* 1. APPROCHE DE LA DISPERSION DES FUMEES LORS D’UN INCENDIE
     1. METHODOLOGIE
        1. PREAMBULE

Si les outils méthodologiques pour la modélisation de la dispersion atmosphériques de polluants sont maintenant connus et font l'objet d'une littérature importante, l’application à la dispersion des fumées lors d’un incendie est rendue plus complexe compte tenu de la difficulté d’évaluer lors de l’incendie, d’une part la nature et la quantité de produits émis et d’autre part les effets associés à la température.

Aussi il est important d'attirer l'attention du lecteur sur le fait que :

* ce document ne peut être qu'une approche des phénomènes avec des méthodes et des données actuellement publiées et sur lesquelles il reste des inconnues importantes ;
* l’évolution des connaissances dans ce domaine pourra amener des approches et des résultats différents.

La méthodologie décrite dans ce qui suit s’inspire des outils méthodologiques développés par l’INERIS dans le programme d’études et de recherches intitulé « Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs » financé par le Ministère de l’Ecologie et du Développement Durable et en particulier du document «Ω -16 – Toxicité et dispersion des fumées d’incendie – Phénoménologie et modélisation des effets » (2005).

* + - 1. CRITERES POUR L’ESTIMATION DES ZONES DE DANGER « EFFETS TOXIQUES »

Le tableau suivant donne les valeurs de référence relatives aux seuils d’effets toxiques des phénomènes dangereux pouvant survenir dans des installations classées. Ces valeurs sont issues de l’annexe 2 de l’arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l’évaluation et à la prise en compte de la probabilité d’occurrence, de la cinétique, de l’intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

**VALEURS DE REFERENCE RELATIVES AUX SEUILS D’EFFETS TOXIQUES**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | SEUILS D’EFFETS TOXIQUES POUR L’HOMME PAR INHALATION | | |
| Types d’effets constatés | Concentration d’exposition | Référence |
| Exposition de 1 à 60 minutes | Létaux | SELS (CL 5 %)  SEL (CL 1 %) | Seuils de toxicité aiguë  Emissions accidentelles de substances chimiques dangereuses dans l’atmosphère.  Ministère de l’écologie et du développement durable.  Institut national de l’environnement industriel et des risques 2003 (et ses mises à jour ultérieures) |
| Irréversibles | SEI |
| Réversibles | SER |
|  | | | |
| SELS | Seuil des effets létaux significatifs (correspondant à CL 5 %) | | |
| SEL | Seuil des effets létaux (correspondant à CL 1 %) | | |
| SEI | Seuil des effets irréversibles | | |
| SER | Seuils des effets réversibles | | |
| CL | Concentration létale | | |

Le tableau suivant donne les seuils d’effets de références correspondant aux différentes aux différentes « zones de dangers pour la vie humaine ».

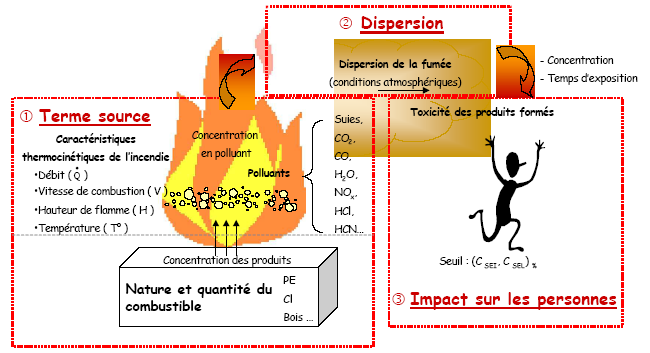
**DELIMITATION DES ZONES DE DANGERS POUR LA VIE HUMAINE**

|  |  |
| --- | --- |
| **SEUIL** | **DELIMITATION DE LA ZONE** |
| SEI | Zone des dangers significatifs pour la vie humaine |
| SEL | Zone des dangers graves pour la vie humaine |
| SELS | Zone des dangers très graves pour la vie humaine |

