

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

TD 10 : Révisions

UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation





Calculs de conséquences

Nuages toxiques-explosions-incendies

Réservoir d'ammoniac



- Cuve de 2 m³,
- Ammoniac, 500 kg/m³ en phase liquide
- Liquide à la température ambiante sous 7 bar.
- Diamètre de canalisation : 25 mm
- U_{vent}=10 m/s
- SEI=300 ppm
- SEL=3000 ppm

Explications

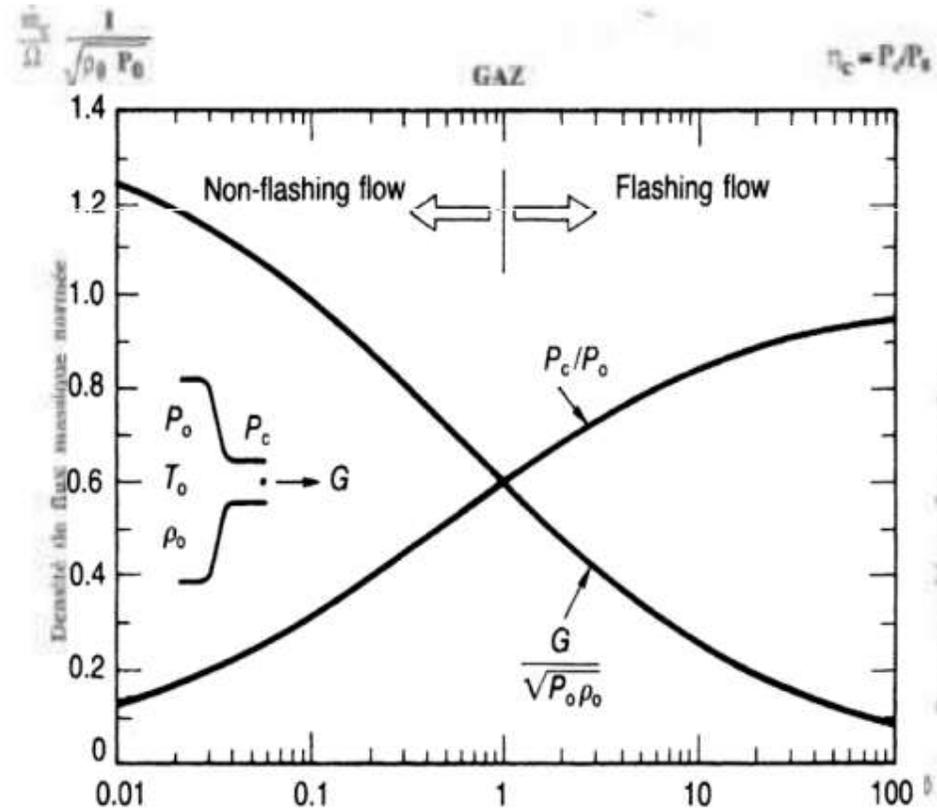
Voici quelques années, les agriculteurs utilisaient de l'ammoniac liquide pour apporter au sol les quantités d'azote nécessaires pour la croissance des céréales. Le principe est simple. Une cuve d'ammoniac liquéfié est transportée par le tracteur et reliée via une canalisation de un pouce, c'est-à-dire 25 millimètres de diamètre interne, à la herse à l'arrière du tracteur. L'ammoniac est injecté sous le soc de la charrue directement dans le sol et s'hydrate localement. Cependant l'ammoniac est un produit dangereux et on craint des accidents graves. L'objectif de cet exercice est d'identifier la gravité d'un accident potentiel.

La cuve est probablement assez résistante et donc peu vulnérable mais on peut facilement identifier un événement redouté central très plausible comme la rupture de la canalisation d'alimentation de la charrue ou même le comportement de l'agriculteur qui ne respecterait pas les procédure (alimenter uniquement lorsque la herse est enfoncée). Cette canalisation est visible sous la cuve avec sa vanne d'isolement. La rupture de cette canalisation peut avoir lieu lors de la manœuvre du tracteur par exemple lors du rangement du matériel dans le hangar.

Les seuils toxiques SEI et SEL de l'ammoniac dans l'air sont donnés sur le transparent précédent.

