



(ID Modèle = 454913)

Ineris - 207093 - 2399182 - v2.0

25/05/2023

Ventilation d'urgence

Document de synthèse relatif à une Barrière Technique de Sécurité (B.T.S.)

PRÉAMBULE

Le présent document a été réalisé au titre de la mission d'appui aux pouvoirs publics confiée à l'Ineris, en vertu des dispositions de l'article R131-36 du Code de l'environnement.

La responsabilité de l'Ineris ne peut pas être engagée, directement ou indirectement, du fait d'inexactitudes, d'omissions ou d'erreurs ou tous faits équivalents relatifs aux informations utilisées.

L'exactitude de ce document doit être appréciée en fonction des connaissances disponibles et objectives et, le cas échéant, de la réglementation en vigueur à la date d'établissement du document. Par conséquent, l'Ineris ne peut pas être tenu responsable en raison de l'évolution de ces éléments postérieurement à cette date. La mission ne comporte aucune obligation pour l'Ineris d'actualiser ce document après cette date.

Au vu de ses missions qui lui incombent, l'Ineris, n'est pas décideur. Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient proposés par l'Ineris dans le cadre des missions qui lui sont confiées, ont uniquement pour objectif de conseiller le décideur dans sa prise de décision. Par conséquent, la responsabilité de l'Ineris ne peut pas se substituer à celle du décideur qui est donc notamment seul responsable des interprétations qu'il pourrait réaliser sur la base de ce document. Tout destinataire du document utilisera les résultats qui y sont inclus intégralement ou sinon de manière objective. L'utilisation du document sous forme d'extraits ou de notes de synthèse s'effectuera également sous la seule et entière responsabilité de ce destinataire. Il en est de même pour toute autre modification qui y serait apportée. L'Ineris dégage également toute responsabilité pour chaque utilisation du document en dehors de l'objet de la mission.

Nom de la Direction en charge du rapport : DIRECTION INCENDIE DISPERSION EXPLOSION

Rédaction : RODRIGUES Marta

Vérification : MASSE FRANCOIS; ADJADJ AHMED; JOUBERT LAURIS; LEROY GUILLAUME

Approbation : Document approuvé le 25/05/2023 par DUPLANTIER STEPHANE

Table des matières

1	Fonction de sécurité assurée.....	5
2	Objet de la fiche	7
3	Description générale	9
3.1	Caractérisation de la substance dangereuse.....	9
3.2	Ventilation d'un nuage inflammable.....	10
3.3	Techniques de ventilation artificielle.....	10
3.3.1	Installation de ventilation localisée.....	11
3.3.2	Installation de ventilation générale.....	12
3.4	Réseau d'extraction	13
3.4.1	Organe d'extraction : ventilateur.....	14
3.4.2	Compensation.....	14
3.5	Architecture du système	14
3.5.1	Alimentation	15
3.5.2	Détection	15
3.5.3	Traitement	16
3.5.4	Action	16
3.6	Modes de défaillance d'un système de ventilation d'urgence.....	16
4	Critères d'évaluation des performances.....	18
4.1	Indépendance.....	18
4.2	Efficacité.....	18
4.2.1	Dimensionnement du système de détection gaz.....	18
4.2.2	Positionnement des dispositifs de captage	19
4.2.3	Dimensionnement du système d'extraction.....	20
4.3	Temps de réponse.....	20
4.4	Niveau de confiance	20
4.4.1	Alimentation	21
4.4.2	Capteurs	21
4.4.3	Traitement	21
4.4.4	Action	21
5	Tests et maintenance	22
5.1	Tests à la mise en service.....	22
5.2	Détection des défauts en fonctionnement.....	22
5.3	Tests périodiques	22
5.4	Gestion des modifications.....	23
6	Glossaire.....	24
7	Liste des sources utilisées.....	25

Résumé

Les installations de ventilation ont pour but de réduire au niveau le plus faible possible la concentration de substances dangereuses dans un local, soit en aspirant au plus près de leur source d'émission soit en mettant en place des ventilations générales de bâtiment pour diluer la concentration de ces substances dangereuses hors de son domaine d'explosivité. Cette ventilation peut être réalisée en permanence ou lors de la détection d'une concentration dangereuse (ventilation d'urgence).

Cette fiche présente les principes de fonctionnement des installations de ventilation artificielle ainsi que les éléments nécessaires pour vérifier le respect des critères de performance définis par la méthode $\Omega 10$ [1] et l'article 4 de l'arrêté du 29 septembre 2005 : efficacité, temps de réponse, test / maintenance et niveau de confiance.

Pour citer ce document, utilisez le lien ci-après :

Institut national de l'environnement industriel et des risques Ventilation d'urgence, Verneuil-en-Halatte :
Ineris - 207093 - v2.025/05/2023.

Mots-clés :

Fiche Barrière, Barrière technique de sécurité, Système Instrumenté de Sécurité, MMR, MMRI, Ventilation

1 Fonction de sécurité assurée

La ventilation d'urgence peut être utilisée dans des locaux confinés pour éviter la formation d'un nuage inflammable ou pour réaliser l'extraction de fumées en cas d'incendie.

La formation d'un nuage inflammable en milieu confiné peut se produire en raison d'une fuite de gaz ou de liquide (par évaporation) ou être liée à l'accumulation de gaz émis en fonctionnement normal de l'installation. L'inflammation du nuage peut être un scénario d'accident majeur dans les ICPE.

Le principe général de la prévention des risques d'explosion selon la Directive 2014/34/UE (ATEX) vise d'abord à éviter qu'une explosion ne survienne et, si elle se produit, à en limiter les effets. Pour cela, la recherche de mesures techniques et organisationnelles s'attache, en priorité, à empêcher la formation d'atmosphères explosives, puis à éviter son inflammation et enfin à limiter les effets d'une explosion en mettant en place des systèmes de protection, afin de protéger la santé et la sécurité des salariés. Ces principes sont applicables à la maîtrise de risques d'explosion de nuages de gaz dans le cadre d'une étude de dangers.

Lorsque les émissions de substances inflammables ne peuvent pas être évitées, un système de ventilation adéquat permet souvent d'empêcher la formation d'atmosphères explosives dangereuses.

La norme IEC 60079-10-1 [5] définit la ventilation comme le « *mouvement de l'air et son remplacement par de l'air frais dus aux effets du vent et/ou à des gradients de température, ou à des moyens artificiels (par exemple, ventilateurs ou extracteurs).* » Le terme « air frais » fait référence à l'air sans gaz ou vapeur inflammable.

Il existe deux types de ventilation :

- La ventilation naturelle, par exemple un bâtiment ouvert ou un bâtiment qui possède des ouvertures permanentes réalisées à des fins de ventilation. **La ventilation naturelle ne fait pas l'objet de cette fiche.**
- La ventilation artificielle ou forcée, qui peut être générale (par rapport à l'emplacement) ou locale (par rapport à la source de dégagement).

Une installation de ventilation artificielle peut permettre de réduire au niveau le plus faible possible la concentration de substances dangereuses dans le local par aspiration à la source ou en mettant en place des ventilations générales de bâtiment pour diluer la concentration hors du domaine d'explosivité. C'est une solution utilisée dans des nombreux secteurs d'activité comme l'aéronautique, les installations nucléaires, l'industrie chimique, pharmaceutique, métallurgique et agro-alimentaire.

La ventilation d'un emplacement peut fonctionner en permanence ou démarrer uniquement en cas d'accident, c'est-à-dire lors de la détection d'une concentration dangereuse en raison d'une fuite ou d'une rupture de flexible, par exemple. Dans ce dernier cas, on parle de ventilation d'urgence.

La fonction de sécurité dans le contexte d'une **ventilation d'urgence** consiste au démarrage d'un système de ventilation en cas de dépassement d'un seuil de concentration de substances dangereuses afin d'évacuer ces substances soit pour éviter l'atteinte d'une concentration supérieure à la limite inférieure d'explosivité à l'intérieur du local protégé, soit pour limiter cette concentration et les conséquences d'une inflammation permettant ainsi la valorisation d'autres systèmes de protection (comme les événements). Dans la plupart des cas, cette action est accompagnée de la coupure de l'énergie et de la fermeture d'organes d'isolement pour arrêter le flux de ces substances. La ventilation d'urgence dépend de la détection de la fuite et donc de la fiabilité et disponibilité des détecteurs et de l'unité de traitement utilisés.

Pour un système de **ventilation fonctionnant en continu**, la fonction de sécurité peut être :

- soit de limiter la formation d'une atmosphère explosive en fonctionnement normal, dans ce cas on considérera que les émissions de substances dangereuses se produisent de façon permanente en fonctionnement et que l'arrêt de la ventilation serait un événement initiateur du scénario ;
- soit d'être en fonctionnement de manière préventive afin de ventiler une perte de confinement accidentelle de la substance dangereuse. Dans ce cas la fonction de sécurité assurée est la même que pour un système se déclenchant sur un seuil mais le fonctionnement continu permet d'éviter d'être dépendant du fonctionnement de la détection de la substance et assure une disponibilité immédiate.