* + - 1. PRESENTATION DE LA DEMARCHE

Pour évaluer les distances sous le vent d’un incendie en deçà desquelles des effets sur la santé humaine, liés à la toxicité des fumées, pourraient apparaître, il convient, comme le montre la représentation schématique de l’émission de polluants engendrés par un incendie de stockage de combustibles suivante :

* De caractériser la terme source avec l’évaluation des polluants émis et l’évaluation des caractéristiques thermocinétiques de l’incendie ;
* D’évaluer la dispersion atmosphérique et notamment les concentrations maximales en gaz toxiques au niveau du sol ;
* D’estimer l’impact sur les personnes par la comparaison des niveaux maximum calculés avec les seuils de toxicité.



Source INERIS - Ω -16

Dans les tableaux suivants, sont développé les trois principales étapes de cette démarche :

* Etape 1 : caractérisation du terme source qui constitue les données « d’entrée » pour la dispersion atmosphérique ;
* Etape 2 : dispersion atmosphérique ;
* Etape 3 : impact sur les personnes.

**ETAPE 1 – TERME SOURCE**

|  |  |
| --- | --- |
| **COMPOSITION EN NATURE ET QUANTITE DES FUMEES EMISES PAR UN INCENDIE** | |
| **COMPOSITION DES FUMEES : GENERALITES** | Au cours d’un incendie, les fumées sont émise en partie supérieure du volume formée par la flamme.  Les matériaux usuels impliqués dans les feux sont constitués principalement de carbone (C), d’oxygène (O) et d’hydrogène (H) de telle sorte que leurs produits de combustion les plus courants sont le CO (monoxyde de carbone), CO2 (dioxyde de carbone) et H2O (eau).  Les autres éléments également couramment présents, l’azote (N) à l’origine d’oxyde d’azote et de vapeurs nitreuses NOx (NO, NO2) ainsi que le chlore (Cl), le fluor (F) et le brome (Br) se recombine en gaz toxiques dont les plus courants sont HCN (acide cyanhydrique), HCl (acide chlorhydrique), HF (acide fluorhydrique) et HBr (acide bromique).  A titre d’exemple, le tableau suivant donne, pour les plastiques couramment rencontrés, leurs éléments constitutifs et les principaux gaz de combustion susceptibles de se dégager en quantité mesurable. |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Polymères usuels** | **Principaux éléments constitutifs** | | | | | **Principaux gaz de combustion susceptibles de se dégager en quantité mesurable** | | | | | |
| **C** | **Cl** | **H** | **O** | **N** | **CO** | **CO**2 | **H**2**O** | **HCl** | **NO**2 | **HCN** |
| Polyacrylonitrile-butadiène-styrène (ABS) | X |  | X | X |  | X | X | X |  | X | X |
| Polyamides (PA) | X |  | X | X | X | X | X | X |  | X | X |
| Polychlorure de vinyle (PVC) | X | X | X | X | X | X | X | X | X |  |  |
| Polyesters insaturés | X |  | X |  |  | X | X | X |  |  |  |
| Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) | X |  | X | X |  | X | X | X |  |  |  |
| Polyéthylène (PE) | X |  | X | X |  | X | X | X |  |  |  |
| Polypropylène (PP) | X |  | X |  |  | X | X | X |  |  |  |
| Polystyrène (PS) | X |  | X |  |  | X | X | X |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **DETERMINATION DE LA COMPOSITION DES FUMEES** | La méthode retenue consiste à faire le bilan matière par éléments chimiques à partir de la composition chimiques de matériaux combustibles susceptibles d’être mise en jeu lors d’un incendie et à appliquer le principe de la conservation de la masse. Les principales hypothèses retenues sur le devenir des éléments et des sources potentielles de nuisances sont les suivantes :   * Le rapport molaire CO/CO2 est pris égal à 0,1 ; * 100 % du Cl se retrouve sous forme de HCl ; * 100 % du S se retrouve sous forme de SO2 ; * Concernant les recombinaisons de l’azote :   - x % en (NOx+HCN) avec x variant de 30 à 50 % avec une répartition arbitraire pour moitié en NOx et pour moitié en HCN ;  - 50 % à 60 % en N2 ;  - NH3 minoritaire. |

