

**Examen final**

Evaluer une situation-maîtriser le risque-améliorer

**Exercice 1 :** Déroulé d'un accident\_« Un réviseur de citernes et un apprenti sont chargés de repeindre l'intérieur de la cuve de rétention d'un réservoir à mazout d'une entreprise cliente. Debout dans la cuve de 1,6 mètre de profondeur, le réviseur de citernes a mélangé les différents composants d'un enduit à base de solvants dans un seau. Pour ce faire, il a utilisé un malaxeur fixé à une perceuse. Les vapeurs de solvants ont créé une atmosphère explosible dans la cuve, qui n'est pas ventilée. De surcroît, la victime a utilisé un outil inadéquat (perceuse), non protégé contre le risque d'explosion, qui s'est révélé être la source d'ignition des vapeurs. Tandis que l'apprenti est en train de retourner vers le véhicule, un souffle le projette au sol. Il réalise alors qu'une explosion s'est produite et accourt pour venir en aide à son collègue, dont les vêtements sont en feu, tout comme l'enduit appliqué sur les parois. Grâce au poste d'extinction situé à proximité, il parvient à éteindre l'incendie et à faire sortir son collègue de la cuve. Grièvement blessé, ce dernier décède le lendemain. L'auxiliaire est brûlé au niveau du cou, mais bénéficiera de soins ambulatoires. »

Comme une personne est décédée, il y a une enquête judiciaire ? A votre avis :

- 1.1 Comment seront réparties les responsabilités (justifiez) ?
- 1.2 Quelle organisation aurait-il fallu mettre en place ?

**Exercice 2 :** on revient sur l'accident de la raffinerie de Feysin (BLEVE d'une sphère de GPL fr 1966). Cette sphère est équipée d'une ligne d'échantillonnage et de purge en dessous (Annexe 1) avec plusieurs vannes manuelles. Elle est aussi équipée d'une ligne d'alimentation (phase liquide) et d'une ligne d'extraction (phase gazeuse) munies de vannes automatiques situées au sommet. Une soupape à ressort destinée à évacuer l'excès de pression est également montée sur le dessus (système de sécurité). La sphère contient du propane à l'état liquide sous 10 bars à température ambiante (remplie à 50%). La purge et l'échantillonnage sont des opérations manuelles qui se pratiquent une fois par semaine. Le propane est inflammable.

- 2.1 Où sont situées les zones ATEX potentielles ? quelle est leur nature (0, 1, 2 ?) Justifier et localisez-les sur le dessin. Pour cela, on peut s'aider du tableau fourni dans l'annexe où calculer les durées de présence de l'ATEX en fonction des probabilités de fuite (une purge/échantillonnage = 15 mn)
- 2.2 Quel type d'équipement pourrait-on utiliser dans chaque zone (Marquage « Ex... ») ? Et qu'en est-il de l'accès des opérateurs dans ces zones ?
- 2.3 Il s'agit maintenant d'estimer l'étendue de chaque zone ATEX :
  - 2.3.1 Calculer d'abord le débit massique aux points de fuite (pour les fuites sur les composants, prendre 1 % de la section transversale du tuyau comme estimation de la surface du point de fuite).
  - 2.3.2 Calculer la longueur de la zone d'inflammabilité (vitesse du vent de 10 m/s).
- 2.4 Conclusion ?