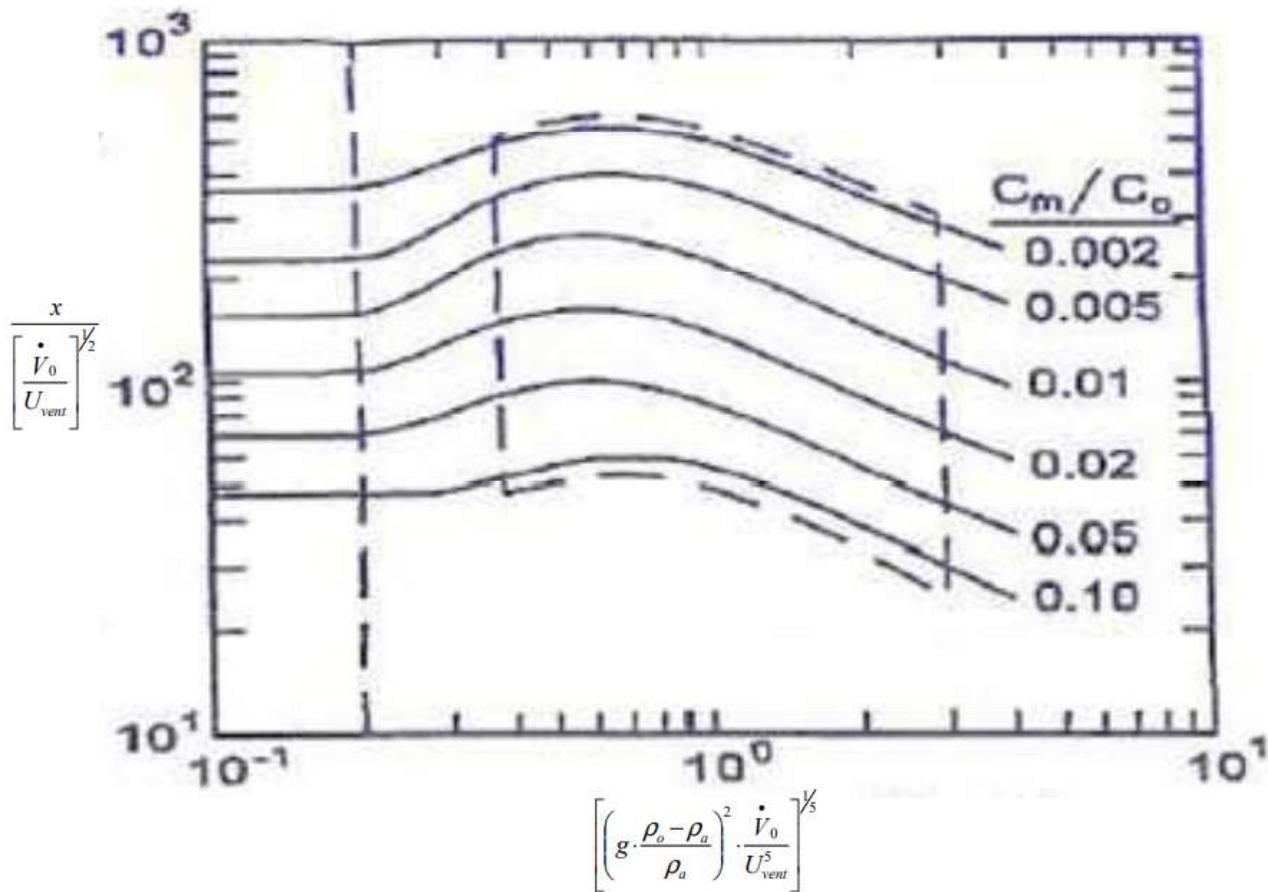
Les fuites

$$\frac{\dot{m}_c}{\Omega} \frac{1}{\sqrt{P_o \cdot \rho_o}}$$



$$\eta_c = \frac{P_c}{P_o}$$

Formation de nuages toxiques



$$\text{Concentration}_{re\grave{c}ue} = \frac{\text{D\acute{e}bit}_{fuite}}{\pi \cdot U_{vent} \cdot \sigma^2}$$

$$\sigma = 0,07 \cdot \text{distance}^{0,9}$$

Commentaires

Plusieurs remarques. Tout d'abord les seuils toxiques sont données en PPM qui représente le nombre de volumes (ou de moles) dans un mélange comportant 1000000 volumes (ou moles). La concentration dans la formule est une fraction volumique (molaire). 300 ppm équivaut donc à une fraction molaire de 300 divisé par 1000000. On rappelle que les fractions molaires (volumiques) sont sans unité.

Dans l'expression de la concentration ou plus exactement de la fraction molaire de toxique dans l'air Sigma est en m et Uvent en m/s. Le dénominateur est donc en m³/s. Il faut donc que le débit soit exprimé m³/s aussi. L'ammoniac est à l'état gazeux dans les conditions atmosphériques. On peut donc déduire le débit volumique d'ammoniac du débit massique de la fuite* en divisant par la masse volumique de l'ammoniac dans les conditions ambiantes c'est-à-dire à la pression atmosphérique et à la température de 20° par exemple. On trouve très simplement cette dernière en divisant la masse d'une mole d'ammoniac (0,017 kg) par son volume dans les conditions standard (0,024 m³) et on trouve approximativement 0,7 kg/m³.

On déduit ce débit volumique du débit massique de la fuite....