**ETAPE 1 – TERME SOURCE (SUITE)**

|  |  |
| --- | --- |
| **CARACTERISTIQUES THERMOCINETIQUES DE L’INCENDIE** | |
| **DEBIT DE FUMEES** | Il fixe la quantité de produits (polluants) émise à l’atmosphère.  Il est fonction de la vitesse de combustion du combustible.  Plus le débit de fumées est élevé, plus il sera difficile de diluer les fumées.  D’après HESKESTAD (1984), le débit total D de fumée traversant la section à la hauteur h peut être relié à la puissance thermique totale Qt dégagée par l’incendie au moyen de la formule suivante :  **D=3,24.Qt**  Où Qt : puissance thermique totale en MW  D : débit total de fumée en kg/s  La puissance thermique de combustion Qt est déterminée à l’aide de la formule suivante :  **Qt=10-6.m”.A.PCI**  Où Qt : puissance thermique totale en MW  m” : vitesse spécifique de combustion (en g/m²/s) obtenue par la moyenne pondérée des vitesses de combustion des différentes familles de produits mis en jeu.  A : surface de combustible en feu (en m²)  PCI : chaleur de combustion du combustible (en J/g) obtenue par la moyenne pondérée des chaleurs de combustion des différentes familles de produits mis en jeu. |
| **HAUTEUR D’EMISSION** | Il s’agit de l’altitude à laquelle a lieu la fin des réaction chimiques de combustion. Plus la hauteur d’émission est importante, plus l’impact devrait être faible (dilution en altitude)  La hauteur d’émission des fumées h est obtenue par la formule d’Heskestad suivante :  **h=0,166.(103.Qc)0,4**  Où Qc : puissance thermique convectée en MW  h : hauteur d’émission des fumées en m  La puissance thermique convectée Qc est donnée par la formule d’HESKESTAD suivante :  **Qc=α.Qt**  Où Qc : puissance thermique convectée (en MW)  Qt : puissance thermique totale (en MW)  α : fraction (en %) de la puissance thermique totale transférée par convection ; à priori α ≥60% |
| **TEMPERATURE** | Elle est fonction de la nature des combustibles et des conditions de ventilation du foyer. Plus les fumées ont une température élevée, plus elles sont susceptibles de s’élever du fait de la poussée induite par la différence de densité avec l’air.  D’après HESKESTAD, à la hauteur d’émission h, l’écart moyen de température entre les fumées et l’air ambiant est de 250°K. |
| **VITESSE** | Elle est fonction de la température des gaz de combustion. Plus la vitesse est importante, plus la dilution des gaz se fera en altitude, minimisant l’impact sur l’environnement. |

**ETAPE 2 – DISPERSION ATMOSPHERIQUE**

|  |  |
| --- | --- |
| **GENERALITES** | La dispersion atmosphérique caractérise le devenir dans le temps et dans l’espace de l’ensemble des particules rejetées dans l’atmosphère.  La dilution du panache de fumés dans l’atmosphère dépend :   * Des conditions de rejet : nature du nuage de produit, mode d’émission, température ; * Des conditions météorologiques : champs de vent, température… * De l’environnement : nature du sol, obstacles, topographie… |
| **LES DIFFERENTS MODELES DE DISPERSION** | Les modèles numérique de dispersion peuvent se rangers par ordre de complexité croissante en trois principales familles :   * Les modèles gaussiens ; * Les modèles intégraux ; * Les modèles CFD (Computational Fluid Dynamics).   Le modèle retenu dans le cadre de cet étude est le modèle gaussien qui s’attache à modéliser la dispersion à partir d’équation paramétrés et simplifiés. |
| **MODELES GAUSSIENS** | Pour ces modèles, comme le montre la figure suivante, la distribution des concentrations autour de la trajectoire de l’axe du panache est supposée gaussienne.  Ce type de modèle induit des limitations : terrain plat et rugosité uniforme, présence éventuelle d’une couche d’inversion, prise en compte d’obstacles à travers le paramètre de rugosité, régime d’écoulement stationnaire et uniforme.  Il est important de rappeler que le domaine de validité des modèles gaussiens se situe entre 100 m et 10 km pour la plupart.    Source INERIS - Ω -16  La concentration est fonction de la distance sous le vent, comptée depuis le point d’émission. Quant cette distance augmente, les concentrations au centre du panache diminuent globalement. De plus, la concentration est proportionnelle au débit massique, mais inversement proportionnelle à la vitesse du vent.  Pour pouvoir utiliser ce type de modèle, il faut également déterminer la hauteur du panache. Nous avons utilisé la corrélation de Briggs (1969) qui permet de calculer, suivant les conditions de stabilité, les hauteurs du panache en fonction de la hauteur d’émission, de la poussée initiale, de la vitesse du vent et de la distance à la source. |