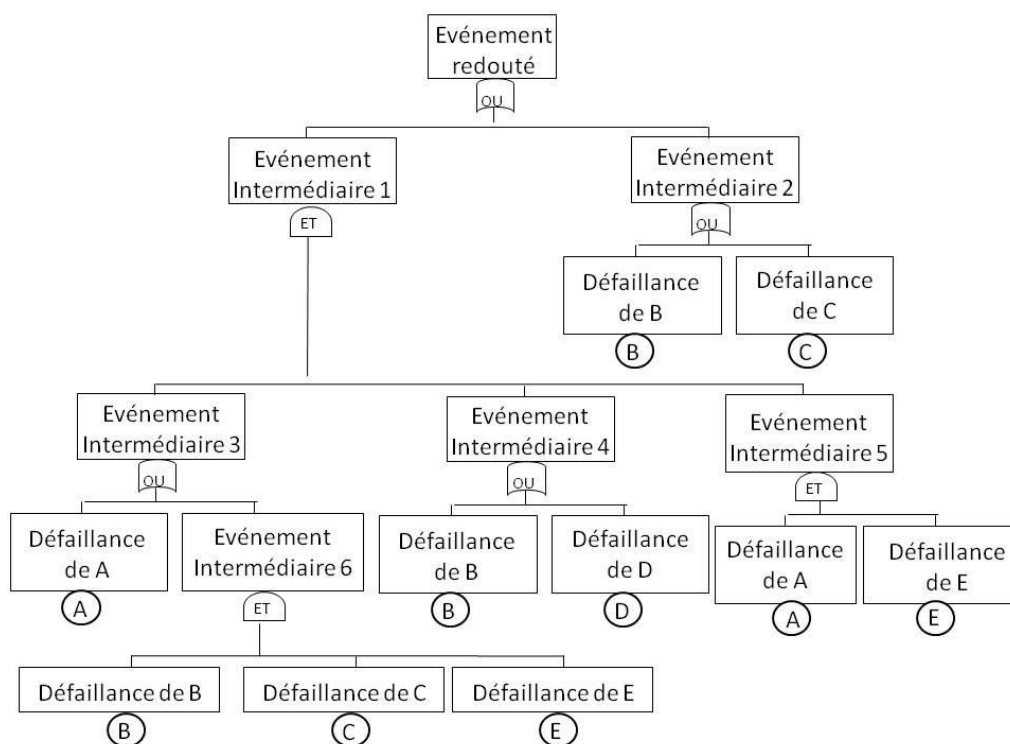
**Exercice 3 :** La soupape de sécurité à ressort est un dispositif très important (annexe 2). Il est prévu de procéder à l'analyse AMDEC puis d'estimer la valeur NC.

- 3.1 Identifier les états de fonctionnement.
- 3.2 Identifier les modes de défaillance possibles.
- 3.3 Réaliser l'AMDEC (tableau : état de fonctionnement, modes de défaillances, causes, conséquences).
- 3.4 Déterminer le niveau de confiance de ce dispositif (justifier).
- 3.5 Conclusion ?

**Exercice 4 :** Il est proposé d'étudier votre « risque professionnel »...d'étudiant. Être étudiant est donc l'« unité de travail » (UT) à considérer :

- 4.1 Identifier les situations de travail (tableau : situations, description, remarques).
- 4.2 Faire l'étude du poste de travail (tableau : risques, situations, dommages possibles, F, G, NR, préventions en place, NM, NRR, P)
- 4.3 Identifier les pistes d'amélioration (ajouter une colonne « préconisations »)

**Exercice 5 :**



- 5.1 Faire la réduction de l'équation booléenne de l'arbre
- 5.2 Sur quel(s) événement(s) agiriez-vous pour empêcher l'apparition de l'événement redouté ?
- 5.3 On pose :  $P(A) = 10^{-2}$ ,  $P(B) = 10^{-4}$ ,  $P(C) = 10^{-6}$ ,  $P(D) = 10^{-3}$ ,  $P(E) = 10^{-2}$ 
  - 5.3.1 Quelle est la probabilité de l'événement redouté ?
  - 5.3.2 Sur quel(s) événement(s) agiriez-vous pour réduire d'un facteur 100 l'apparition de l'événement redouté ?