Pour les systèmes fonctionnant de manière continue, des capteurs mesurant le bon fonctionnement de la ventilation sont généralement utilisés (débit ou vitesse de rotation par exemple).

Il est important de noter que dans le cas des installations de ventilation artificielle, la perte d'énergie peut conduire à la perte de la fonction de sécurité si aucune alimentation de secours n'est présente. On parle donc de dispositifs de sécurité à émission. C'est pourquoi il faut assurer la détection de la perte d'intégrité du circuit d'alimentation et l'utilisation d'une alimentation auxiliaire. Dans ces conditions, le dispositif pourra potentiellement être retenu comme une barrière de sécurité dans le contexte de la maîtrise des risques d'accidents majeurs (si les autres critères de performance des MMR sont satisfaits).

Pour le désenfumage des locaux permettant d'éliminer les fumées et les gaz chauds et toxiques qui se dégagent de l'incendie consulter la fiche « Extraction de fumées » disponible sur le site Ineris¹.

¹ https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Entrepots_desenfumage_V2.pdf

2 Objet de la fiche

Cette fiche présente des éléments de synthèse relatifs à l'évaluation des performances des installations de ventilation d'urgence, intégrés à des barrières techniques de sécurité dans le cadre des installations classées.

L'arrêté du 29 septembre 2005 (dit arrêté PCIG) précise qu'il est nécessaire que les études de dangers examinent les performances des mesures de maîtrise des risques et qu'une justification soit fournie. L'article 4 de cet arrêté stipule que « *pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques doivent être efficaces, avoir une cinétique de mise en œuvre en adéquation avec celle des événements à maîtriser, être testées et maintenues de façon à garantir la pérennité du positionnement précité.* »

Dans cette optique, la méthode de définition et d'évaluation des mesures de maîtrise des risques (plus généralement appelées barrières de sécurité) doit être explicitée en s'appuyant sur les critères définis à l'article 4 de l'arrêté précité. Pour cela, l'Ineris a développé des méthodes génériques d'évaluation des barrières techniques (Ω 10 [1]) et humaines (Ω 20 [2]) de sécurité.

La typologie des barrières techniques de sécurité présentées dans le rapport Ω 10 [1] est reprise dans la figure ci-dessous :

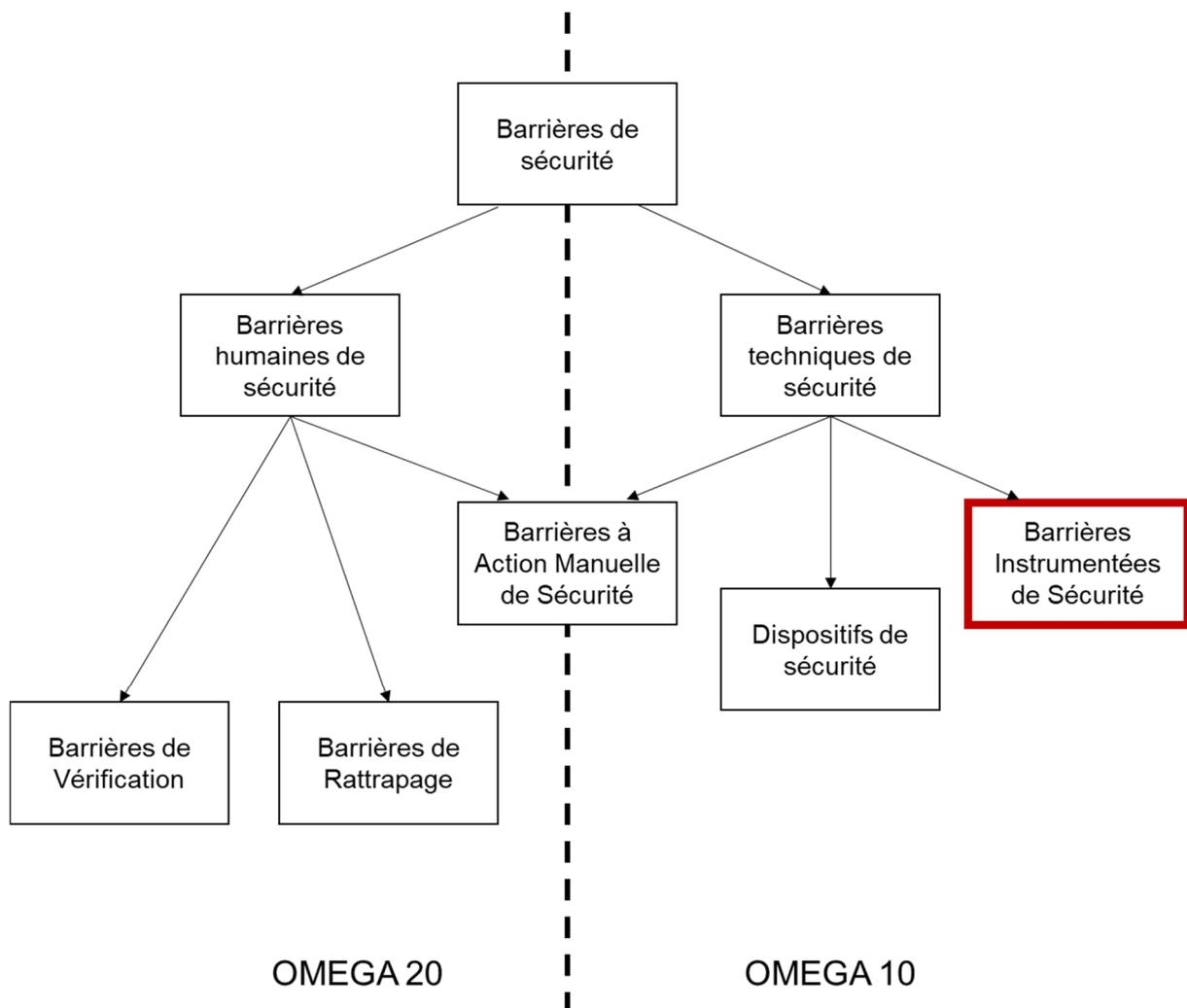


Figure 1: Typologie des Barrières Techniques de Sécurité, Ω 10 [1]

Dans l'approche de l' Ω 10, on définit les barrières de sécurité comme l'ensemble des éléments techniques et humains nécessaires à la réalisation d'une fonction de sécurité.

Une installation de ventilation artificielle d'urgence correspond à une Barrière Instrumentée de Sécurité (BIS). Les barrières instrumentées de sécurité sont constituées par une chaîne de traitement

comprenant une prise d'information, un système de traitement, une action et des moyens de communication pour réaliser une fonction de sécurité.

L'évaluation des performances globales d'une BIS doit porter sur l'ensemble des éléments nécessaires à la réalisation de la fonction de sécurité. Le fonctionnement d'une installation de ventilation artificielle peut être étendu à plusieurs modes d'exploitation et à plusieurs équipements de l'installation : différents détecteurs de paramètres physiques (pression, température, débit, concentration), automates programmables, ventilateurs, alarmes...

Une installation de ventilation artificielle d'urgence peut également correspondre à une Barrière à Action Manuelle de Sécurité (BAMS) si l'opérateur est en interaction avec les éléments techniques du système de sécurité qu'il surveille ou sur lesquels il agit (par exemple, l'opérateur commande manuellement la ventilation artificielle après détection d'une concentration des substances dangereuses).

À noter que lorsque l'action humaine se situe uniquement au niveau de l'actionneur pour commander un élément technique, la BAMS peut être considérée en tant que Mesure de Maîtrise des Risques Instrumentée (MMRI) au sens de la doctrine MMRI du 2 octobre 2013.

Cette fiche porte spécifiquement sur l'évaluation des performances d'une installation de ventilation en tant que barrière instrumentée de sécurité. Dans le cadre de l'approche barrière, on s'intéresse aux **systèmes fonctionnant à la sollicitation** (faible ou forte), pour lesquels on cherche à évaluer des facteurs de réduction de risques. Cette définition correspond à la ventilation d'urgence qui démarre sur détection. **Pour les systèmes fonctionnant en mode continu, deux possibilités existent :**

- Si la ventilation est utilisée pour limiter la formation d'une atmosphère explosive en fonctionnement normal, un dysfonctionnement serait un événement initiateur du scénario. **Ces systèmes ne peuvent donc pas être considérés comme barrière car ils ne respectent pas le principe d'indépendance vis-à-vis du scénario d'accident.**
- Si le système est en fonctionnement de manière préventive afin de ventiler une perte de confinement accidentelle de la substance dangereuse, la fonction de sécurité assurée sera la même que pour un système se déclenchant sur un seuil.