**car un éventuel résidu liquide se vaporisera au contact de l'environnement et participera à la formation du nuage tout comme la fraction flashée*

Commentaires

...pour l'obtenir, il faut employer le graphe de la diapo 5. On propose ci-dessous des valeurs forfaitaires du « coefficient de débit » qu'on lit sur l'ordonnée de gauche sachant le « taux de vide » (abscisse). Ce dernier représente le supplément de volume gazeux qui apparaît dans l'écoulement lors de sa dépressurisation. Si c'est un produit qui est liquide dans le réservoir mais normalement gazeux à l'air libre (ex : propane), on peut s'attendre à l'apparition de vapeur pendant la dépressurisation depuis le réservoir vers le point de fuite. Le taux de vide devient plus grand que 1. On parle alors d'une fuite « flashante » (impression visuelle de ce type de fuite). D'expérience ce taux de vide est de l'ordre de 5 et le coefficient de débit est alors de 0,3. Si le produit stocké est un gaz alors il reste gaz et il n'y a pas de supplément de volume gazeux et donc le taux de vide est 1 et le coefficient de débit = 0,6. Pour une fuite liquide sans flash, ce diagramme ne donne pas de réponses et il faut employer la théorie des écoulements incompressibles c'est-à-dire l'équation de Bernoulli. Un coefficient de débit de 1 peut être employé mais il faut remplacer P_0 dans le dénominateur par la différence à la pression atmosphérique soit $(P_0 - P_a)$ au lieu de P_0 . Dans le cas présent, l'ammoniac est liquide dans le réservoir mais gazeux aux conditions ambiantes donc la fuite est « flashante ». On trouve alors :

$$\dot{m} = 0,3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0,025^2 \cdot \sqrt{7 \cdot 10^5 \cdot 500} = 2,75 \text{ kg/s}$$

Commentaires

On trouve un débit massique de fuite de 2,75 kg/s ce qui donne un débit volumique d'ammoniac sous forme gazeuse de 4 m³/s. On applique ensuite la formule de gauche de la diapo 25 en choisissant comme valeurs de la concentration reçue d'abord le SEI (0,0003) puis le SEL (0,003). Comme le débit volumique et la vitesse du vent sont connus, on déduit facilement les valeurs de sigma correspondantes.

On constate que le nuage est toxique jusqu'à 1200 m du point de fuite et même létal à 300 m environ. Si une fuite venait à se produire dans le hangar, la vie du personnel de l'exploitation et même du village serait en grave danger.

Pour cette raison, cette pratique d'amendement a été abandonnée.

Seuils	ppm	fraction vol	Sigma (m)	x au seuil (m)
SEI	300	0,0003	20	544
SEL	3000	0,003	6	151
m	3 kg/s			
masse vol	0,7 kg/m ³			
Q	4 m ³ /s			
Uvent	10 m/s			



Barrières de sécurité

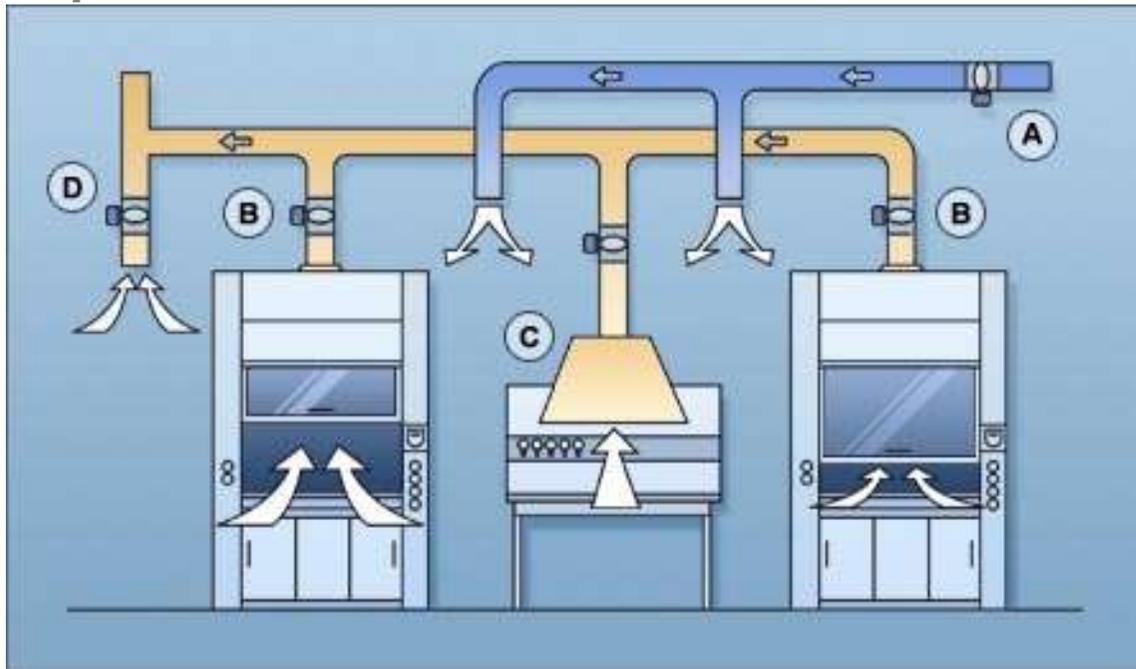
AMDEC, NC, arbres

Objectifs

Une potentialité intéressante de l'AMDEC est d'apporter un moyen de quantification de la sûreté de fonctionnement d'un élément d'une barrière de sécurité. On sait par exemple que le Niveau de Confiance, NC, d'une barrière technique de sécurité dépend du « taux de défaillances sûres » ou SFF de la barrière. Lorsque ce taux de défaillance est trop bas et que le niveau de confiance résultant est trop faible, on dispose de 2 possibilités pour améliorer le NC. Soit on augmente la fiabilité de la barrière en augmentant le SFF, ce qui revient à contrôler les défaillances de manière automatique, soit on double le système en pratiquant une ou 2 redondances.