**ETAPE 2 – DISPERSION ATMOSPHERIQUE (SUITE)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **MODELE UTILISE ET PARAMETRES RETENUS** | Les calculs de dispersion présentés dans cette étude ont été réalisés à l'aide du logiciel ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmosphères) diffusé par U.S. Environmental Protection Agency et spécialement développé pour répondre aux accidents chimiques.  Suivant la nature du toxique dispersé, le logiciel utilise deux modèles de dispersion, le modèle gaussien et le modèle gaz lourd (modèle DEGADIS). Dans notre cas, on ne retiendra que le modèle gaussien.  Il permet d'effectuer des études de dispersion accidentelle de polluants pour différentes configurations météorologiques et pour différentes durées d'émission n'excédant pas une heure. Il permet également de suivre, en fonction du temps et de la distance, l'évolution de la concentration dans l'atmosphère.  Ce logiciel n'est pas adapté à des vitesses de vent très faibles et à des conditions atmosphériques très stables. Il ne prend pas en compte les effets des réactions chimiques, les effets de particules et les effets liés à la topographie.  Les calculs ont été réalisés pour les conditions météorologiques suivantes :   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | Humidité | 70 % | | | | **Condition de diffusion** | **Diffusion** | **Vitesse du vent**  **Température extérieure** | **Remarque** | | DF3 | Diffusion Faible  (Atmosphère stable (classe F de Pasquill), temps couvert) | 3 m/s  15°C | Condition atmosphérique défavorable | | DN5 | Diffusion Normale  (Atmosphère neutre (classe D de Pasquill, rayonnement solaire) | 5 m/s  20°C | Condition atmosphérique moyenne |   Enfin, nous avons retenu un temps d'émission de 30 minutes en considérant qu'au delà de cette durée :   * D'une part, il y aura eu intervention des secours et donc modification des paramètres retenus ; * D'autre part, la vitesse et la direction du vent auront changé. |

**ETAPE 3 – IMPACT SUR LES PERSONNES**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **VOIES D’EXPOSITION DE LA POPULATION VOISINE** | Dans le cas des fumées d’un incendie, c’est la toxicité par inhalation qui nous intéresse.  La toxicité par inhalation des produits formés est fonction de la nature des polluants émis et de leurs concentrations. Les seuils de toxicités associés sont généralement connus pour une durée d’exposition et une concentration, c'est-à-dire une dose toxique donnée. | | |
| **ATTEINTE DES PRODUITS TOXIQUES SUR L’HOMME** | Le tableau suivant donne les conséquences possibles sur la santé de l’homme des quelques substances toxiques (d’après Fortin, 2000 et Mairesse, 1999) | | |
| **Agent** | | **Type d’atteinte ou effet** |
| Monoxyde de carbone CO | | Hypoxie générale du SNC (Système Nerveux Central) et du cœur |
| Dioxyde de carbone CO2 | | Narcose |
| Acide cyanhydrique HCN | | Asphyxie |
| Oxydes d’azote | Vapeurs nitreuses (NO+NO2) | Pulmonaire/hémoglobine |
| Isocyanates | Pulmonaire, Oculaire, Cutanée |
| Ammoniac | Pulmonaire, Oculaire |
| Toxiques halogénés | Acide chlorhydrique HCl  Acide fluorhydrique HF | Irritation sur les muqueuses  Pulmonaire  Oculaire |
| Phosgène COCl2 | Irritation nasale, Pulmonaire, Oculaire |
| Dioxines (PCDD et PCF) | Hépatique, Foetotoxicité, Cancérogenèse |
| Oxyde de soufre H2S | | Pulmonaire/hémoglobine |
| Composés organiques volatils | Acide formaldéhyde | Pulmonaire/Oculaire |
| Acroléine | Pulmonaire |
| Cyclohexane, cyclobutane | Narcose et asphyxie pulmonaire |
| Benzène | Cellules sanguines |
| Xylène | Narcose du SNC |
| Phénol | Narcose du SNC |
| Anhydride phtalique | Narcose et atteinte du SNC |