Les principaux référentiels applicables dans ce contexte sont :

- La méthode Ω 10 [1] qui donne les éléments généraux pour l'évaluation des performances des barrières techniques de sécurité et des éléments qui les composent ;
- La note de doctrine MMRI [4] qui fixe des exigences sur la conception et l'exploitation des mesures de maîtrise des risques instrumentées de conduite (MMRIC) et de sécurité (MMRIS) ;
- La norme IEC 60079-10-1 [5] qui peut constituer une base pour la conception, l'exploitation et la maintenance correctes du matériel utilisé dans des emplacements où des phénomènes dangereux dus à des gaz ou vapeurs inflammables peuvent apparaître. Des recommandations relatives à l'évaluation de la ventilation et de la dispersion sont données à l'Annexe C de cette norme.

Le présent document donne donc les éléments essentiels sur :

- Les principes de fonctionnement général des installations de ventilation au chapitre 3 ;
- La vérification du respect des critères de performance tels qu'ils sont définis par la méthode Ω 10 [1] en termes d'efficacité, de temps de réponse et de niveau de confiance au chapitre 4 ;
- La maîtrise en exploitation des performances des installations de ventilation au chapitre 5.

3 Description générale

Toute installation de ventilation est composée d'un système d'approvisionnement et d'un système d'évacuation de l'air. Lors de la conception d'une installation de ventilation, plusieurs éléments doivent être pris en compte afin d'assurer son bon fonctionnement, à savoir :

- La description du local à traiter (volume, géométrie, encombrement, ouvrants...);
- Les contraintes liées au processus industriel, aux personnes et à l'environnement ;
- La caractérisation des scénarios accidentels sur lequel intervient la ventilation (nature des substances, modes d'émission, causes, débit et localisation) ;
- Le mode de fonctionnement : continu ou sur déclenchement, et les moyens de détection pour le déclenchement ;
- L'automate ou l'unité logique de commande de la ventilation ;
- La sélection d'une solution technique de captage et de ventilation ;
- Le dimensionnement de l'installation (vitesses d'air, débits, diamètres, pertes de charge) ;
- La sélection des composants (bouches, canalisations, ventilateurs) ;
- L'installation du système en prenant en compte les contraintes d'intégration du site : alimentations électriques, localisation des rejets.

Cette fiche porte sur les risques liés à la formation d'une atmosphère explosive susceptible de générer des phénomènes dangereux identifiés dans une étude de dangers. Les risques liés à la santé et sécurité des travailleurs et au confort au niveau des postes de travail ne sont pas traités dans ce document.

Les systèmes de ventilation valorisés dans le cadre de la prévention des accidents majeurs peuvent avoir plusieurs fonctions :

- Eviter la formation d'une atmosphère explosive dangereuse : les émissions de gaz ou de poussières peuvent être dus au fonctionnement normal de l'installation ou à une fuite accidentelle (dans le cas d'une fuite de liquide inflammable, la formation du nuage peut résulter de l'évaporation ou de la formation d'un spray si le liquide est sous pression au moment de la fuite). Le système de ventilation doit assurer un renouvellement suffisant de l'air dans le local pour éviter l'atteinte de concentrations supérieures à la limite inférieure d'inflammabilité (LIE). La ventilation peut fonctionner de manière permanente ou être déclenchée manuellement ou automatiquement à la suite d'une détection.
- Extraire les fumées en situation accidentelle (incendie) : pour le désenfumage des locaux (rendu obligatoire par l'article R.235.4.8 du code du travail) permettant d'éliminer les fumées et les gaz chauds et toxiques qui se dégagent de l'incendie consulter la fiche « Extraction de fumées » disponible sur le site Ineris.
- Maintenir le local en surpression ou dépression pour éviter l'entrée ou la sortie de substances dangereuses : le contrôle de la pression à l'intérieur d'un local peut être fait par un système de ventilation générale mécanique.

Dans tous les cas on s'assure du renouvellement de l'atmosphère intérieure au local ou de la zone avec un débit suffisant dans les différentes situations accidentelles définies.

3.1 Caractérisation de la substance dangereuse

La mise en œuvre par l'industrie de matériaux de base ou de produits chimiques divers entraîne généralement une dispersion d'une partie de ceux-ci sous forme de vapeur, particulaire ou diphasique (brouillards de gouttelettes) dans les locaux fermés. Des atmosphères explosives peuvent se former en exploitation normale, mais également accidentellement en raison d'une fuite, une rupture ou autre perte de confinement accidentelle.

Cette situation peut être à l'origine d'incendies ou d'explosions. Pour cette raison, le fonctionnement d'une installation de ventilation nécessite une description détaillée de la nature des substances et ses modes d'émission. Quelques paramètres à prendre en compte sont :

- Type de substance : gaz, liquide, vapeur...
- La Limite Inférieure d'Explosivité (LIE)
- Granulométrie : poussières, aérosols...
- Incompatibilité avec d'autres substances qui pourraient être émis simultanément.

- Taux de dégagement : quantité de gaz, de liquide, de vapeur ou de brouillard inflammable émise par unité de temps par la source de dégagement.
- Vitesse et direction de l'émission.
- Existence de réglementation applicable à la substance.

Pour les gaz, vapeurs et brouillards, il est nécessaire d'évaluer la quantité maximale susceptible d'être dégagée, de connaître l'emplacement de la source de dégagement et les conditions de dispersion pour dimensionner un système de ventilation. Pour les poussières, les systèmes de ventilation ne fournissent généralement une protection suffisante que lorsque la poussière est aspirée à sa source de dégagement et que, en outre, la formation de dépôts de poussières dangereux peut être évitée en toute sécurité (Guide de bonne pratique du Parlement Européen [6]).

3.2 Ventilation d'un nuage inflammable

L'atmosphère d'un local est explosive lorsque les proportions de gaz, de vapeurs, de brouillards ou de poussières dans l'air y sont telles qu'une flamme, une étincelle, une température excessive produisent une explosion. Des atmosphères explosives peuvent se former en fonctionnement normal ou accidentellement en raison des dysfonctionnements prévisibles.

La directive 1999/92/CE impose à l'employeur d'évaluer s'il y a risque d'explosion et, si ce risque existe, de prendre des mesures techniques et organisationnelles pour empêcher la formation d'atmosphères explosibles ou si cela n'est pas possible, de prévenir leur inflammation ou en cas d'impossibilité, de réduire les effets d'une explosion éventuelle à un niveau inoffensif pour les travailleurs.

La délimitation de zones ATEX telles que définies par la réglementation doit reposer sur une analyse des risques, qui nécessite la prise en compte de nombreux paramètres, en particulier :

- Les sources de dégagement : réservoirs, événements, conteneurs ouverts, raccords...
- Les produits : caractéristiques physiques et chimiques, température d'auto-inflammation, densité, point d'ébullition, quantité...
- Les conditions d'implantation : structure ouverte ou fermée, vidange, mode opératoire...
- Les conditions ambiantes : ventilation, conditions climatiques....

L'employeur est tenu de classer en zones les emplacements à risque d'explosion et d'y installer des appareils de catégorie conformes au décret n°2015-799. Cette exigence s'applique à tous les appareils qu'ils soient électriques ou non électriques. En dehors de ces zones définies, le matériel peut être du matériel standard.

Dans le cadre de la prévention des accidents majeurs, différentes zones peuvent correspondre à des scénarios accidentels de l'étude de danger (EDD). La définition des zones ne s'applique pas aux EDD et en conséquence, l'étude ATEX n'identifiera pas forcément les mêmes scénarios que l'EDD.

La suppression du risque d'explosion doit être recherchée en limitant l'occurrence et le volume d'une atmosphère explosive. Une des mesures à adopter consiste à maintenir la concentration du combustible sous la LIE par captage des vapeurs ou des poussières par aspiration au plus près de leur source d'émission ou par dispersion dans l'atmosphère.

La ventilation des installations et des machines est normalement considérée comme adéquate si elle maintient la concentration des gaz ou des vapeurs inflammables en dessous du 25 % de la LIE dans l'ensemble de l'installation et 10 % si des personnes travaillent dans cette atmosphère (circulaire du ministère chargé du Travail).

En cas de défaillance du système de ventilation, des dispositifs de sécurité doivent être disposés de manière à déclencher des alarmes sonores et visuelles pour mettre en garde le personnel quant à l'entrée et la permanence dans la salle en raison de l'existence d'une situation potentiellement dangereuse.

3.3 Techniques de ventilation artificielle

Dans la ventilation artificielle, le mouvement d'air est assuré par des moyens mécaniques tels que des ventilateurs ou des extracteurs. On distingue deux techniques de ventilation artificielle : la ventilation locale par aspiration à la source et la ventilation générale agissant par dilution.

