

Table des matières

1. DESCRIPTIF TECHNIQUE DU DISPOSITIF.....	2
1.1. DESCRIPTION DES RIDEAUX D'EAU.....	2
1.1.1. Rideau d'eau fixe	2
1.1.2. Rideau d'eau mobile	3
1.2. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT.....	4
1.2.1. Absorption	4
1.2.2. Autres phénomènes.....	7
1.2.3. Conclusion.....	7
2. EXIGENCES TECHNIQUES	8
3. RETOUR D'EXPÉRIENCE	8
4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	8

1. DESCRIPTIF TECHNIQUE DU DISPOSITIF

1.1. DESCRIPTION DES RIDEAUX D'EAU

Un rideau d'eau est un système de protection utilisant le principe d'un écran d'eau.

Il peut être fixe ou mobile avec une pulvérisation soit ascendante, soit descendante.

1.1.1. Rideau d'eau fixe

Un rideau d'eau fixe est constitué, en bout de chaîne, par une tuyère sur laquelle sont fixées des buses à intervalle régulier. L'ensemble des pulvérisations forme l'écran d'eau, constitué d'une multitude de gouttelettes. Dans la plupart des cas, la géométrie obtenue pour chaque pulvérisation est conique (cône plein ou creux) avec un angle d'ouverture de 30 à 120° suivant les propriétés des buses.

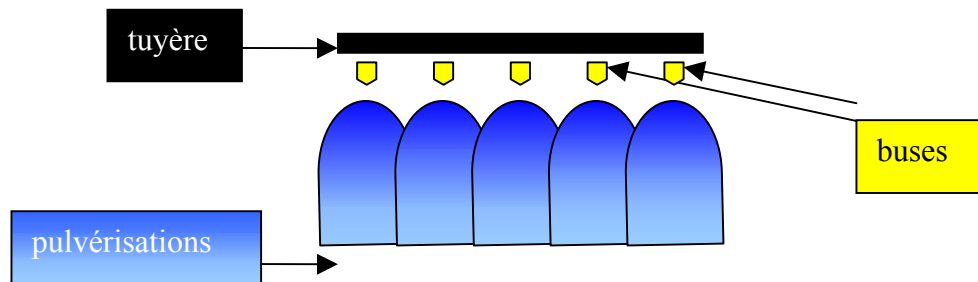


Figure 1 : Rideau d'eau pulvérisée fixe vue de face

1.1.2. Rideau d'eau mobile

Un rideau d'eau mobile est constitué par un ensemble lance – déflecteur qui transforme le jet bâton en jet "queue de paon" (180 ou 360°). Dans ce cas, l'écran d'eau est un film très fin, différent du rideau d'eau obtenu par pulvérisation (buse). Cette différence suggère que les rideaux d'eau mobiles ne peuvent pas être traités avec la même approche, développée tout au long de ce rapport, que les rideaux d'eau pulvérisés, même si leurs principes de fonctionnement sur les gaz toxiques sont identiques.