On illustre la manière de quantifier le niveau de confiance d'une barrière dans l'exemple suivant et la manière d'augmenter le niveau de confiance. .

L'aspiration est faite par un ventilateur qui aspire l'air par le haut.
L'opérateur peut selon les opérations en cours, monter ou baisser un panneau coulissant en verre. **Le ventilateur marche normalement à vitesse constante, la régulation de débit d'aspiration dans chaque hotte est faite par une vanne B.**



Il y a un contacteur qui détecte la position du panneau coulissant. Lorsque'il est en position basse le débit d'aspiration dans la hotte est de $Q/2$. Lorsque le panneau est levé le débit est Q . Ces débits sont obtenus si seulement deux hottes sont utilisées simultanément.



Si une troisième hotte est utilisée (pour une paillasse sur laquelle on dispose les produits avant de les transférer dans des contenants adaptés dans les hottes adjacentes), il faut mettre le ventilateur en mode aspiration forte pour garantir les débits désirés dans chaque hotte.

Faire l'AMDEC du ventilateur

La procédure est la suivante :

1. Identifier les taux de défaillances pertinents
2. Identifier les phases/états de fonctionnement
3. Faire l'AMDEC

Rappels : modes de défaillance (TD AMDEC)

Termes génériques

- Perte de fonction
- Fonctionnement intempestif
- Refus de s'arrêter
- Refus de démarrer
- Fonctionnement dégradé

- Autre

Significations pour un extracteur

- Arrêt intempestif
- Démarrage intempestif
- Refus de s'arrêter
- Refus de démarrer
- Débit non nominal
- ~~➤ Débit inversé~~
- Débit non stabilisé

- ~~➤ Vibration~~
- ~~➤ Échauffement~~

Modèle de tableau d'AMDEC

Identification du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques

*Les « moyens de détection » et les « réactions correctives » sont celles déjà en place.
Les suggestions/améliorations/questions sont à mettre dans la colonne « remarques »*

Commentaires

D'abord les modes de défaillance pertinents. Le ventilateur doit être capable de démarrer, il peut subir un arrêt intempestif, il peut fonctionner de manière dégradée (trop de débit, pas assez, pas stable), s'arrêter (changer d'état). On pourrait ajouter d'autres défaillances comme les vibrations et l'échauffement mais on ne s'intéresse pas à l'aspect fonctionnel ni aux sources d'inflammation potentielles donc on ignorera ces modes de défaillance.

Puis les fonctions. Cet extracteur doit d'abord permettre de mettre les « hottes en dépression », ce qui ne peut se produire que lorsque que la vitre est baissée. Le débit de l'extracteur n'a pas vraiment d'importance. Les vapeurs et émanations sont confinées dans la hotte. La seconde fonction apparaît lorsque l'opérateur doit opérer à l'intérieur de la hotte. Il lève la vitre et dès ce moment, la dépression disparaît et il faut que le débit d'aspiration soit suffisante pour diluer en dessous des seuils de danger. C'est un régime de « dilution normale » ou nominale. On notera à cet égard que le débit de la hotte doit être choisi en fonction des seuils de dilution à atteindre c'est-à-dire qu'il dépend de la nature des produits et de la taille des équipements (dont dépend le débit de fuite). Ainsi les réactifs ne sont conservés dans la hotte qu'en dose limitée (pour 1 poste ou une journée) et dans des flacons spécifiques (contrôle des fuites). Enfin, il est nécessaire de pouvoir faire fonctionner l'extracteur en « dilution renforcée » lorsque la table intermédiaire est employée (remplissage des flacons journaliers par ex). On peut penser que le débit est alors très significativement plus grand car la table est largement ouverte.

On rappelle que dans une AMDEC, on suppose une défaillance à la fois et que (donc) tous les autres éléments concourant au fonctionnement du système dans lequel se trouve le composant sont parfaitement fonctionnels. En particulier cela suppose que l'opérateur suit strictement les procédures et ne fait pas d'erreur.

Identification du composant	Fonction État	Mode de défaillance	Causes	Effets	Moyens de détection	Actions correctives	Remarques	
Ventilateur	Mise en dépression du circuit	Refus de démarrer	Panne électrique ou mécanique	Pas de production	Opérateur	enquêter	mettre un détecteur de fonctionnement ou de débit + alarme sonore puissante ?	
			Panne secteur					
	Dilution normale	Arrêt intempestif	Refus de s'arrêter	Panne de commande	x	x	x	Maintenance ?
			Fonction dégradé • instable • débit insuffisant	Comme 1 ^{er} mode	Risque d'intoxication	??	??	L'opérateur peut ne pas pouvoir se protéger => Détecteur débit + alarme + mise en sécurité
		Dilution renforcée		Démarrage intempestif (=fnct dégradé de dilution normale)	Panne mécanique (vanne fermée, extracteur usé)	Dilution insuffisante -> Risque d'intoxication	??	??
			Défaut de commande		Dilution excessive	x	x	Maintenance ? Seuil haut sur le débitmètre?
	Dilution renforcée	Refus de démarrer	Défaut de commande	Utilisation table impossible	Opérateur	Enquêter	Maintenance ?	
		Arrêt intempestif	Comme 1 ^{er} mode	Dilution insuffisante -> Risque d'intoxication	??	??	débitmètre couplé + alarme ?	
Refus d'arrêter		Défaut de commande	endommagement du matériel ?	Opérateur	Enquêter	Maintenance?		