La **ventilation locale** consiste à capter les substances au plus près de leur source de dégagement, où des atmosphères explosives sont susceptibles de se produire. Les substances sont ensuite évacuées avec des systèmes d'extraction d'air.

La **ventilation générale** consiste à disperser les substances dans le local à l'aide d'un apport d'air neuf avant de les évacuer par dilution. Cette technique peut être appliquée à l'ensemble d'une zone fermée ou vers une aire ouverte spécifique, afin d'augmenter la ventilation naturelle. La ventilation générale permet de diminuer les concentrations mais conduit souvent à la présence de « zones mortes ».

3.3.1 Installation de ventilation localisée

Un des éléments principaux d'une installation de ventilation localisée est le dispositif de captage. Le terme dispositif de captage désigne toute entrée d'un système de ventilation locale par laquelle l'air est entraîné hors de l'ambiance du local.

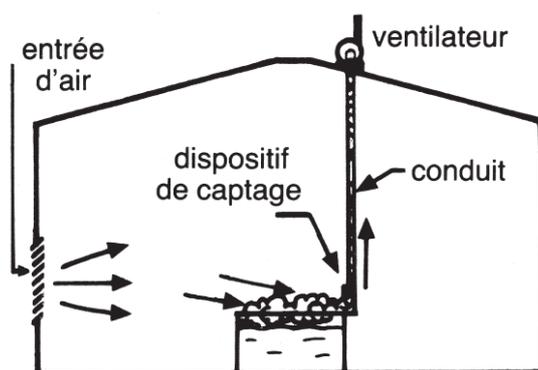


Figure 2 : Ventilation locale (Source : ED695 [7])

Pour une bonne ventilation locale, plusieurs principes sont à respecter. Il s'agit en premier lieu d'envelopper autant que possible la zone d'émission dans le but de limiter les possibilités de fuite dans l'environnement. Ensuite, il est nécessaire de capter au plus près de cette zone car l'efficacité du système d'aspiration diminue avec la distance, tout en utilisant les mouvements naturels des gaz et vapeurs dégagés. Il faut également que la vitesse de l'air soit suffisante et uniforme sur toute la zone de captage, pour assurer que toutes les substances soient bien captées et éviter les fuites.

Il existe trois types principaux de dispositifs de captage : enveloppants, inducteurs et récepteurs.

Dispositifs de captage	Placement	Mode de fonctionnement
Enveloppants	Entourant le point d'émission : dispersion de la substance à l'intérieur	Utilisent les vitesses d'air pour empêcher les particules de s'échapper. Trois types : enceintes, cabines ouvertes, cabines fermées.
Inducteurs	Placés à proximité de la source d'émission	Doivent générer des vitesses d'air dans la zone d'émission pour entraîner l'air à l'intérieur du réseau d'aspiration et de transport. Trois types : bouches d'aspiration, fentes d'aspiration, buses d'aspiration.
Récepteurs	Placés à proximité de la source d'émission	Utilisables quand les particules sont entraînées spontanément vers le dispositif de captage par le processus, le rôle du ventilateur se limitant à évacuer l'air au fur et à mesure. Pour cette raison ils sont beaucoup plus sensibles aux courants d'air et leur calcul est plus délicat que pour les autres dispositifs. L'air pollué peut être entraîné par convection, par induction, par des jets d'air ou par force centrifuge.

Tableau 1 : Types de dispositifs de captage

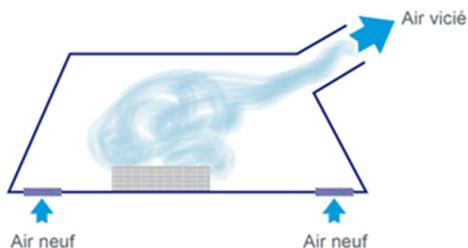


Figure 3 : Exemple d'un dispositif de captage enveloppant du type enceinte
 (Source : <http://www.ventilation-industrie.fr/>)

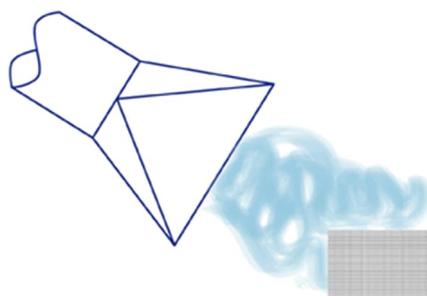


Figure 4 : Exemple d'un dispositif de captage inducteur
 (Source : <http://www.ventilation-industrie.fr/>)

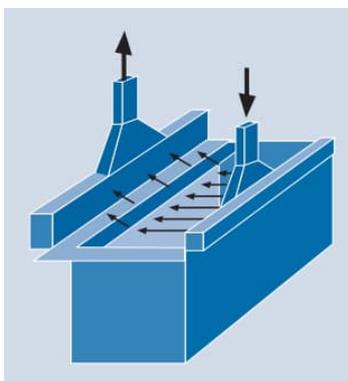


Figure 5 : Exemple d'un dispositif de captage récepteur par des jets d'air
 (Source : <https://www.inrs.fr/>)

3.3.2 Installation de ventilation générale

La ventilation générale procède par dilution et mélange des substances dangereuses avec l'atmosphère du local avant évacuation. Différents systèmes de ventilation générale peuvent être mis en place : naturelle, mécanique ou mixte. Pour les gaz plus légers que l'air, la prise d'air se fait généralement par des entrées d'air en partie basse et l'extraction se fait en partie haute. Pour des gaz lourds, l'aspiration devrait se faire en partie basse du local.

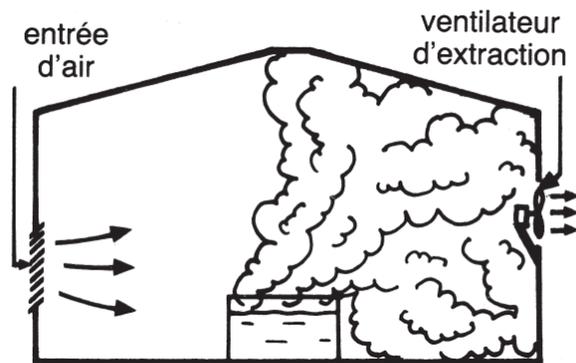


Figure 6 : Ventilation générale (Source : ED695 [7])

Le rôle des ventilateurs peut être double. Ils peuvent augmenter le débit d'air dans un bâtiment, ce qui facilite l'évacuation du gaz. Les ventilateurs installés dans un bâtiment peuvent également augmenter les turbulences et faciliter la dilution d'un nuage beaucoup plus petit que la pièce qui le contient, même si aucun gaz n'est chassé de la pièce. Pour cela, le bon dimensionnement de la ventilation est fondamental dans cette configuration puisqu'un débit de ventilation trop faible peut conduire à une augmentation du volume du nuage inflammable.

La conception d'une installation de ventilation générale reste une opération difficile. La présence de « zones mortes » où le gaz peut s'accumuler est fréquente, sans compter les difficultés liées à la prévision et contrôle des mouvements de l'air (Figure 7).

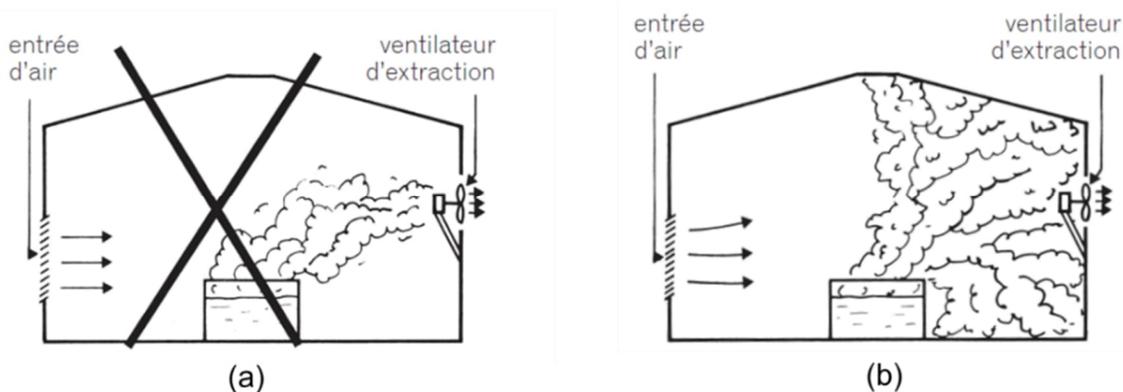


Figure 7 : Fonctionnement prévu (a) vs fonctionnement réel (b) de la ventilation générale (Source : ED695 [7][1])

Pour ces raisons la ventilation générale ne doit être utilisée en tant que technique principale que lorsque le taux de dégagement est très faible ou dans toute situation spécifique précisée dans le guide correspondant à une industrie particulière. Il est d'ailleurs préférable de l'utiliser en complément de la ventilation locale, pour apporter de l'air neuf dans les locaux et ainsi diluer et évacuer les particules non captées.