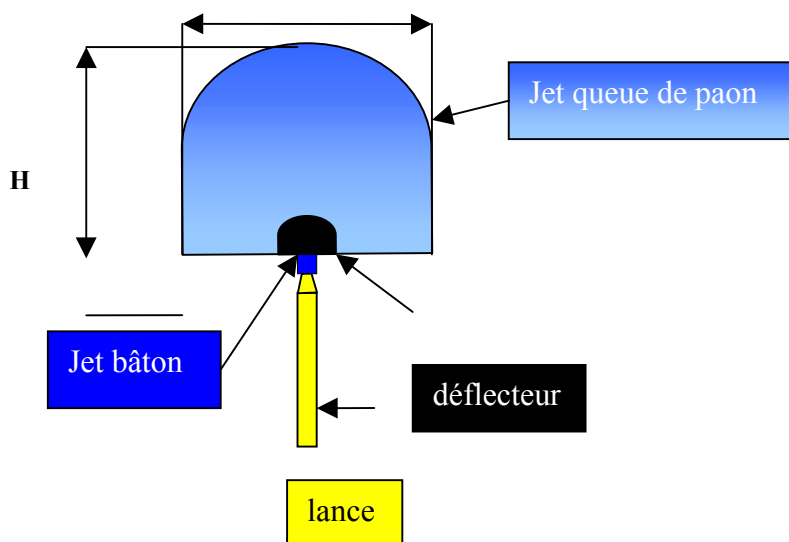


Figure 2 : Rideau d'eau mobile vue de face

A titre d'exemple, des caractéristiques hydrauliques, pour les rideaux d'eau "queue de paon", sont résumés dans le tableau suivant :

Pression (bar)	Diamètre nominal 40 mm			Diamètre nominal 65 mm		
	Débits (L/min)	Hauteur (m)	Largeur (m)	Débits (L/min)	Hauteur (m)	Largeur (m)
4	318	4	20	925	5.2	28
5	363	4.8	24	1025	5.8	30
6	400	5.3	26	1146	6.2	32
8	460	6.4	29	1320	7.3	35
10	516	6.8	31	1470	7.8	37

Tableau 1 : Caractéristiques hydrauliques pour un rideau queue de paon

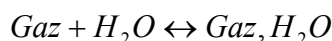
1.2. PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT

Une approche "Génie des procédés" indique qu'un rideau d'eau est un réacteur à l'air libre. Ses modes d'action sur les vapeurs ou gaz dangereux reposent sur des processus fondamentaux de transfert :

- soit d'énergie :
 - échange de quantité de mouvement entre la phase liquide, la phase gazeuse du polluant et l'air environnant, qui produit une dilution artificielle du nuage. L'action du rideau est mécanique,
 - échange de chaleur : un nuage cryogénique mis au contact avec des gouttes d'eau à la température ambiante va se réchauffer par transfert convectif. Cet effet peut conduire à une inversion de densité du mélange gazeux,
- soit de matière : lorsque le polluant présente une certaine affinité avec l'eau ou un produit additivé à l'eau pulvérisée, une fraction du polluant passe de la phase gazeuse dans la phase liquide. Ce transfert est gouverné par la solubilité du gaz dans l'eau, ou la cinétique chimique de réaction du polluant avec l'eau ou le réactif. L'action du rideau est physico-chimique.

1.2.1. Absorption

Les gaz qui présentent une très forte affinité pour l'eau, à la différence d'électrolytes qui sont totalement dissociés dans l'eau, conduisent à une réaction équilibrée :



Le transfert de matière est donc contrôlé par le gradient de concentration existant entre l'interface (solubilité) et au sein du liquide. Lorsque la goutte se rapproche de la saturation, le flux de polluant absorbé décroît et tend vers zéro. Il est donc important d'utiliser de l'eau en quantité suffisante pour ne pas être limité par ce phénomène.

La dissolution des composés moléculaires dans l'eau est rendue possible grâce aux interactions électrostatiques faibles dipôle-dipôle (van der Waals) ou aux interactions plus fortes type liaisons hydrogène entre le soluté et le solvant.

La solubilité d'un gaz peut être exprimée par la constante de Henry :

$$H = \frac{P_{Gaz}}{C_{Gaz, H_2O}^*}$$

avec :

H : Constante de Henry (Pa.m³/mol),

P_{Gaz} : Pression partielle du gaz (Pa),

C_{Gaz, H₂O}^{*} : Solubilité du gaz dans l'eau (mol/m³).

La relation de Henry montre l'importance des pressions partielles en polluant élevées à l'abord du rideau d'eau. En effet, le gradient de concentration entre la phase liquide et la phase gazeuse est le principal moteur de l'absorption. Par conséquent, le rideau d'eau doit être positionné près de la fuite. De plus, pour les fuites importantes, le flux de polluant absorbé étant proportionnel à la pression partielle, la quantité de gaz absorbée sera plus élevée que pour des faibles rejets.