|  |  |
| --- | --- |
| **TOXICITE D’UN MELANGE DE FUMEES EMIS A L’ATMOSPHERE** | Dans le cas de fumées d’incendie, plusieurs gaz toxiques sont susceptibles d’être émise simultanément à l’atmosphère.  Conformément à la démarche décrite dans le guide technique relatif aux valeurs de référence de seuils d’effets des phénomènes accidentels des installations classée (version octobre 2004), le seuil à retenir pour caractériser la toxicité des fumées n’est pas propre à un gaz pur mais à un mélange de gaz. Pour un mélange composé de n gaz polluants avec une fraction massique xi et un seuil de toxicité aigue Seuili (en mg/m3), le seuil équivalent Seuileq peut être estimé par la relation :  **n**  **Seuileq=1/(∑xi/Seuili)**  **i=1**  Lors de la dispersion, on recherche donc la distance maximale par rapport à la source (l’incendie) où le seuil est atteint au niveau du sol.  On trouvera ci-après les valeurs SELS, SEL et SEI pour quelques gaz susceptibles d’être présents dans les fumées d’un incendie. On notera cependant qu’une telle approche, retenue faute de mieux, ne permet de prendre en compte tout effet de synergies ou d’antagonismes éventuels, induit par la présence simultanée des différents gaz. |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Substance** | **Formule** | **Masse molaire g/mol** | **Pour une exposition de 30 minutes** | | | | | |
| **Seuil des effets létaux significatifs SELS** | | **Seuil des effets létaux SEL** | | **Seuil des effets irréversibles SEI** | |
| **mg/m3** | **ppm** | **mg/m3** | **ppm** | **mg/m3** | **ppm** |
| Monoxyde de carbone | CO | 28,01 | ND | ND | 4810 | 4220 | 1718 | 1507 |
| Dioxyde de carbone | CO2 | 44,01 | ND | ND | ND | ND | 89980 | 50000 |
| Monoxyde d’azote | NO | 30,01 | ND | ND | 923 | 750 | 123 | 100 |
| Dioxyde d’azote | NO2 | 46 | 165 | 88 | 150 | 80 | 94 | 50 |
| Acide chlorhydrique | HCl | 36,46 | 1106 | 742 | 700 | 470 | 119 | 80 |
| Chlore | Cl2 | 70,91 | 531 | 183 | 464 | 160 | 72,5 | 25 |
| Phosgène | COCl2 | 98,92 | 13 | 3 | 8 | 2 | 4 | 1 |
| Chlorure de vinyle | C2H3Cl | 62,5 | 452400 | 174000 | 385761 | 149000 | ND | ND |
| Acide cyanhydrique | HCN | 27,03 | 103 | 94 | 66 | 60 | ND | ND |
| Ammoniac | NH3 | 17,03 | 3593 | 5133 | 3337 | 4767 | 350 | 500 |
| Méthylamine | CH5N | 31,06 | 7696 | 6060 | 6667 | 5250 | 1702 | 1340 |
| Acide fluorhydrique | HF | 20,01 | 465 | 567 | 309 | 377 | 164 | 200 |
| Hydrogène sulfuré | H2S | 34,08 | 736 | 526 | 661 | 472 | 140 | 100 |