3.4 Réseau d'extraction

Le réseau de conduit doit être conçu de manière à permettre l'évacuation de l'air capté vers l'extérieur et, selon les cas, le traitement conformément à la réglementation des installations classées.

En cas de transport de substances inflammables, il est indispensable que les ventilateurs et conduits d'évacuation soient conçus de façon à éviter tout risque de création accidentelle d'étincelles, aussi bien par leur matière que par leur montage. Ces conduits doivent comporter des événements de décharge pour libérer la pression des explosions éventuelles. La vérification et le nettoyage des conduits doivent être effectués périodiquement pour éviter la formation de dépôts inflammables dangereux.

Afin d'éviter de recycler une partie des substances dangereuses, l'air devra être rejeté en dehors des zones de prise d'air neuf, en dehors de zones où des opérateurs seraient susceptibles d'être présents

et loin de sources d'inflammation. Pour cela, on utilisera des cheminées de hauteurs suffisantes, en tenant compte de la configuration du bâtiment et de son environnement (force et direction du vent, relief, etc.).

Concernant le traitement avant rejet, il faut prendre en compte les aspects réglementaires et les obligations applicables à l'activité en question (activité soumise à déclaration, à enregistrement ou à autorisation). En l'absence d'obligation spécifique il existe dans la réglementation des valeurs limites des polluants dans l'air rejeté (par exemple, l'arrêté du 02/02/1998).

3.4.1 Organe d'extraction : ventilateur

Le ventilateur est une turbomachine réceptrice qui fournit l'énergie nécessaire pour entretenir l'écoulement de l'air dans le circuit de ventilation. Il doit être choisi pour débit un certain volume d'air sous une certaine pression qui dépend de la résistance du circuit. Le débit délivré par un ventilateur est à la fois fonction de ses caractéristiques propres et de la perte de charge rencontrée sur le circuit. Le ventilateur est entraîné par un moteur généralement électrique ou pneumatique.

Pour l'extraction de gaz et vapeurs inflammables, le montage réalisé, les matières constitutives des pales et de l'enveloppe doivent être choisis pour éviter les étincelles par choc accidentel. Les moteurs électriques doivent être placés dès la conception de l'installation hors de l'atmosphère éventuellement inflammable ou être certifiés ATEX.

3.4.2 Compensation

Dans un local ventilé, la compensation consiste à assurer l'entrée d'une quantité d'air (pris à l'extérieur des locaux) équivalente à la quantité d'air extraite. La compensation d'air permet d'assurer le renouvellement d'air et le bon fonctionnement des dispositifs de captage et d'éliminer les courants d'airs perturbateurs.

L'introduction de cet air de compensation doit être étudiée de manière à assurer l'efficacité des systèmes de ventilation. Un manque d'air de compensation produit une mise en dépression des bâtiments qui crée une résistance supplémentaire pour les ventilateurs. Il en résulte une diminution des débits, qui amène finalement à une perte d'efficacité.

Selon l'activité, il pourra être nécessaire de maintenir le local ventilé par rapport aux locaux adjacents en légère surpression (salle de peinture, par exemple) ou en légère dépression (locaux à pollution spécifique ouvrant sur des locaux à pollution non spécifique, par exemple).

3.5 Architecture du système

Une installation de ventilation artificielle d'urgence est une barrière instrumentée de sécurité constituée de sous-systèmes de mesure, de traitement et d'actionneurs, avec la possibilité de plusieurs modes de fonctionnement. Pour cette raison, les conditions suivantes doivent être prises en compte :

- Les paramètres à mesurer et surveiller pour chaque mode de fonctionnement doivent être définis (concentration de gaz, débit, pression, vitesse, vibration...) ainsi que les valeurs de référence et les signaux d'entrée ou moyens de détection permettant de déclencher le mode de fonctionnement ;
- Si besoin, des seuils différents peuvent être définis pour chaque mode de fonctionnement ;
- La fonction pouvant éventuellement être shuntée (capteurs hors service, local en maintenance, alarme intempestive), la gestion des shunts doit être définie.

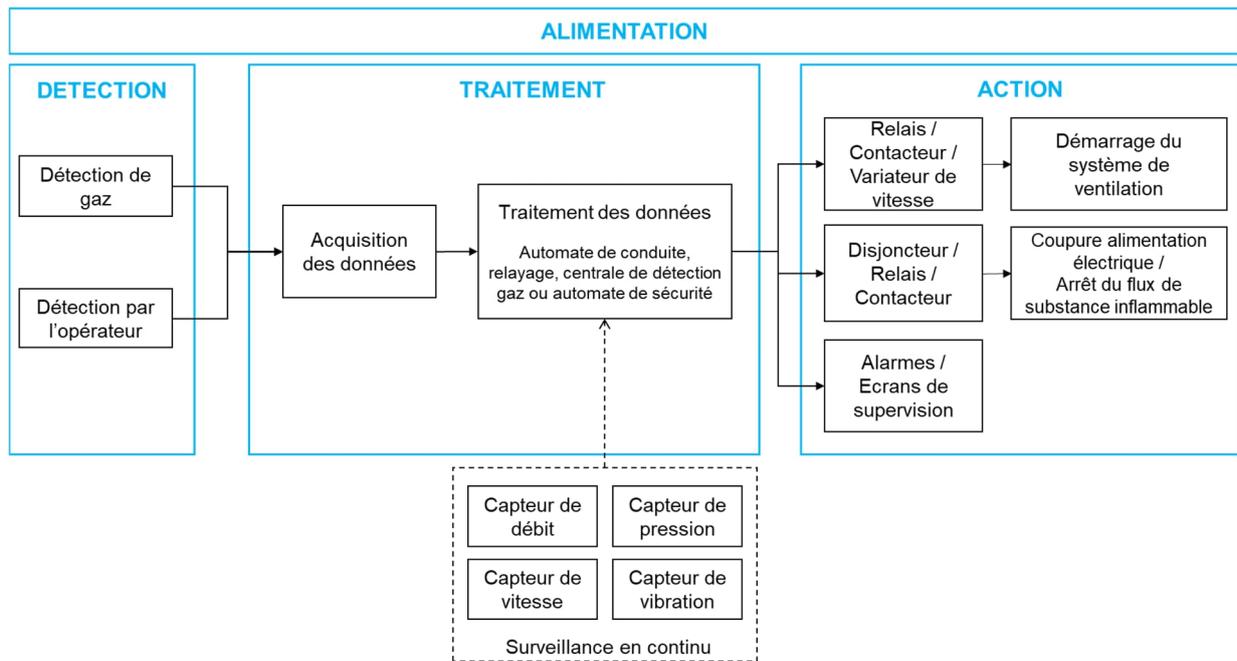


Figure 8 : Décomposition de la barrière ventilation d'urgence

3.5.1 Alimentation

Vu qu'il s'agit d'un dispositif de sécurité à émission, l'alimentation devra être considéré comme un sous-système de la barrière. Le système de ventilation doit être mis sous tension séparément de l'alimentation électrique de l'emplacement en ventilation. L'alimentation doit être surveillée et secourue pour que le système de ventilation puisse être considéré comme barrière ou MMR, conformément à l'article 56 « Utilités » de l'Arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Une exception pourrait être faite dans le cas d'un système de ventilation fonctionnant en continu de manière préventive (pour les émissions accidentelles de substances dangereuses, tel que défini au §1). Une analyse particulière devra être réalisée et des justifications devront être apportées pour démontrer que suite à une perte d'énergie, l'installation est mise en sécurité dans un délai court avec suppression des sources de dégagement possibles.

3.5.2 Détection

Le fonctionnement de la barrière ventilation d'urgence repose sur la détection de la présence de gaz inflammable ou du dépassement d'un seuil qui doit être fixé et inférieur à la LIE. Le démarrage du système de ventilation pourrait également être envisagé suite à la détection d'une chute de pression dans une canalisation transportant une substance inflammable.

Pour les informations propres à une technologie de détection pour un gaz donnée, il faut se référer à la documentation du fournisseur. Le référentiel Ineris Ω 22 et les documents de synthèse relatifs aux barrières techniques (disponibles sur <https://www.ineris.fr/fr/base-documentaire>) apportent également des préconisations d'utilisation.

En plus de la mesure de concentration des substances dangereuses, d'autres paramètres peuvent être surveillés pour détecter toute réduction ou perte de débit qui entraînerait une ventilation inadéquate, notamment :

- Le débit d'air de la hotte ou à la sortie des ventilateurs.
- La pression statique sur l'ensemble du système (avec des manomètres ou pressostats).
- La vitesse de l'ensemble moteur.
- La vibration pour détecter des blocages ou ruptures mécaniques.

Les capteurs permettent donc de déclencher la fonction de sécurité et au même temps sont des moyens de diagnostic des défauts de la fonction de sécurité.