Commentaires

Commençons par la mise en aspiration. Si le ventilateur refuse de démarrer, il n'y a a priori pas encore de risque car on n'a pas commencé à utiliser les produits toxiques. Mais il importe que cet événement puisse être détecté. On peut envisager une détection de fonctionnement du ventilateur associé à une alarme sonore puissante de manière que l'opérateur ne puisse pas utiliser les paillasse et hotte avant remise en marche du ventilateur.

Pour les 2 autres modes de fonctionnement, le risque est que le débit ne soit pas suffisant soit en raison d'un refus de démarrer pour le mode renforcé soit en raison d'un fonctionnement dégradé pour les 2 modes. Dans les 2 cas la solution technique consisterait à contrôler le débit d'aspiration par exemple avec une sonde déprimogène associée à la même alarme sonore.

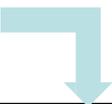
On cherche maintenant à déterminer le niveau de confiance de l'extracteur tel qu'il est comme élément d'une barrière de sécurité. C'est une barrière technique de sécurité de type A car il n'y a pas de microprocesseur/ordinateur de pilotage. Logique câblée. C'est un système actif car il y a une architecture de l'appareil qui permet une action.

Le nombre total de mode de défaillances est 8 dont 3 sont dangereux. 5 sont « sûrs » donc le taux de défaillances sûres est de 5/8 soit 62%. Il n'y a qu'un extracteur en ligne (pas de redondance, donc c'est la colonne « 0 » qu'il faut considérer = > NC=2. Donc l'extracteur peut dysfonctionner et conduire à une situation dangereuse 1 fois sur 100. Si l'opérateur met le système en fonctionnement 1 fois par jour (au moins), une situation dangereuse pourrait se présenter au moins une fois par an. On peut considérer que c'est trop et choisir une redondance (extracteur de secours) ce qui pourrait porter NC à 3.

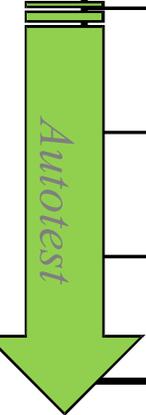
Mais avant même de faire ce choix d'autres organes seraient à prendre en compte (vannes, détecteurs de la vitre, commande,...) et le comportement de l'opérateur aussi. Une analyse plus globale est indiquée. Il est proposé de la faire au moyen de l'arbre des défaillances qui permet de clarifier les liens logiques, d'identifier les chemins critiques et donc de hiérarchiser les actions à prendre.

Performance d'une BTS : type A

Passives = NC = 2 voire 3 si dimensionnement et contrôle précis

Actives 

Taux de défaillances sûres (SFF)	Tolérance aux anomalies matérielles 		
	0	1	2
< 60 %	NC 1	NC 2	NC 3
60 % < - < 90 %	NC 2	NC 3	NC 4
90 % < - < 99%	NC 3	NC 4	NC 4
≥ 99 %	NC 3	NC 4	NC 4