## Annexe 1 : la sphère de Feysin

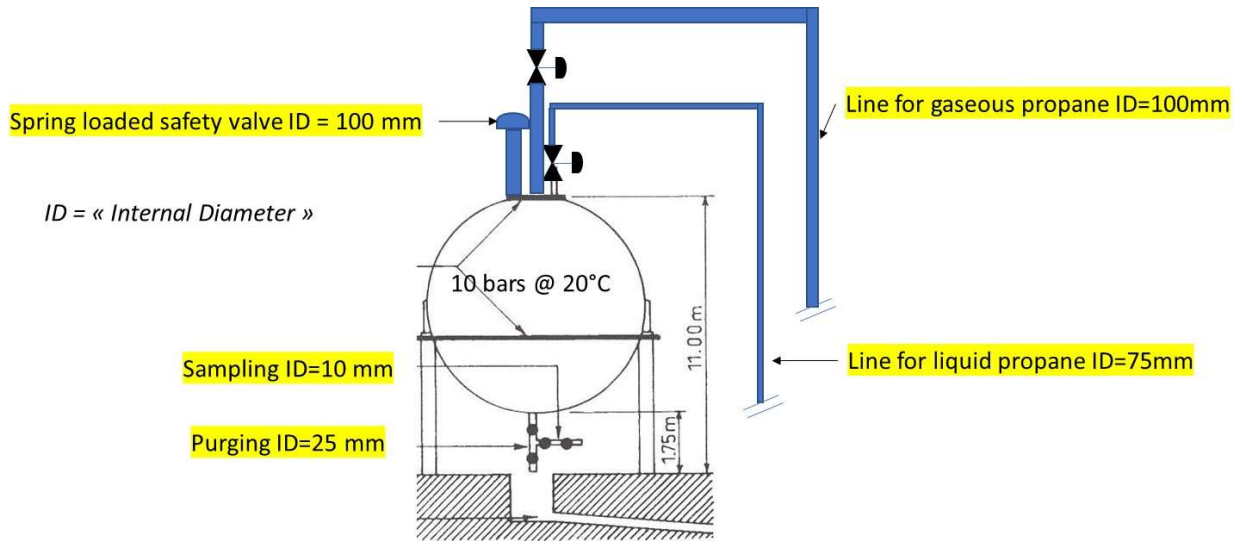


Table D.1 – Zones for grade of release and effectiveness of ventilation

| Grade of release       | Effectiveness of Ventilation           |                                        |                                 |                 |                              |                 |                                     |
|------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
|                        | High Dilution                          |                                        |                                 | Medium Dilution |                              |                 | Low Dilution                        |
|                        | Availability of ventilation            |                                        |                                 |                 |                              |                 |                                     |
|                        | Good                                   | Fair                                   | Poor                            | Good            | Fair                         | Poor            | Good, fair or poor                  |
| Continuous             | Non-hazardous (Zone 0 NE) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 0 NE) <sup>a</sup>        | Zone 1 (Zone 0 NE) <sup>a</sup> | Zone 0          | Zone 0 + Zone 2 <sup>c</sup> | Zone 0 + Zone 1 | Zone 0                              |
| Primary                | Non-hazardous (Zone 1 NE) <sup>a</sup> | Zone 2 (Zone 1 NE) <sup>a</sup>        | Zone 2 (Zone 1 NE) <sup>a</sup> | Zone 1          | Zone 1 + Zone 2              | Zone 1 + Zone 2 | Zone 1 or zone 0 <sup>c</sup>       |
| Secondary <sup>b</sup> | Non-hazardous (Zone 2 NE) <sup>a</sup> | Non-hazardous (Zone 2 NE) <sup>a</sup> | Zone 2                          | Zone 2          | Zone 2                       | Zone 2          | Zone 1 and even Zone 0 <sup>d</sup> |

<sup>a</sup> Zone 0 NE, 1 NE or 2 NE indicates a theoretical zone which would be of negligible extent under normal conditions.

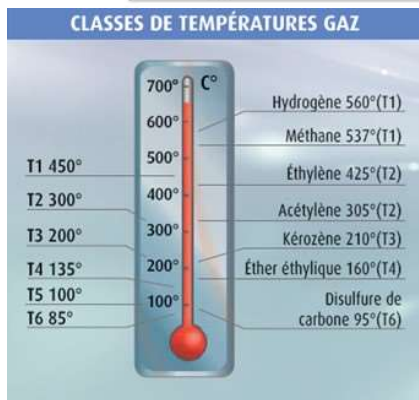
<sup>b</sup> The Zone 2 area created by a secondary grade of release may exceed that attributable to a primary or continuous grade of release; in this case, the greater distance should be taken.

<sup>c</sup> Zone 1 is not needed here. I.e. small Zone 0 is in the area where the release is not controlled by the ventilation and larger Zone2 for when ventilation fails.

<sup>d</sup> Will be Zone 0 if the ventilation is so weak and the release is such that in practice an explosive gas atmosphere exists virtually continuously (i.e. approaching a 'no ventilation' condition).

<sup>+</sup> signifies 'surrounded by'.

Availability of ventilation in naturally ventilated enclosed spaces is commonly not considered as good.