3.5.3 Traitement

Ces détecteurs nécessitent ensuite d'être reliés à des actionneurs via un système de traitement (une centrale gaz ou un automate). Le traitement consiste à acquérir les mesures de concentration de gaz et les comparer au seuil de déclenchement pour éviter d'atteindre la LIE ou retarder son apparition, ainsi que commander les actions associées.

3.5.4 Action

Dans le cas du dépassement du seuil d'activation, le système de ventilation démarre, l'alimentation des sources électriques liées au process est coupée et le flux de substance inflammable est arrêté. La fonction de sécurité entraîne également la mise en sécurité du local par une alarme visuelle et/ou sonore.

Le démarrage de la ventilation peut aussi être réalisé par une intervention humaine, suite à une détection visuelle (par exemple, rupture d'un flexible) ou suite à une détection de fuite (par exemple, activation d'une alarme).

3.6 Modes de défaillance d'un système de ventilation d'urgence

Le Tableau 2 présente les principaux modes de défaillance des différents éléments dans un système de ventilation. Des données quantitatives (taux de défaillance, probabilité de défaillance...) peuvent être extraits des certificats associés ou des bases de données de fiabilité, telles que l'Oreda.

Composant	Défaillance	Paramètres influant sur la fiabilité	Maintenance / Périodicité des tests
Alimentation	Perte d'alimentation	Présence d'un groupe électrogène ou système d'alimentation sans interruption (ASI) pour assurer l'alimentation en cas de perte de l'alimentation principale.	Pour plus d'information, consulter la fiche « Systèmes d'alimentation de secours » disponible sur le site Ineris ² .
Détecteur de gaz	Dérive de mesure, perte de mesure	<ul style="list-style-type: none"> - Technologie de détection de gaz. - Positionnement et nombre de détecteurs (maillage). - REX sur son implantation (si disponible). 	Entre 3 mois et 1 an suivant la technologie des détecteurs.
Automate	Défaillances matérielles, défaut d'acquisition, défaut de traitement ou défaut d'activation des sorties	<ul style="list-style-type: none"> - Tolérance aux défaillances, c'est-à-dire le niveau de redondance. - Moyens de diagnostics des défauts. - Logiciel applicatif développé et validé dans les règles de l'art.³ - Certification SIL (si disponible). 	Le maintien des performances doit être assuré par la mise en œuvre de procédures permettant de suivre et de valider les évolutions (gestion des modifications et de configuration), la réalisation de tests périodiques, la gestion de la pérennité de l'application et la gestion de la mise hors service (bypass / shunt).
Relais	Contact collé, circuit ouvert.	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionnement. - Redondance. - Certification SIL (si disponible). 	Annuel pour coupure énergie. Mensuel pour ventilation.
Ventilateur	Défaillance électrique (moteur, disjoncteur, variateur...) Défaillance mécanique.	<ul style="list-style-type: none"> - Technique de ventilation. - Type, positionnement et données aérouliques des dispositifs de captage. 	Au minimum une fois par an.

Tableau 2 : Modes de défaillance de la barrière ventilation d'urgence

² <https://www.ineris.fr/fr/document-synthese-relatif-barriere-technique-securite-bts-systemes-alimentation-secours-groupes>

³ <https://www.ineris.fr/fr/guide-inspection-logiciels-applicatifs-principes-mise-oeuvre>

4 Critères d'évaluation des performances

Une installation de ventilation permet de réaliser une fonction de sécurité. Cette fonction nécessite la mise en œuvre de capteurs, de moyens de traitement et communication et d'actionneurs ou d'actions humaines pour être réalisée. La barrière à évaluer sera donc généralement une fonction instrumentée de sécurité comprenant tous ces composants.

L'évaluation de la performance d'un système de ventilation repose sur l'adaptation de l'installation au contexte d'utilisation (caractéristiques de la substance dangereuse, besoins d'extraction, positionnement des points de captage, dimensionnement des tuyauteries) et le suivi du maintien dans le temps.

Les éléments repris ci-dessous concernent l'évaluation de l'indépendance, l'efficacité, le temps de réponse et le niveau de confiance de cette barrière.

4.1 Indépendance

On cherche à justifier l'indépendance entre l'installation de ventilation artificielle et les scénarios sur lesquels elle intervient. Pour cela, il faut s'assurer :

- Qu'une défaillance du système de ventilation ne peut pas être la cause du scénario. Une installation de ventilation fonctionnant en continu pour éviter la formation d'une ATEX en situation normale, pourrait être à l'origine de la formation d'une ATEX en cas de défaillance ;
 - o Dans ce cas, l'arrêt de la ventilation est la cause du scénario accidentel et doit donc être considéré comme un évènement initiateur et non comme une barrière.
 - o On pourrait considérer la détection de la défaillance du système de ventilation en tant que barrière de sécurité, par exemple la surveillance du débit.
- Que le scénario n'est pas à l'origine d'une défaillance du système de ventilation. La performance de la ventilation ne doit pas être dégradée par l'occurrence des évènements initiateurs ;
 - o Il faut faire attention notamment à la possibilité d'inflammation par le système de ventilation. Dans certains cas, il peut être choisi d'arrêter la ventilation si la LIE est dépassée.

4.2 Efficacité

L'évaluation de l'efficacité d'une barrière de sécurité repose sur les principes de dimensionnement adapté et de résistance aux contraintes spécifiques. L'efficacité de la ventilation à maîtriser la dispersion et la persistance de l'atmosphère explosive est influencée également par la performance du système de détection gaz et le positionnement des capteurs. Plus l'intensité de la ventilation par rapport aux taux de dégagement possibles est importante, plus l'étendue des zones est petite (emplacements dangereux) et plus la durée de persistance de l'atmosphère explosive est courte.

Il est important de comprendre que la dilution est un processus complexe. L'annexe C de la norme IEC 60079-10-1 [5] propose des exemples représentant l'interaction entre le dégagement d'une substance inflammable et la ventilation. La disposition de la ventilation, c'est-à-dire la position des orifices d'entrée et de sortie les uns par rapport aux autres et par rapport à la source de dégagement, peut parfois avoir une plus grande influence sur l'atmosphère explosive que la capacité de la ventilation elle-même.

Dans la meilleure des hypothèses, une ventilation appropriée peut empêcher la formation d'atmosphères potentiellement explosives. Cependant, compte tenu des limitations exposées précédemment, il se peut que la ventilation ne fasse que réduire la probabilité d'occurrence d'une atmosphère explosive dangereuse ou l'étendue des emplacements dangereux (zones).

4.2.1 Dimensionnement du système de détection gaz

Le « Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de l'usage des détecteurs de gaz ponctuels fixes » [3] consolide l'expérience et les connaissances de l'Ineris acquises à travers un certain nombre d'études et de campagnes d'essais métrologiques sur les détecteurs de gaz en intégrant aussi les prescriptions des normes applicables.

Pour dimensionner un système de détection quel qu'il soit, il est indispensable de prendre en compte la spécificité du/des scénarios de fuite dont on veut se protéger ainsi que la spécificité du site sur lequel

elles pourraient survenir. La conception reposera donc sur la réalisation d'une analyse de risques spécifique.

Pour le risque d'inflammation, les détecteurs de gaz sont étalonnés sur la base de la valeur de la LIE avec des gammes de mesure pouvant aller de 0 à 100% LIE. Des seuils d'alarme et/ou de mises en sécurité par asservissement des actions de sécurité sont à définir en fonction du risque et des objectifs de sécurité (par exemple : 25% LIE, 50% LIE, x ppm en fonction de la toxicité du gaz).

Les aspects à considérer pour bien dimensionner un système de détection de fuite sont détaillés dans le guide [3]. Il est important de réaliser une analyse des scénarios de fuites considérés (terme source, modélisation de dispersion et définition des concentrations mises en jeu) afin de définir l'emplacement optimal des détecteurs, les seuils de détection et donc les gammes de mesure appropriées.

4.2.2 Positionnement des dispositifs de captage

L'efficacité des dispositifs d'aspiration diminue très rapidement avec la distance. Le positionnement au plus près du système d'aspiration permet de garder une bonne efficacité en utilisant des débits d'aspiration plus faibles. Ainsi, par exemple, pour induire la même vitesse à une distance double il faut multiplier le débit par quatre.

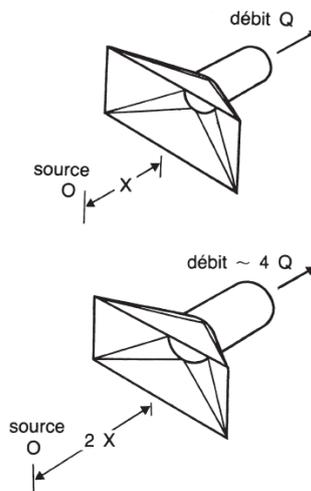


Figure 9 : Relation entre la distance de la source d'émission et le débit requis (Source : ED695 [7])

Pour dimensionner les dispositifs de captage il est important de préciser leur type, leur positionnement et leurs données aérauliques correspondantes (vitesse de captage et/ou débit d'air extrait, formule de calcul utilisée...). Par exemple, le débit d'aspiration des dispositifs de captage enveloppant dépend de l'aire totale des ouvertures et de la vitesse d'entrée de l'air au travers des ouvertures.