ND : Non Déterminé Source : INERIS

**ETAPE 3 – IMPACT SUR LES PERSONNES (SUITE)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Substance** | **Formule** | **Masse molaire g/mol** | **Pour une exposition de 60 minutes** | | | | | |
| **Seuil des effets létaux significatifs SELS** | | **Seuil des effets létaux SEL** | | **Seuil des effets irréversibles SEI** | |
| **mg/m3** | **ppm** | **mg/m3** | **ppm** | **mg/m3** | **ppm** |
| Monoxyde de carbone | CO | 28,01 | ND | ND | 3680 | 3200 | 920 | 800 |
| Monoxyde d’azote | NO | 30,01 | ND | ND | 738 | 600 | 98 | 80 |
| Dioxyde d’azote | NO2 | 46 | 137 | 73 | 132 | 70 | 75 | 40 |
| Acide chlorhydrique | HCl | 36,46 | 565 | 379 | 358 | 240 | 60 | 40 |
| Chlore | Cl2 | 70,91 | 368 | 127 | 319 | 110 | 55 | 19 |
| Phosgène | COCl2 | 98,92 | 4 | 1 | 4 | 1 | 2 | 0.5 |
| Chlorure de vinyle | C2H3Cl | 62,5 | 338 000 | 130 000 | 289 968 | 112 000 | ND | ND |
| Acide cyanhydrique | HCN | 27,03 | 69 | 63 | 45 | 41 | ND | ND |
| Ammoniac | NH3 | 17,03 | 2543 | 3633 | 2380 | 3400 | 248 | 254 |
| Méthylamine | CH5N | 31,06 | 5312 | 4183 | 4597 | 3620 | 1177 | 927 |
| Acide fluorhydrique | HF | 20,01 | 232 | 283 | 155 | 289 | 82 | 100 |
| Hydrogène sulfuré | H2S | 34,08 | 580 | 414 | 521 | 372 | 112 | 80 |

ND : Non Déterminé Source : INERIS

* + 1. APPLICATION AU SITE ETUDIE

Lors de l'incendie, les produits de décomposition dispersés à l'atmosphère sont difficiles à cerner étant donné :

* D'une part la diversité des produits potentiellement présents dans es deux bâtiments ; en effet, de par sa vocation, un entrepôt logistique est susceptible de stocker des produits extrêmement divers au cours de son exploitation ce qui rend difficiles l’approche des produits de combustion susceptible de se dégager lors d’un incendie ;
* D'autre part la complexité des réactions de décomposition susceptibles d’intervenir lors d’un incendie liée non seulement aux produits combustibles stockés sur le site mais également des conditions de combustion (en termes d’apport d’oxygène notamment).

**L’incendie de chaque cellule durant plus de 120 min nous avons retenu l’incendie des 3 cellules simultanément. Cette dispersion a été réalisée avec une surface en feu de 18 000 m².**

**Il a également été réalisé la modélisation pour une cellule.**

* + - 1. CARACTERISATION DU TERME SOURCE

En l’absence de données suffisamment précises quant aux compositions élémentaires exactes des produits susceptibles d’être stockés et pour disposer d’un scénario à caractère majorant du point de vue de la toxicité des fumées, on a considéré qu’en dehors du bois papier carton servant au conditionnement des marchandises, la totalité des produits susceptibles d’être stockés étaient sous forme de polymères avec une répartition prise à :

* 20 % du stockage est constitué de bois papier carton servant au conditionnement des marchandises ;
* 35 % du stockage est constitué de produits non alvéolaires en polymères halogénés sous forme de PVC ;
* 35 % du stockage est constitué de produits alvéolaires en polymères azotés sous forme de polyuréthane.
* 10% du stockage est constitué de polymères sous forme de polyéthylène téréphtalate.

Sur cette base, l’approche du « terme source » suivant la méthodologie présentée précédemment est développée dans les tableaux suivants.