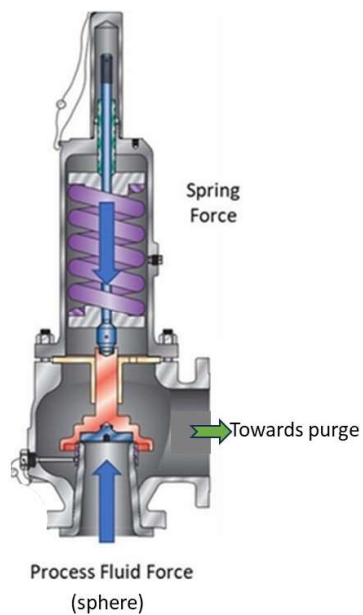


Propane (vapeur at ambient conditions)

- Molar mass : 44 g/mole
- Liq specific mass : 500 kg/m<sup>3</sup>
- LEL: 2%
- TAI: 470 °C
- Groupe IIA

LEL : limite inférieure d'inflammabilité et TAI : Température d'auto inflammation

## Annexe 2 : la soupape de sécurité



| Safe failure rate(SFF) | Tolerance for hardware anomalies |      |      |
|------------------------|----------------------------------|------|------|
|                        | 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 |

Lorsque la pression interne dans la sphère devient trop forte, la force appliquée vers le haut sur le piston (pièce orange-rouge) excède celle exercée vers le bas par le ressort (précomprimé en usine). Du gaz s'échappe par le côté ce qui permet de faire baisser la pression dans la sphère. La force appliquée par le fluide baisse et le piston revient à sa position initiale dès que la force exercée par le ressort dépasse à nouveau celle produite par le gaz. Et la soupape est à nouveau étanche.

**Exercice 1 :**

1.1-Deux entreprises sont concernées. Celle réalisant l'entretien de la cuve de rétention et celle qui possède la cuve de rétention et la cuve à mazout associée. La présence de l'extincteur est probablement à rapprocher de la présence de cette cuve et non à la réalisation des travaux. On parle d'un réviseur de citerne ce qui suppose une personne formée à ce type d'opération et d'un apprenti, donc en formation, mais néanmoins salarié. Il n'est pas stagiaire et peut donc être exposé au risque professionnel à condition d'avoir reçu une formation adéquate aux activités dangereuses. On remarquera que cet apprenti ne semble pas réaliser l'enduit et reste en dehors de la cuve de rétention. Il n'est donc effectivement pas exposé.

Le réviseur décide donc il y aura une enquête judiciaire et un jugement.

On peut comprendre à la lecture du texte que le travail demandé exposait le personnel en charge à un risque de chute en hauteur, à un risque d'atmosphère toxique (confinement), à un risque d'explosion et d'incendie et à des risques mécaniques (outils).

La société commanditaire aurait dû intégrer le risque explosion/incendie ne serait-ce que parce que du mazout est utilisé et le risque lié au confinement compte tenu de la configuration. Ces situations de risque sont induites par l'installation du client. La société réalisatrice ne pouvait pas ignorer que le produit à utiliser était inflammable et que la situation de travail soumettait son personnel aux risques évoqués. On notera que le réviseur, formé, aurait dû ne pas utiliser son mélangeur de fortune et à défaut d'une alternative aurait pu exercer son droit de retrait.

Donc les deux entreprises devraient faire l'objet de poursuites avec sans doute un taux de responsabilité plus grand pour l'entreprise de rénovation.

1.2-Pour éviter cela, il aurait fallu préparer en amont des travaux un plan de prévention recensant les risques évoqués ci-dessus et les mesures à mettre en place qui auraient inclus au minimum une ventilation forcée de la cuve. Puis une surveillance des opérations par un responsable aurait dû être mise en place pendant les travaux de façon à s'assurer de la mise en œuvre des mesures de sécurité.