L'aspiration à la source doit être adaptée au type de particule et à l'environnement. Les grosses particules produites et mises en mouvement par un outil tournant ne peuvent être maîtrisées que par des appareils placés sur leur trajectoire, toujours de manière que l'opérateur ne soit pas entre celui-ci et la source d'émission. En revanche, pour capturer les particules fines en suspension dans l'air il suffit de capter l'air dans lequel elles sont en suspension.

Les gaz plus légers que l'air ont tendance à se déplacer vers le haut lorsque la qualité de la ventilation est meilleure, la flottabilité pouvant également évacuer les gaz. Cela peut être pris en compte en augmentant la vitesse de ventilation efficace pour ce type de dégagement.

Les gaz plus lourds que l'air ont tendance à se déplacer vers le bas lorsque la ventilation est généralement inférieure, l'accumulation au niveau du sol étant alors une possibilité. Cela peut être pris en compte en diminuant la vitesse de ventilation efficace.

Des obstacles peuvent provoquer des réductions des mouvements d'air, voire l'absence totale de ventilation dans certaines parties de l'emplacement. Le système de ventilation doit être dimensionné pour éviter des zones mortes où pourrait s'accumuler le gaz. Des modélisations peuvent être nécessaires (CFD par exemple).

4.2.3 Dimensionnement du système d'extraction

En intérieur, le débit ou la vitesse de ventilation peut reposer sur un débit moyen généré par la ventilation. Cela peut être calculé comme étant le flux volumétrique du mélange air/gaz divisé par la section transversale perpendiculaire au flux. Il est recommandé de recourir à la simulation par la dynamique des fluides numérique (CFD) lorsque des détails particuliers ou une exactitude spécifique sont nécessaires pour obtenir une estimation de la vitesse de ventilation en différents endroits de la pièce à l'étude.

Le débit d'air à mettre en jeu dans une installation de ventilation peut être estimé à partir du taux de dégagement et la concentration toléré dans le local, en considérant une marge de sécurité appropriée. Toutes les évaluations du dimensionnement du système d'extraction et par conséquent du degré de dilution exigent en premier lieu d'évaluer les conditions de dégagement, y compris la taille de la source de dégagement et le taux de dégagement maximal.

L'annexe B de la norme IEC 60079-10-1 [5] propose de formules pour déterminer les taux de dégagement dans des conditions spécifiques, suivant des paramètres tels que la nature et le type de dégagement (surface libre, fuite, rupture...), la vitesse de dégagement, la concentration du gaz ou de la vapeur inflammable dans le mélange dégagé et la volatilité et la température du liquide inflammable.

Au-delà des règles de dimensionnement associés aux considérations ATEX, il existe d'autres publications (livres, guides, manuels) qui proposent de pratiques pour la conception et opération des systèmes de ventilation. Le guide « Principes généraux de ventilation » de l'INRS [7] présente une démarche à suivre pour l'étude des systèmes de ventilation et une liste de références à consulter.

Ensuite, le choix du réseau d'aspiration devra permettre de maintenir les caractéristiques aérauliques dans toutes les configurations de fonctionnement. Les méthodes de calcul des tuyauteries et du ventilateur sont fondées sur la détermination de la résistance à l'écoulement de l'air dans les canalisations qui, combinée avec le débit d'air requis, définit les conditions de fonctionnement du ventilateur.

Il faut également prendre en compte les aspects liés à la compensation et au rejet de l'air extrait. L'introduction d'un débit d'air équivalent au débit d'air extrait permet d'assurer l'efficacité des systèmes de ventilation. Des précautions doivent être mise en place pour que l'air soit rejeté en dehors des zones de prise d'air neuf et loin de sources d'inflammation. Comme expliqué au §3.4, on utilisera des cheminées de hauteurs suffisantes, en tenant compte de la configuration du bâtiment et de son environnement. Concernant le traitement avant rejet, il faut prendre en compte les aspects réglementaires et les obligations applicables à l'activité en question (activité soumise à déclaration, à enregistrement ou à autorisation). En l'absence d'obligation spécifique il existe dans la réglementation des valeurs limites des polluants dans l'air rejeté (par exemple, l'arrêté du 02/02/1998).

4.3 Temps de réponse

Le temps de réponse d'une barrière instrumentée de sécurité intègre le temps de réalisation de la détection, le temps de traitement de l'information, le temps nécessaire au fonctionnement des actionneurs et les temps de transferts des informations (minimes).

Quel que soit le taux de ventilation ou la disposition d'un système de ventilation, un dégagement par jet n'est pas susceptible de se diluer sous la LIE immédiatement à la source de dégagement, sauf si la pression est très basse.

Le temps de réponse correspond à l'intervalle de temps entre l'occurrence de la fuite, le démarrage de l'extraction et l'établissement d'un débit suffisant pour permettre d'éviter la formation d'une ATEX. Cela nécessite d'évaluer le temps de diffusion du gaz jusqu'au détecteur puis le temps de réaction de l'ensemble de la chaîne instrumentée. Le temps de réponse est donc dépendant des seuils de déclenchement et de la position des capteurs.

Pour avoir un temps de réponse acceptable il faut définir un seuil de détection suffisamment bas (marge de sécurité spécifique par rapport à la LIE) ou opter pour un fonctionnement continu pendant les phases de fonctionnement à risque.

4.4 Niveau de confiance

Afin de déterminer le niveau de confiance global de la chaîne, il convient d'analyser chacun des éléments qui la constituent de manière séparée.

- Lorsque l'élément est certifié SIL selon la norme IEC 61508, on prendra un NC équivalent au niveau de la certification, à condition que les exigences d'efficacité et de temps de réponse soient remplies et que la barrière fasse l'objet d'une politique de tests et de maintenance adaptée. Les éléments certifiés SIL doivent être en particulier installés, paramétrés, testés et maintenus conformément aux prescriptions du constructeur et des limites de validité du certificat ;
- En revanche, lorsque la barrière n'est pas certifiée selon la norme IEC 61508 une évaluation conformément au référentiel Ω 10 [1] permettra de préciser le NC.

4.4.1 Alimentation

Comme il s'agit d'un dispositif de sécurité à émission, l'alimentation devra alors être étudiée comme un sous-système de la barrière avec une évaluation du NC associé. Pour pouvoir retenir un système de ventilation d'urgence comme une barrière il faut respecter les exigences suivantes :

- La perte d'intégrité de circuit est détectée (par exemple, surveillance de bout de ligne).
- L'intégrité de l'alimentation en énergie est assurée, en utilisant une alimentation auxiliaire (par exemple, groupe diesel, batterie de secours...).

La capacité de la source de secours doit être telle que le fonctionnement des composants alimentés soit assuré pendant une durée compatible avec les exigences de sécurité.

Pour plus d'information, consulter la fiche « Systèmes d'alimentation de secours (Groupes Électrogènes et Alimentation Sans Interruption) » disponible sur le site Ineris.

4.4.2 Capteurs

La défaillance ou dérive d'un détecteur de gaz peut provoquer la non-détection de la présence de gaz inflammable et en conséquence la perte de la fonction de sécurité.

Les détecteurs de gaz doivent être connectés à leurs unités de commande respectives, comme spécifié par le constructeur (en observant la résistance maximale de boucle, la taille minimale des fils, l'isolation, etc.) et utiliser un système de câble, de fils et de conduits adaptés et approuvés pour l'application, le classement ATEX de l'emplacement et une protection mécanique correcte. Pour plus de détails, consulter le « Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de l'usage des détecteurs de gaz ponctuels fixes » [3].

Pour s'assurer que le degré de dilution est suffisant, des dispositifs de détection permettant de donner une indication supplémentaire d'un arrêt de la ventilation peuvent être installés : capteur de débit, détecteurs tout ou rien de pression différentielle, détecteurs tout ou rien du contacteur du moteur du ventilateur, dispositifs de détection de la rotation du ventilateur.

L'arrêt de la ventilation devra provoquer une alarme. Un dispositif de déclenchement manuel pourra être prévu en complément du système automatique.

4.4.3 Traitement

En général, on utilise une centrale de détection gaz ou un automate de sécurité. En cas de présence de gaz, la centrale de détection gaz ou l'automate de sécurité réaliseront les actions préalablement définies comme une signalisation sonore et/ou lumineuse, le démarrage des ventilateurs, la mise à l'arrêt en sécurité des installations (coupure électrique générale, fermeture des vannes automatiques d'isolement des circuits), report d'alarme sur téléphone personnel d'astreinte.