 Autotest



Arbre des défaillances

Aussi pour améliorer un dispositif



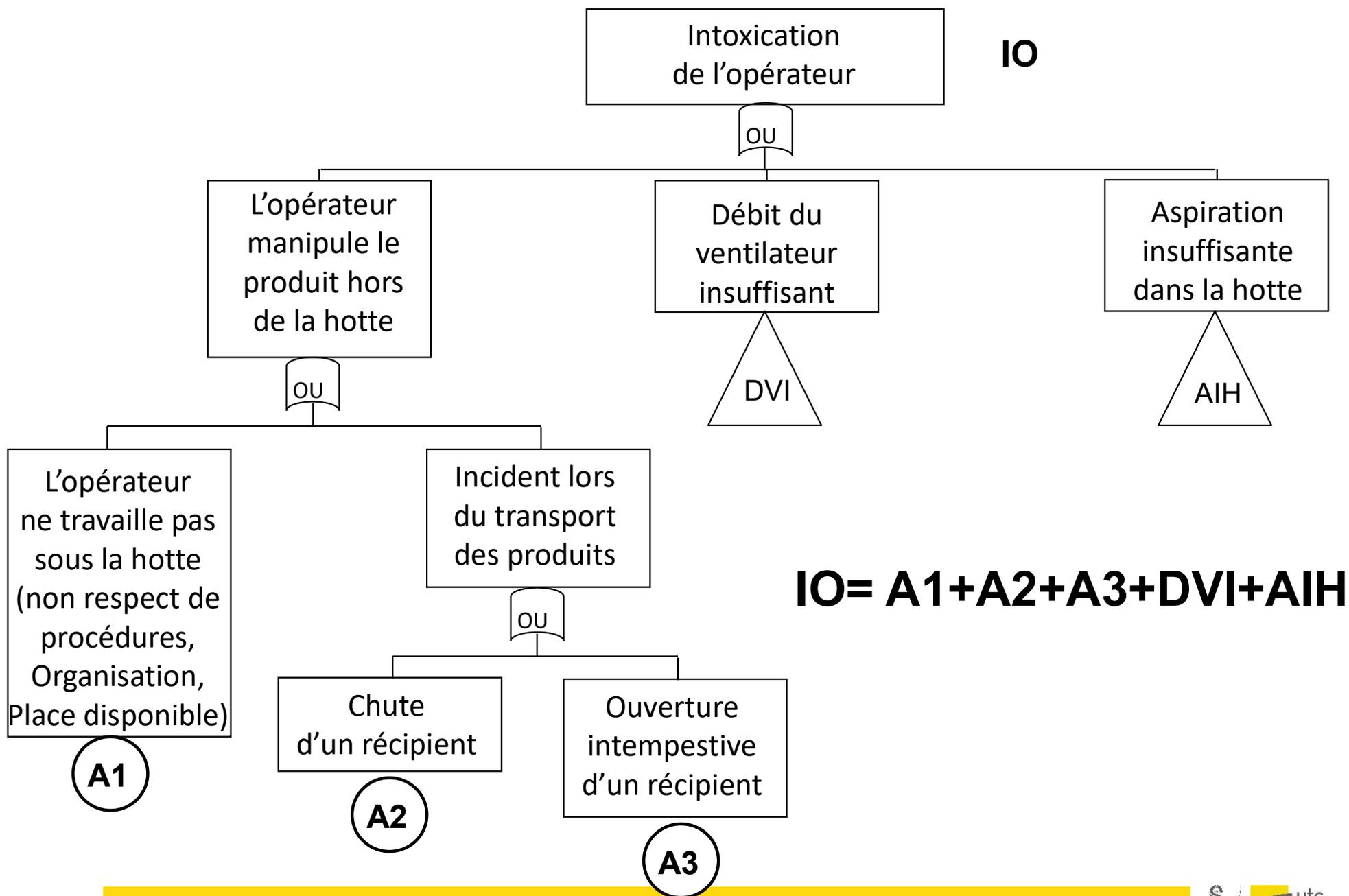
=> Arbre de défaillance

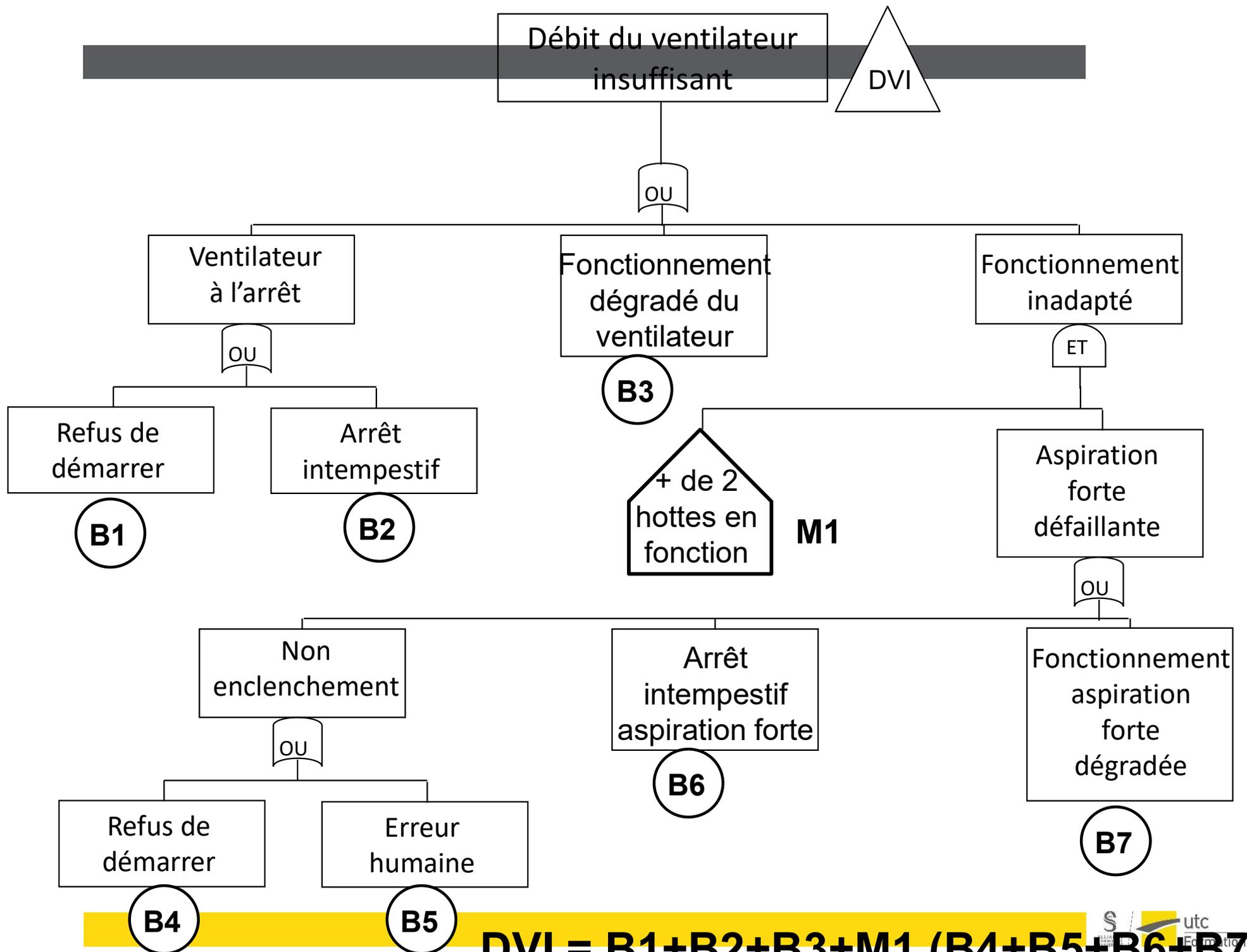
Étudiez l'événement redouté :