**Exercice 2 :**

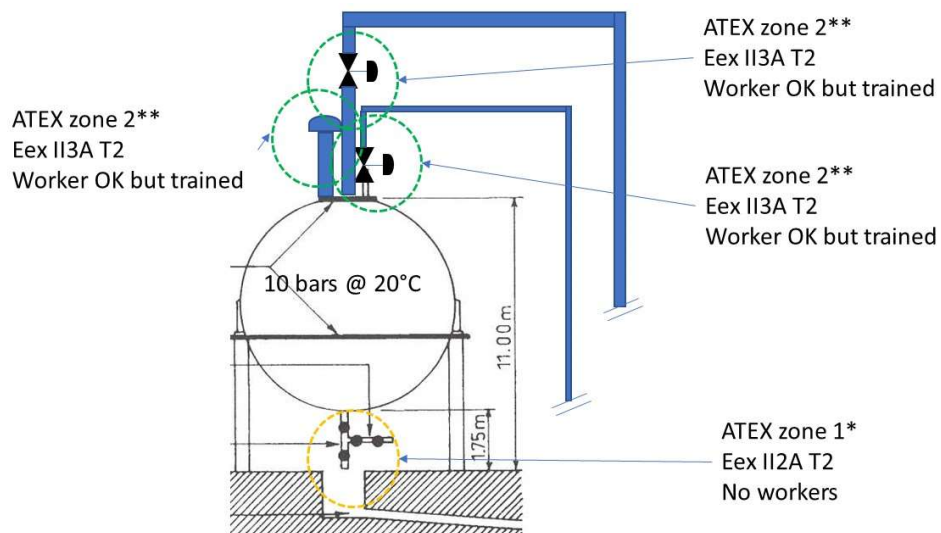
2.1- Aux points de fuite potentiels situés sur les composants actifs et l'échantillonnage/purge (les situations accidentelles comme la rupture, le mauvais montage ne sont pas prises en compte dans la réglementation ATEX)

2.2- Nous avons deux méthodes pour zoner, soit en utilisant le tableau D1 de la norme, soit en utilisant les informations données sur les opérations et la probabilité de fuite. Voir dessin.

2.3.1-Nous utilisons les formules du cours. Le propane est de la vapeur à  $P_{atm}$  et liquide dans la sphère. C'est donc un écoulement flashant avec un coefficient de débit égal à 0,3. La pression est de 10 bars et la densité de 500 kg/m<sup>3</sup> pour le liquide et de 18 kg/m<sup>3</sup> pour la phase gazeuse (loi des gaz parfaite à 293 K). Pour les fuites en phase gazeuse, le coefficient d'écoulement est de 0,6. Les résultats sont dans le tableau. Attention aux unités avant de calculer...

2.3.2-L'équation de dispersion est utilisée avec une vitesse du vent de 10 m/s. Le débit volumétrique est calculé au CNTP de propane en utilisant ensuite une masse spécifique gaz de 1,8 kg/m<sup>3</sup>. Les données sont également dans le tableau.

2.4-Les zones 2 en haut peuvent certainement être fusionnées en une grande Z2 unique de rayon de 10 m. La zone 1 peut être très grande et atteindre les autres installations. Le personnel ne devrait pas être présent dans cette zone ce qui pourrait être handicapant. Il est suggéré de réduire significativement la taille de cette zone en réduisant le diamètre (notamment de la purge) et d'opérer l'étape finale (ouverture de la vanne de purge) à distance.



\*Table D1, medium dilution there, primary source for purging/sampling and secondary for the leakages.

With information and leakage probabilities: 2 x 50 sampling purging possibly 15 mm each so 20 to 30 hours a year, 4 leaking valves with a frequency of  $4 \times 10^{-3}/y$  and 8000 hours/y giving 32 hours more. 60 hours so zone 1.

\*\*Table D1, medium dilution there, secondary source for the leakages.

With leakage probabilities: 1 leaking component with a frequency of  $1 \times 10^{-3}/y$  and 8000 hours/y giving 8 hours more.

| Component               | leak area (mm) | leak cross section (mm <sup>2</sup> ) | Status  | mass flowrate kg/s | volume flowrate CNTP (m <sup>3</sup> /s) | sigma (m) | Distance to LEL |
|-------------------------|----------------|---------------------------------------|---------|--------------------|------------------------------------------|-----------|-----------------|
| sampling op             | 10             | 79                                    | liquid  | 1,67               | 0,92                                     | 1,21      | 24              |
| purging op              | 25             | 491                                   | liquid  | 10,41              | 5,77                                     | 3,03      | 66              |
| leak sampling           | 1              | 1                                     | liquid  | 0,02               | 0,01                                     | 0,12      | 2               |
| leak purging            | 2,5            | 5                                     | liquid  | 0,10               | 0,06                                     | 0,30      | 5               |
| leak lig flow valve     | 7,5            | 44                                    | liquid  | 0,94               | 0,52                                     | 0,91      | 17              |
| leak gaseous flow valve | 10             | 79                                    | gaseous | 0,63               | 0,35                                     | 0,75      | 14              |
| leak safety valve       | 10             | 79                                    | gaseous | 0,63               | 0,35                                     | 0,75      | 14              |