**HYPOTHESE SUR LES QUANTITES MISES EN JEU POUR LE SCENARIO 1 CELLULE**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Produits stockés** | **Formule chimique** | **Quantité (t)** | **Pourcentage (%)** | **Vitesse de combustion (kg/m²/s)** | **Chaleur de combustion (PCI) (MJ/kg)** |
| PVC | (C2H3Cl)n | 3850 | 35,0% | 0.016 | 17 |
| Bois, papier, carton | (C6H10O5)n | 2200 | 20,0% | 0.014 | 17 |
| Polyuréthane | (C12H10O6N3)n | 3850 | 35,0% | 0.030 | 24 |
| Polyéthylène téréphtalate | (C10H8O4)n | 1100 | 10,0% | 0.014 | 46 |
| TOTAL |  | 11 000 | 100.0% |  |  |
| Moyenne pondérée |  |  |  | 0.02 | 22.35 |

**CARACTERISATION DES FUMEES POUR CE SCENARIO**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Abréviation** | **Désignation** | **Unité** | **Valeur** |
| m” | Vitesse spécifique de combustion | g/m²/s | 20 |
| A | Surface de combustion | m² | 2000 |
| PCI | Chaleur de combustion du combustible | J/g | 22350 |
| Q= 10-6.m”.A.PCI | Puissance thermique totale | MW | 907 |
| **D=3,24.Q** | **Débit de fumées** | **kg/s** | **2940** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Substance** | **Hypothèse de calcul** | **Fraction massique (en %)**  **(100.débit polluant/débit fumées)** |
| **Monoxyde de carbone (CO)** | La totalité du carbone présent, hormis le carbone servant à la formation de HCN, conduit à la formation de monoxyde et de dioxyde de carbone dans un rapport molaire CO/CO2=0,1 (hypothèse correspondant au cas d’un incendie relativement bien ventilé) | 0,13% |
| **Dioxyde de carbone (CO2)** | 2.07 % |
| **Dioxyde d'azote (NO2)** | Si une part significative (environ 60 %) de l’azote est supposé se recombiner en azote moléculaire (N2), la moitié du reste, environ 20 %, est converti en dioxyde d’azote | 0,05 % |
| **Acide cyanhydrique (HCN)** | Si une part significative (environ 60 %) de l’azote est supposé se recombiner en azote moléculaire (N2), la moitié du reste, environ 20 %, est converti en HCN | 0,03 % |
| **Acide chlorhydrique (HCl)** | On a considéré que la totalité du chlore se transformait en HCl | 0,28 % |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Abréviation** | **Désignation** | **Unité** | **Valeur** |
| Qc=0,6.Q | Puissance thermique convectée (relation de Heskestad) | MW | 544 |
| **h=0,166.(1000.Qc)0,4** | **Hauteur d’émission des fumées** | **m** | **33** |

**HYPOTHESE SUR LES QUANTITES MISES EN JEU POUR LE SCENARIO 3 CELLULES**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Produits stockés** | **Formule chimique** | **Quantité (t)** | **Pourcentage (%)** | **Vitesse de combustion (kg/m²/s)** | **Chaleur de combustion (PCI) (MJ/kg)** |
| PVC | (C2H3Cl)n | 11 550 | 35,0% | 0.016 | 17 |
| Bois, papier, carton | (C6H10O5)n | 6 600 | 20,0% | 0.014 | 17 |
| Polyuréthane | (C12H10O6N3)n | 11 550 | 35,0% | 0.030 | 24 |
| Polyéthylène téréphtalate | (C10H8O4)n | 3 300 | 10,0% | 0.014 | 46 |
| TOTAL |  | 33 000 | 100.0% |  |  |
| Moyenne pondérée |  |  |  | 0.02 | 22.35 |