4.4.4 Action

La vérification de la conception de la ventilation peut s'appuyer sur la norme NF EN 60079-10-1 [5].

La ventilation artificielle étant un système à émission (nécessite de l'énergie pour réaliser la fonction de sécurité) et non tolérant aux défaillances (système non redondant), dans la plupart des cas un NC = 1 devra être affecté à la fonction de sécurité, suivant l'architecture et les choix de composants.

Un NC = 2 serait envisageable lorsqu'une évaluation documentée (basée sur un retour d'expérience quantifié) permet de valider son facteur de réduction de risques et son utilisation dans une fonction de sécurité (notion de « validé par l'usage » définie dans le référentiel Ω 10).

5 Tests et maintenance

Le maintien des performances doit être assuré par la mise en œuvre de tests périodiques et procédures permettant de suivre et de valider les évolutions.

5.1 Tests à la mise en service

Les tests lors de la mise en service permettent de valider que le fonctionnement du système de ventilation atteint les performances attendues.

Le Guide de bonne pratique du Parlement Européen [6] présentes quelques recommandations concernant la mise en service, la maintenance et la gestion des modifications :

- Avant la première utilisation, une personne qualifiée devrait vérifier que les systèmes de ventilation destinés à empêcher les atmosphères explosives dangereuses et les dispositifs de contrôle connexes sont en mesure de produire les effets escomptés. Une vérification de la sécurité globale de l'installation est également nécessaire à la suite de modifications ou d'incidents ayant des effets sur la sécurité. Ces tests permettant de valider le fonctionnement du système de ventilation peuvent comprendre :
 - o des mesures de débits dans les conduits de ventilation étant supérieurs ou égaux aux débits de dimensionnement ;
 - o des tests avec fumigène permettant d'apprécier visuellement et qualitativement l'efficacité du de la ventilation.
- Des contrôles devraient être effectués à intervalles réguliers. Les systèmes de ventilation munis de dispositifs réglables (clapets d'étranglement, aérateurs à orientation réglable, ventilateurs à vitesse variable) devraient faire l'objet d'un contrôle lors de chaque nouveau réglage.
- Il est recommandé de verrouiller ces dispositifs contre tout dérèglement involontaire.
- Le contrôle des dispositifs de ventilation à réglage automatique devrait porter sur l'ensemble de la plage de réglage.

5.2 Détection des défauts en fonctionnement

Les diagnostics embarqués dans les capteurs permettent de détecter un certain nombre de défaillances : alimentation, communication, électronique et signalent les valeurs hors-échelle. Généralement, certains diagnostics sont exécutés automatiquement à la mise en marche et d'autres suivant une périodicité fixée dans le détecteur (voir fiche technique). En cas de détection de défaut, un signal en sortie du détecteur est renvoyé (signal qui peut être repris pour un affichage en salle de contrôle ou autre). Ces séquences de diagnostics ne dispensent pas d'effectuer les vérifications régulières de bon fonctionnement et d'étalonnage.

Les unités de traitement (automates, centrales gaz), disposent également de diagnostics sur leur différentes cartes d'entrée, sortie, traitement et alimentation permettant de signaler des défauts.

Les défauts d'un système de ventilation fonctionnant en continu peuvent être détectés par des mesures de fonctionnement du ventilateur ou de son moteur ou des mesures de débit, par exemple. Ces défauts ou dérives de fonctionnement doivent donner lieu à une alarme qui permet de traiter le défaut de manière préventive (c'est-à-dire avant la perte de confinement de la substance dangereuse). Pour les systèmes démarrant à la sollicitation ces mesures permettent de s'assurer de la bonne activation et de vérifier les performances attendues de la barrière afin de générer une alarme permettant la mise en œuvre de mesures compensatoires.

Différentes stratégies de traitement des défauts peuvent être appliquées en fonction de la nature des défauts et de la phase de fonctionnement pendant lesquels ils sont signalées, on pourra par exemple activer le système de ventilation de manière préventive (sur un défaut capteur) ou stopper les opérations à risques. Dans tous les cas, les effets des défauts détectés sur le système de ventilation, les moyens de signalisation de ces défauts et la conduite à tenir en cas de défaut signalé doivent être définis.

5.3 Tests périodiques

Les caractéristiques dimensionnelles (mesurées et calculées) d'une installation de ventilation sont consignées dans le dossier d'installation et permettent ainsi de s'assurer ultérieurement du bon fonctionnement de l'installation par comparaison aux valeurs de références issues de la notice

d'instruction. Des essais doivent être effectués pour prouver que le système de ventilation est adapté à la condition d'environnement dans laquelle le matériel électrique est installé.

La réglementation concernant l'aération et l'assainissement impose une réception à la mise en service de l'installation et après toute modification et un contrôle de l'installation au minimum une fois par an. Toutes les observations et les résultats de mesure doivent être consignés dans le dossier d'installation.

Ces tests doivent permettre de vérifier l'aptitude du système à remplir sa fonction. Ils peuvent être constitués d'une partie des tests menés lors de la validation du système et doivent inclure au moins la vérification du débit global minimal d'air neuf et d'air extrait, des pressions statiques, des vitesses d'air et des tous les systèmes de surveillance. D'ailleurs, la vérification et le nettoyage des conduits doivent être effectués périodiquement pour éviter la formation de dépôts inflammables dangereux.

Il est également important de contrôler l'ensemble du système de sécurité, c'est-à-dire les circuits d'alimentation, de circulation de l'information, les automates asservis, les voyants et alarmes ainsi que les actionneurs.

5.4 Gestion des modifications

Toute modification du système d'exploitation, des paramètres associés ou du matériel doit faire partie d'un processus spécifique. Une demande de modification doit être émise au service compétent. Une analyse doit être faite pour identifier les impacts possibles. Une fois les impacts identifiés et la modification acceptée, une opération de validation doit être réalisée.

En fonction de la phase du cycle de vie, la responsabilité du suivi de ces modifications peut être transférée du concepteur à l'utilisateur. L'objectif est de s'assurer que les modifications sont correctement revues et approuvées de manière à s'assurer que l'intégrité de sécurité prescrite est maintenue.

6 Glossaire

ATEX	Atmosphère Explosive
BAMS	Barrière à Action Manuelle de Sécurité
BIS	Barrière Instrumentée de Sécurité
EPL	Equipment Protection Level
λ_{DU}	Taux de défaillance dangereuse non détectée
LIE	Limite inférieure d'explosivité
LES	Limite supérieure d'explosivité
MMRI	Mesure de Maîtrise des Risques Instrumentée
NC	Niveau de Confiance
PFD_{avg}	Probabilité moyenne de défaillance dangereuse en cas de sollicitation de la fonction de sécurité

7 Liste des sources utilisées

- [1] Ineris. « Evaluation de la performance des barrières techniques de sécurité - OMEGA 10 » (2018). Disponible sur le site <https://www.ineris.fr>
- [2] Ineris. « Démarche d'évaluation des Barrières Humaines de Sécurité - OMEGA 20 » (2009). Disponible sur le site <https://www.ineris.fr>
- [3] Ineris. « Guide de bonnes pratiques pour la maîtrise de l'usage des détecteurs de gaz ponctuels fixes » N° DRA-16-156881-12282B (2018). Disponible sur le site <https://www.ineris.fr/fr/guide-bonnes-pratiques-maitrise-usage-detecteurs-gaz-ponctuels-fixes>
- [4] Note de doctrine relative aux mesures de maîtrise des risques instrumentées (MMRI), du 2 octobre 2013
- [5] Norme NF EN 60079-10-1 (Mai 2016) Atmosphères explosives : Classement des emplacements - Atmosphères explosives gazeuses.
- [6] Guide de bonne pratique à caractère non contraignant en vue de la mise en œuvre de la Directive 1999/92/CE du Parlement Européen et du Conseil concernant les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité et de santé des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosives. Disponible sur le site <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52003DC0515&from=FR>
- [7] INRS. ED 695 « Principes généraux de ventilation. Guide pratique de ventilation » (2015). Disponible sur le site <https://www.inrs.fr>
- [8] INRS. ED 945 « Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives. Guide méthodologique » (2020). Disponible sur le site <https://www.inrs.fr>
- [9] INRS. « Le captage des poussières ». Travail & Sécurité N°807 (2019). Disponible sur le site <https://www.inrs.fr>
- [10] Techniques de l'ingénieur. Fiche pratique 0748 « Démarche pour concevoir une installation de ventilation » (2012). Disponible sur le site <https://www.techniques-ingenieur.fr>
- [11] Ventilation en milieu industriel. Consulté le 27 novembre 2020. <http://www.ventilation-industrie.fr/>
- [12] Wattohm. Consulté le 23 novembre 2020. <https://www.wattohm.fr/fr/principe-de-ventilation>