### Exercice 3 : AMDEC

Composant : Soupape de sécurité

3.1-Fonctions : ouvrir en cas de surpression, fermer hermétiquement dans d'autres situations

3.2-Mots-guides : Refuse d'ouvrir, refuse de fermer, ouvre et ferme partiellement, ouvre intempestivement, fuit à travers, fuit à l'extérieur.

« Fermeture intempestive » n'a pas été retenu bien qu'il ait pu être envisagé. Le scénario serait celui d'un bouchon glace/hydrate se formant à l'intérieur du corps ce qui nécessite des conditions très spécifiques, et notamment un débit assez faible donc un danger limité.

Gravité : 2 sécurité pression non garantie, 1 autre

### 3.3

| Component    | Function             | Failure mode    | Causes                      | Effects                    | G | detection    | actions                                       | RQ                          |
|--------------|----------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------|---|--------------|-----------------------------------------------|-----------------------------|
| Safety valve | Release the pressure | Refuses to open | Mechanical blockage         | Internal pressure increase | 2 | Control room | Purge by gaseous phase to force cooling by eb | To be checked<br>Redundancy |
|              |                      |                 | Bad tuning of the set point | Same                       | 2 | same         | same                                          | same                        |
|              |                      | Opens partially | Mechanical blockage         | Pressure too high          | 2 | Same         | Same                                          |                             |
|              |                      |                 | Ice/durt inside             | Same                       | 2 | Same         | Maintenance                                   |                             |
|              | Close                | Refuses         | Mechanical                  | Pressure                   | 1 |              |                                               |                             |

|  |       |                     |                          |                       |   |  |  |  |
|--|-------|---------------------|--------------------------|-----------------------|---|--|--|--|
|  | tight | to close            | deformation              | decreases<br>Emptying |   |  |  |  |
|  |       |                     | Spring<br>broken         | Same                  | 1 |  |  |  |
|  |       |                     | Freezing                 | same                  | 1 |  |  |  |
|  |       | Closes<br>partially | Mechanical<br>blockage   | same                  | 1 |  |  |  |
|  |       | Opens<br>untimely   | Broken<br>spring         | same                  | 1 |  |  |  |
|  |       | Leaks<br>through    | Fatigue of<br>the spring | same                  | 1 |  |  |  |
|  |       | Leaks<br>outside    | cycling                  | same                  | 1 |  |  |  |

3.4-Niveau SIL = NC. Nous avons 11 modes de défaillance et 8 sont considérés comme sûrs, de sorte que  $SSF = 7 / 11 = 63 \%$ . Il s'agit d'une barrière technique de type A. Pas de redondance, donc NC=2. Avec les « clôtures intempestives », il aurait été inférieur à 60 %.

3.5-c'est un bon système de sécurité mais proche de la limite NC1. Faut-il adopter un second système ?

**Exercice 4** : risque professionnel

#### 4.1-Unité de travail « étudiant à UTC »

| Situation de travail                  | Quoi, quand, combien, avec<br>quoi/qui, comment                                                                                    | remarques                                                                                                                                    |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Commuter entre domicile et université | Véhicule, 2 fois/jour, collectif, marche à pied                                                                                    | Sur voie publique plutôt aux heures de pointe                                                                                                |
| Suivre les cours et TD                | 6 heures par jour, 4 à 6 matières, position assise                                                                                 | Certaines matières sont très exigeantes et nécessitent concentration                                                                         |
| Se déplacer d'une salle à l'autre     | 6/10 fois par jour, escaliers-couloirs                                                                                             | Usure du bâtiment dont escalier et éclairage                                                                                                 |
| Faire les évaluations                 | 1 fois par semaine, révisions la veille                                                                                            | Travail en horaire décalés (week end et soir)                                                                                                |
| Réaliser les projets                  | En groupe de 4, une seule note, calculs, rédaction, présentation en public. Travail sur ordinateur                                 | Souvent en horaire décalés pour se réunir et travailler, nécessité d'organiser la coopération et d'accorder les rythmes                      |
| Faire les TP                          | Par 2. 1 fois/semaine. Réalisation des dosages, des branchements, des mesures, prise de notes et rédaction d'un compte rendu noté. | Equipements et produits de laboratoire pas forcément très bien entretenus. Même contraintes que pour le projet pour le CR mais moins fortes. |
| Organiser sa scolarité                | Inscriptions, vérification de la validation des compétences, recherche de stage. Quelques fois par an.                             | Nombreux contacts différents à prendre. Se justifier, plaider parfois. Difficultés à comprendre les procédures.                              |