**CARACTERISATION DES FUMEES POUR CE SCENARIO**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Abréviation** | **Désignation** | **Unité** | **Valeur** |
| m” | Vitesse spécifique de combustion | g/m²/s | 20 |
| A | Surface de combustion | m² | 6000 |
| PCI | Chaleur de combustion du combustible | J/g | 22350 |
| Q= 10-6.m”.A.PCI | Puissance thermique totale | MW | 2722 |
| **D=3,24.Q** | **Débit de fumées** | **kg/s** | **8 820** |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Substance** | **Hypothèse de calcul** | **Fraction massique (en %)**  **(100.débit polluant/débit fumées)** |
| **Monoxyde de carbone (CO)** | La totalité du carbone présent, hormis le carbone servant à la formation de HCN, conduit à la formation de monoxyde et de dioxyde de carbone dans un rapport molaire CO/CO2=0,1 (hypothèse correspondant au cas d’un incendie relativement bien ventilé) | 0,13% |
| **Dioxyde de carbone (CO2)** | 2.07 % |
| **Dioxyde d'azote (NO2)** | Si une part significative (environ 60 %) de l’azote est supposé se recombiner en azote moléculaire (N2), la moitié du reste, environ 20 %, est converti en dioxyde d’azote | 0,05 % |
| **Acide cyanhydrique (HCN)** | Si une part significative (environ 60 %) de l’azote est supposé se recombiner en azote moléculaire (N2), la moitié du reste, environ 20 %, est converti en HCN | 0,03 % |
| **Acide chlorhydrique (HCl)** | On a considéré que la totalité du chlore se transformait en HCl | 0,28 % |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Abréviation** | **Désignation** | **Unité** | **Valeur** |
| Qc=0,6.Q | Puissance thermique convectée (relation de Heskestad) | MW | 1633 |
| **h=0,166.(1000.Qc)0,4** | **Hauteur d’émission des fumées** | **m** | **51** |

* + - 1. IMPACT SUR LES PERSONNES APRES DISPERSION DES FUMEES

Le tableau suivant donne les seuils toxiques de la fumée pour un temps d’exposition de 60 mn établis suivant la méthodologie présentée précédemment et retenus pour évaluer l’impact de l’incendie sur les personnes :

|  |  |
| --- | --- |
| **Désignation** | **Fumées d’incendie** |
| Seuil SEI équivalent (mg/m3) | 26 483 |
| Seuil SEL équivalent (mg/m3) | 85 812 |
| Seuil SELS équivalent (mg/m3) | 118 585 |

Pour les seuils non déterminés, nous avons retenu :

* Pour la valeur du SEI de l’acide cyanhydrique, arbitrairement, la moitié de la valeur du SEL ;
* Pour les valeurs SEL et SELS du dioxyde de carbone, la valeur du SEI (approche prudente).
  + - 1. RESULTATS DE L’APPROCHE DE LA DISPERSION DES FUMEES TOXIQUES D’INCENDIE

Le tableau suivant donne le résultat des dispersions dans les conditions définies dans la méthodologie présentée précédemment :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Conditions de diffusion** | **Distance (en m) sous le vent où la valeur seuil est atteinte au niveau du sol** | | |
| **SEI** | **SEL** | **SELS** |
| ***Scénario 1 cellule en feu***  DF3 (condition défavorable) | NA | NA | NA |
| ***Scénario 1 cellule en feu***  DN5 (condition moyenne) | NA | NA | NA |
| ***Scénario 3 cellule en feu***  DF3 (condition défavorable) | NA | NA | NA |
| ***Scénario 3 cellule en feu***  DN5 (condition moyenne) | NA | NA | NA |

NA : Non atteint au niveau du sol.

Conditions atmosphériques 5D : vitesse du vent égale à 5m/s, atmosphère neutre

Conditions atmosphériques 3F : vitesse du vent égale à 3m/s, atmosphère stable impliquant une dispersion plus lente du nuage et une exposition plus longue des enjeux en champ libre

Distances d’effets toxiques au niveau du sol

**Aucun seuil (irréversible, létal, létal significatif) n’est atteint dans les conditions usuelles atmosphériques (3F et 5D).**

**Il en ressort que, lors d'un incendie d’une ou trois cellules et se propageant au-delà des murs REI 120 et pour les conditions d'émissions définies, les concentrations correspondant aux seuils équivalents SEI (effets irréversibles), SEL (effets létaux) et SELS (effets létaux significatifs) des fumées d’incendie (composées principalement de CO, CO, NO2, HCN, HCl) ne sortent pas des limites de propriétés.**