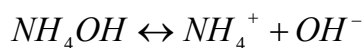
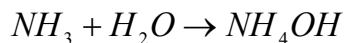
Dans ce contexte, l'efficacité du rideau d'eau croît :

- avec la finesse des gouttelettes car le temps d'interaction gaz/eau et les surfaces de contact sont accrus. De plus, des gouttelettes fines provoquent de faible capacité d'entraînement ce qui minimise la dilution du nuage, facteur favorable à l'absorption,
- avec l'augmentation du rapport des débits massiques eau/gaz.

Les rideaux d'eau sont utilisés sur les fuites de gaz toxiques tels que les acides halogénés (HF, HCl, HBr), les amines, l'ammoniac et le chlore.

1.2.1.1.L'ammoniac anhydre

L'ammoniac est très soluble dans l'eau. Lors de son contact avec l'eau, l'ammoniac subit une réaction rapide d'ionisation :



Le tableau suivant indique la solubilité de l'ammoniac en fonction de la température (WHO, 1986).

Température (°C)	Solubilité (g/L)
0	895
20	529
40	316
60	168

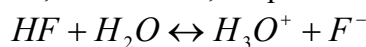
Tableau 2 : Solubilité de l'ammoniac dans l'eau en fonction de la température

Par ailleurs, la réaction de dissolution de l'ammoniac dans l'eau est fortement exothermique, soit 2000 kJ par kilogramme d'ammoniac dissous dans l'eau et le tableau montre que la solubilité de l'ammoniac diminue avec l'augmentation de température. La chaleur de dissolution de 529 g d'ammoniac dans un litre d'eau à 20 °C provoque l'évaporation de 32 % de la masse d'eau initiale. Ainsi, la chaleur de dissolution de l'ammoniac dans l'eau est un facteur limitant l'absorption de façon très significative.

1.2.1.2.L'acide fluorhydrique anhydre

HF est très soluble dans l'eau.

Lors de son contact avec l'eau, HF, acide faible, est peu ionisé.



De par cette faible ionisation, la réaction chimique n'est pas prépondérante dans le phénomène d'absorption. Ce phénomène s'explique par la formation de liaisons hydrogène entre les molécules d'eau et les molécules d'acide fluorhydrique.

1.2.1.3.L'acide chlorhydrique anhydre

HCl est très soluble dans l'eau.

Température (°C)	Solubilité (g/L)
0	823
20	670
40	633
60	561

Tableau 3 : Solubilité de l'acide chlorhydrique anhydre dans l'eau en fonction de la température

Lors de son contact avec l'eau, HCl, acide fort, est fortement ionisé, favorisant ainsi son absorption. La chaleur de dissolution est faible, sans influence sur la réaction.

1.2.1.4.Le chlore

La solubilité du chlore en fonction de la température est indiquée dans le tableau suivant :

Température (°C)	Solubilité (g/L)
0	14.6
20	7.16
40	4.51
60	3.24

Solubilité du chlore dans l'eau en fonction de la température

Le chlore est très peu soluble dans l'eau. Par conséquent, l'effet recherché sera la dilution du nuage et non l'absorption, trop faible pour avoir un effet significatif.

1.2.2. Autres phénomènes

1.2.2.1.dilution (action mécanique)

L'énergie cinétique des gouttes est convertie en force de traînée, provoquant l'aspiration du gaz dans leurs sillages. L'entraînement d'air et de polluant produit une dilution artificielle du nuage. Au niveau macroscopique, l'action mécanique du rideau d'eau consiste à injecter un débit d'air frais non pollué à l'intérieur du nuage de gaz dangereux incident. L'efficacité de la dilution est directement liée au débit et la pression d'eau pulvérisée, à la taille et la vitesse des gouttelettes.