## 4.2 et 4.3- EvRP

| Risques    | Sit. Trav.             | Dommages                                     | F | G      | NR     | Mes. Exist.                                    | NM | NRR      | P | Mesures à prendre                               | Quand                         |
|------------|------------------------|----------------------------------------------|---|--------|--------|------------------------------------------------|----|----------|---|-------------------------------------------------|-------------------------------|
| Routiers   | Trajets                | Contusions, entorse si chute                 | 4 | 2      | 8      | /                                              | 4  | 32       | 1 | Conduite défensive                              | Formation à la rentrée        |
| Chutes     | Trajets Dans l'univ.   | Contusions                                   | 5 | 1      | 5      | /                                              | 4  | 20       | 1 | Revoir l'éclairage et sécurité les voies        | Immédiat                      |
| Bruit      | Trajets TP             | Fatigue                                      | 4 | 1      | 4      | /                                              | 4  | 16       | 2 | Choisir des horaires moins chargés              | Tel quel                      |
| Complexité | TP Evaluations Projets | Fatigue Irritabilité Anxiété                 | 3 | 2 Ou 3 | 6 Ou 9 | Rythme adapté, organisation connue             | 2  | 12 Ou 18 | 2 | Prévoir des espaces de travail ?                | Reconstruction BF...          |
| Emotions   | TP Projets Scolarité   | Fatigue Irritabilité Anxiété                 | 3 | 2      | 6      | Formatage des travaux et guidage par scolarité | 2  | 12       | 2 | Tutorat ?                                       |                               |
| Horaires   | TP Projet Evaluations  | Fatigue Troubles du rythme et de l'attention | 3 | 2      | 6      | Volume de travail adapté et organisé           | 2  | 12       | 2 | Surveiller l'absence de dérive                  | Chaque semestre par scolarité |
| Chimique   | TP                     | Irritation                                   | 3 | 1      | 3      | Blouse, surveillance et EPI                    | 1  | 12       | 2 |                                                 | Que faire de plus ?           |
| Ecrans     | Projets évaluations    | Irrit. Occulaire Fatigue                     | 3 | 1      | 3      |                                                | 4  | 12       | 2 | Peut-être plus de travail sur d'autres supports |                               |

### Exercice 5 :

5.1-

$$ER = EI1 + EI2$$

$$EI2 = B + C$$

$$EI1 = EI3 \cdot EI4 \cdot EI5$$

$$EI4 = B + D$$

$$EI5 = A \cdot E$$

$$EI3 = A + EI6$$

$$EI6 = B \cdot C \cdot E$$

$$ER = B + C + EI3 \cdot EI4 \cdot EI5 = B + C + EI3 \cdot (B + D) \cdot EI5 = B + C + EI3 \cdot B \cdot EI5 + EI3 \cdot D \cdot EI5 = B + C + EI3 \cdot D \cdot EI5$$

$$ER = B + C + (A + EI6) \cdot D \cdot A \cdot E = B + C + A \cdot D \cdot A \cdot E + EI6 \cdot D \cdot A \cdot E = B + C + A \cdot D \cdot E + EI6 \cdot D \cdot A \cdot E$$

$$ER = B + C + A \cdot D \cdot E$$

5.2- 2 coupes d'ordre 1, une coupe d'ordre 3. Il faut en priorité limiter la survenue de B et C (EI2)

$$5.3.1- P(ER) \approx 10^{-4} + 10^{-6} + 10^{-2} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} \approx 10^{-4}$$

5.3.2- en réduisant d'un facteur 100,  $P(B)$  , on parviendrait à réduire  $P(ER)$  de ce même facteur.