« intoxication de l'opérateur »

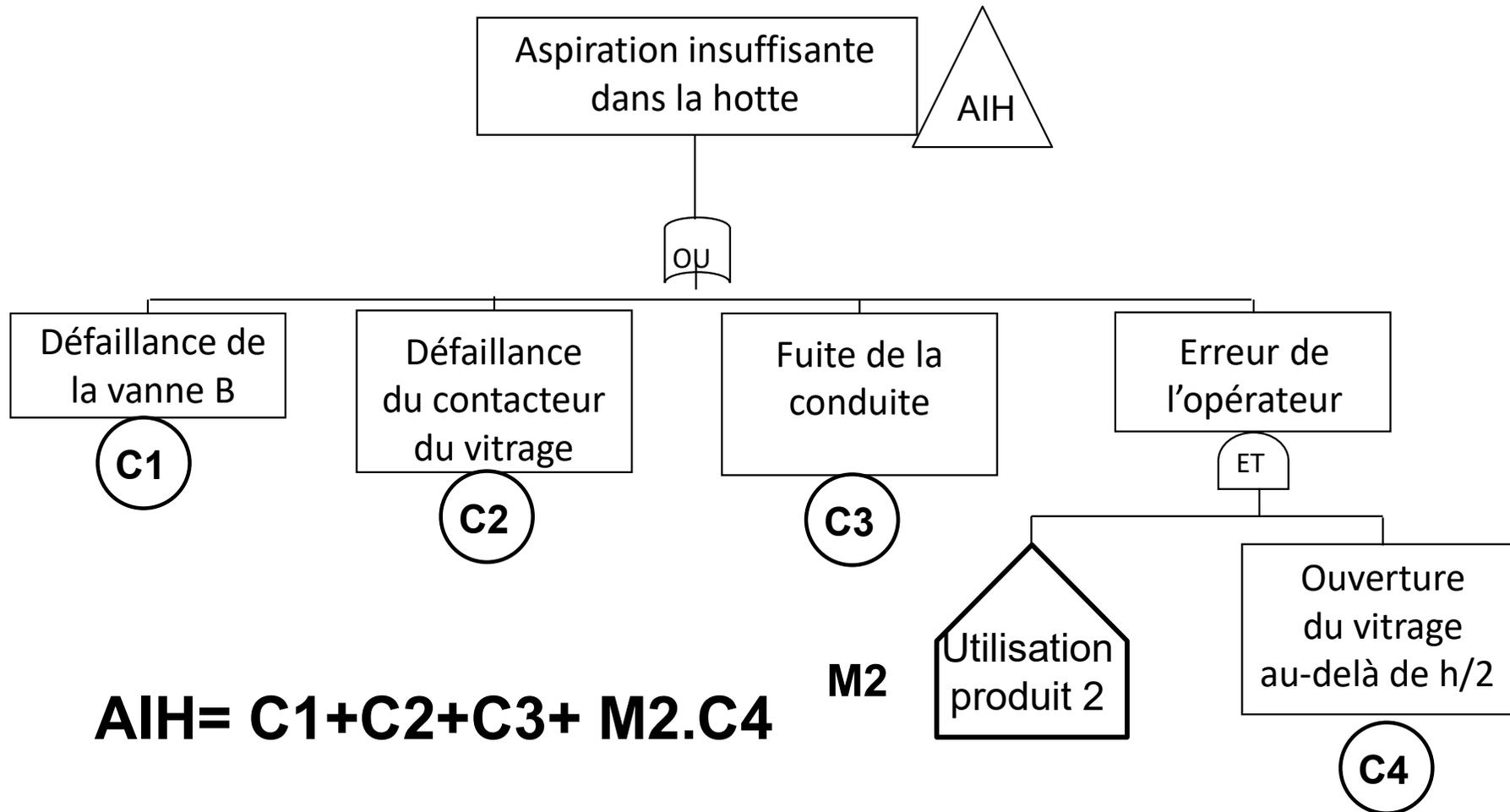
Réduire l'arbre

Conclusions





$$DVI = B1 + B2 + B3 + M1 \cdot (B4 + B5 + B6 + B7)$$



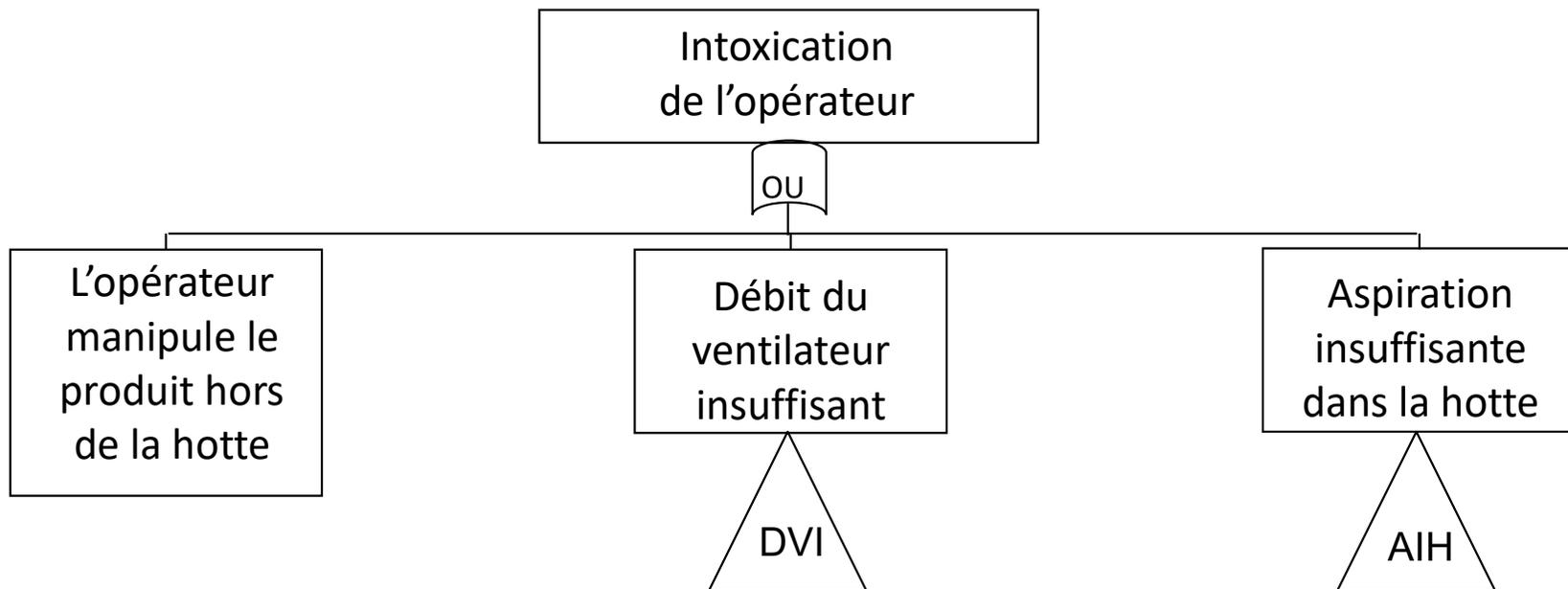
$$AIH = C1 + C2 + C3 + M2.C4$$

M2

$$IO = A1 + A2 + A3 + DVI + AIH$$

$$DVI = B1 + B2 + B3 + M1 \cdot (B4 + B5 + B6 + B7)$$

$$AIH = C1 + C2 + C3 + M2 \cdot C4$$



Détecteur de toxicité pour :
Opérations

Débitmètres avec alarme pour :

- ventilateur
- hottes

Commentaires

On constate que le risque d'intoxication de l'opérateur dépasse celui des défauts de fonctionnement de l'extracteur et fait intervenir le comportement de l'opérateur (et de ce qui lui arrive) ainsi que les défauts des hottes.

On voit que les causes identifiées dans l'AMDEC apparaissent mais on perçoit aussi, comme précisé dans le cours, que l'AMDEC est peu adaptée pour faire surgir les aspects procédures, l'interaction homme machine.

Le dépouillement de l'arbre fait apparaître beaucoup de coupes d'ordre 1. Pour réduire le risque, il faut ajouter des équipements de sécurité pour empêcher l'intoxication de l'opérateur :

- s'il opère hors des zones de dilution (hottes)
- Si l'extracteur dysfonctionnent
- Si les hottes dysfonctionnent

Dans le premier cas, détecteur avec alarme (peut-être vers poste de contrôle), dans le second débitmètre avec alarme (renvoi au poste ?) et idem pour les hottes.

Donc pas forcément de redondance. L'accident résiduel est présenté ci-après.

**Chaque recommandation
augmente l'ordre des coupes**