D'après les observations mentionnées dans la bibliographie, la dilution provoque un abaissement des concentrations dans le champ proche du rideau d'eau mais se révèle avec des effets limités dans le champ lointain. ([6], [8])

On peut penser que dans certains cas, la dilution pourrait même aggraver les conséquences s'il est tenu compte du risque mesuré en surface et non pas en distance.

1.2.2.2.transfert thermique

Le transfert de chaleur dans un milieu biphasique liquide (pulvérisation) gaz (polluant) est un mode de transfert d'énergie. Il se produit s'il existe un gradient de température entre les deux phases (eau et gaz toxique). Les différents modes de transfert thermique sont la conduction, la convection et le rayonnement. Ces trois modes de transfert ne sont pas indépendants mais combinés entre eux.

Le transfert thermique entre les gouttelettes d'eau et le gaz peut réchauffer le nuage, permettant une inversion de densité du nuage (qui devient plus léger que l'air) favorisant ainsi la dispersion verticale.

1.2.3. Conclusion

Un rideau d'eau est beaucoup plus efficace en absorption, permettant un abattement de plusieurs dizaines de pour cents. Il faut noter que peu de documents traitent de l'étude de la dilution et que peu de résultats expérimentaux sont fournis ; les seuls résultats disponibles sont les calculs effectués à l'aide des codes, validés en galerie aéraulique, qui donnent un facteur de dilution de 2 à 10 (suivant la conception des rideaux) pour de fortes quantités de mouvement donc des gouttelettes de gros diamètres animées de vitesses élevées.

Les effets de l'absorption des rideaux d'eau sont significatifs dans les champs proche et lointain du rideau, contrairement aux effets de dilution qui n'apparaissent que dans le champ proche (et sont plus importants, toutes choses étant égales par ailleurs, aux effets de l'absorption). Un des facteurs importants, dans le cadre d'une dispersion atmosphérique, est la quantité de gaz mise en suspension dans l'atmosphère. L'absorption d'une partie du nuage permet d'obtenir une diminution notable des concentrations à plusieurs centaines de mètres de la fuite.

Un nuage froid (gaz liquéfié sous pression) mis au contact avec des gouttelettes d'eau à la température ambiante va se réchauffer par transfert convectif. Cet effet peut conduire à une inversion de densité du mélange gazeux, permettant une meilleure dispersion naturelle. Néanmoins, si l'action du rideau d'eau sur le réchauffement du nuage est efficace pour une faible vitesse de vent (0.25m/s), ce n'est plus le cas pour une vitesse plus forte de l'ordre de 1 m/s.

2. EXIGENCES TECHNIQUES

Ces exigences techniques sont indiquées dans le document intitulé « *détermination des fonctions de sécurité et de leurs exigences techniques – identification des barrières techniques de sécurité* ».

Dans le document intitulé « *Présentation de la méthodologie pour l'identification des barrières techniques de sécurité et de leurs exigences techniques* », l'INERIS propose des critères permettant de définir les exigences techniques d'éléments de sécurité. Cette grille est à adapter au dispositif étudié.

Afin de définir des exigences techniques, il est possible de se reporter aux normes ou codes suivants qui définissent des prescriptions techniques.

3. RETOUR D'EXPERIENCE

Ces exigences techniques sont indiquées dans le document intitulé « *détermination des fonctions de sécurité et de leurs exigences techniques – identification des barrières techniques de sécurité* ».

Dans le document intitulé « *Présentation de la méthodologie pour l'identification des barrières techniques de sécurité et de leurs exigences techniques* », l'INERIS propose une grille permettant de définir les exigences techniques d'éléments de sécurité. Cette grille est à adapter au dispositif étudié.

Afin de définir des exigences techniques, il est possible de se reporter aux normes ou codes suivants qui définissent des prescriptions techniques :

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Sebastien Bouchet – Prise en compte des rideaux d'eau pulvérisée fixes dans les démarches d'analyse des risques– INERIS – 2002