).

A chaque fois, le nouvel outil CONFINE a permis d'obtenir le résultat attendu pour le n_{50} ou, à défaut, affiche un message d'avertissement/erreur.

Conformément au complément technique PPRT relatif aux effets toxiques, le nouvel outil CONFINE a aussi été validé par confrontation des résultats obtenus sur les 6 cas tests (différents de ceux précédemment listés) décrits dans le document "Modélisation des transferts aérodynamiques en situation de confinement" [CETE de Lyon, 2011] avec ceux du logiciel CONTAM développé par le National Institute of Standards and Technology (NIST). Les résultats obtenus sont strictement identiques à ceux obtenus avec la version 3.7 de l'outil CONFINE du CETE de Lyon, explicités dans le même document. Ainsi l'application sous Primarisk peut être utilisée dans le cadre des études de vulnérabilité sur les bâtiments soumis à des PPRT.

7. REFERENCES

BUSINGER J.A., WYNGAARD J.C., IZUMI Y. Et BRADLEY E.F., "Flux profile relationships in the Atmospheric Surface Layer", Journal of Atmospheric Science, 28, pg 181-189, 1971.

CERTU, CETE de Lyon et INERIS, « Guide PPRT : Complément technique relatif à l'effet toxique – version 1.0 », juillet 2008.

CETE de Lyon, « Modélisations des transferts aérauliques en situation de confinement : Bases théoriques et éléments de validation », mars 2011. (Document téléchargeable depuis http://www.cete-lyon.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/CETE69_ModelTransfAerauliques_juin2010_cle5c189d.pdf)

NF-EN-15242, « Ventilation des bâtiments - Méthodes de calcul pour la détermination des débits d'air dans les bâtiments y compris l'infiltration », 2007.