

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

Maitrise des Risques

TD 2 : risques-données

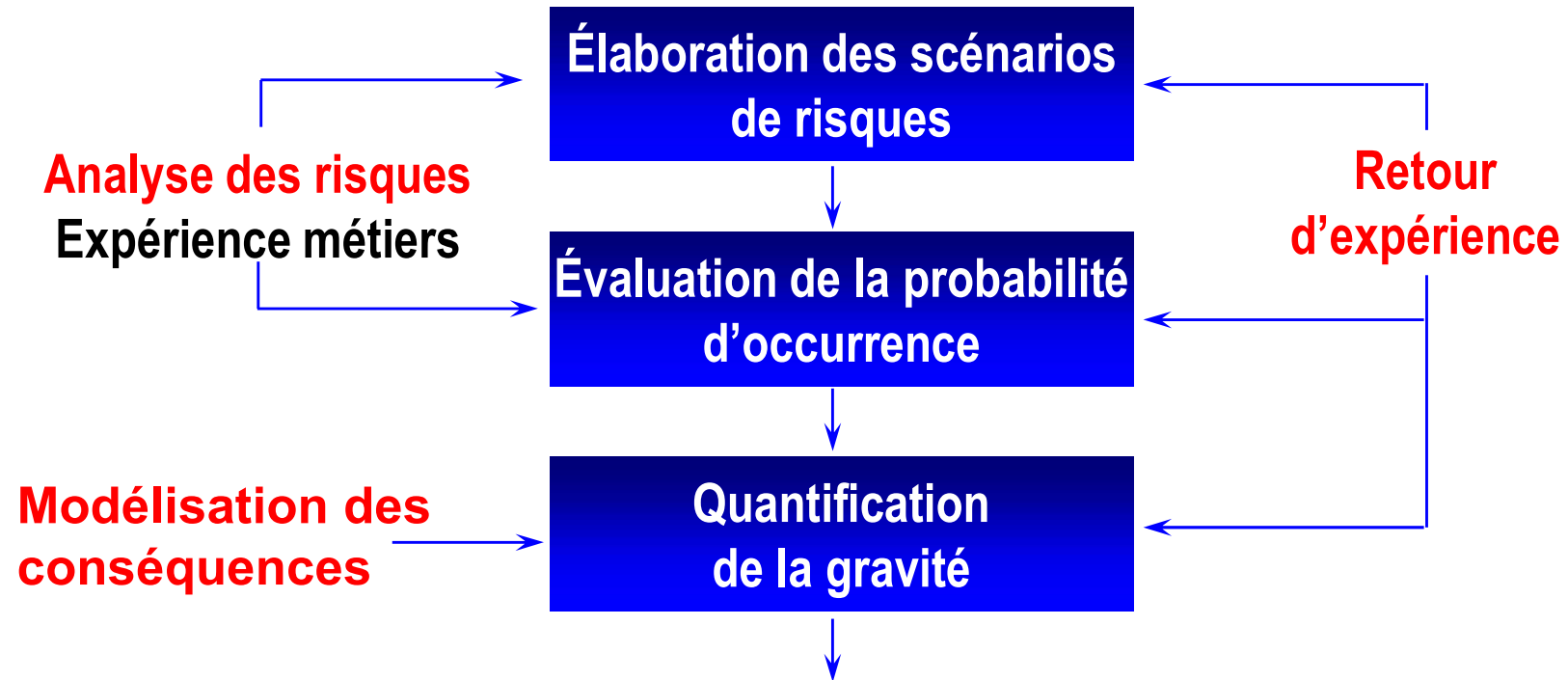
UV TS01

Resp : christophe.proust@utc.fr

donnons un sens à l'innovation



Alimenter la réflexion



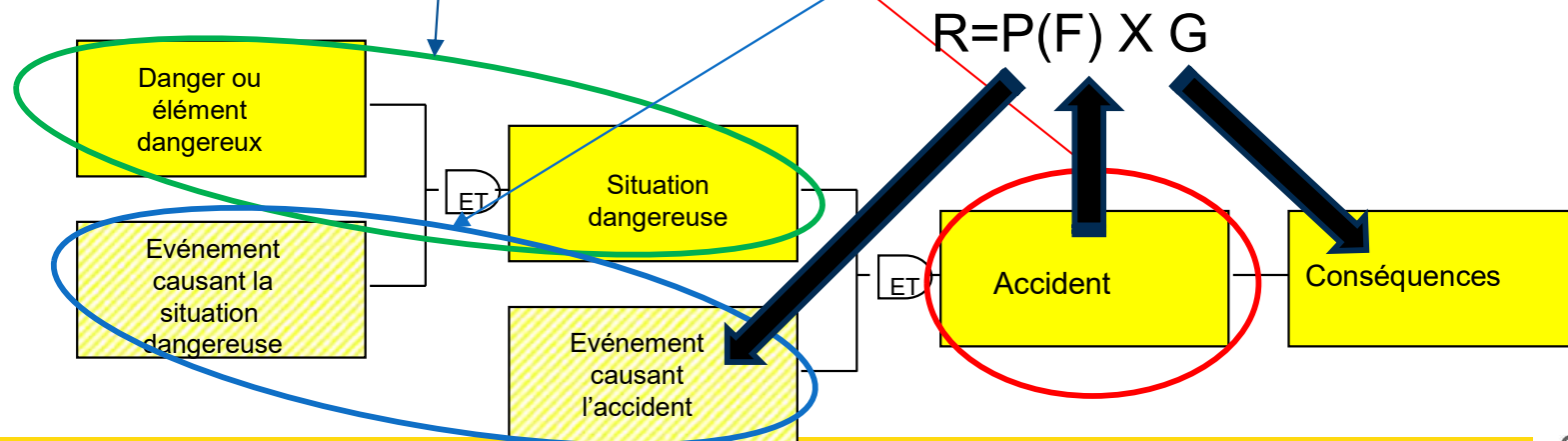
Pourquoi

Cet exercice a pour objectif d'aider à cerner mieux la notion de « risques ». A nouveau le choix de la méthode pour cela s'inspire de techniques utilisées dans le champ de la maîtrise du risque. La diapo précédente exprime cela en rappelant que des données réelles, du « retour d'expérience » (familièrement « REX ») sont nécessaires pour identifier les scénarios qui conduisent à l'accident, pour estimer la probabilité (des différentes causes immédiates de l'accident) mais aussi souvent pour évaluer la gravité (descriptifs d'accidents).

L'exercice est centré sur l'aspect recherche des causes immédiates et les aspects probabilité ET gravité. Des données génériques sont recherchées, contextualisées et utilisées.

Une méthode possible

1. Définir la question : « Quels sont les risques à ... »
2. Cerner l'activité associée, décrire le système.
3. Extraire les « potentiels de danger »
4. Définir les accidents possibles à partir de 2 et 3 (les types conséquences sont assez évidentes alors)
5. Identifier les causes immédiates (« événement causant l'accident »)
6. Quantifier la fréquence de cette (ces) causes et les conséquences de l'accident induit à partir du REX



Commentaires

On rappelle que toute activité humaine implique de côtoyer des éléments dangereux (un véhicule par exemple), de les utiliser (conduire) ce qui matérialise d'une certaine manière ce danger (se déplacer sur la route à une certaine vitesse en présence d'obstacles=situation dangereuse) qui deviendra réalité (l'accident) si et seulement si événement le déclenche (ex: inattention).

Les « potentiels de danger » sont les données qui permettent de cerner/décrire/imaginer les « éléments dangereux » et les « situations dangereuses » (le parcours, le véhicule, ...). On notera qu'ils font partie de la vie courante, normale. De ce fait, **en première analyse***, on les considère comme des acquis c'est-à-dire que ces éléments et situations sont toujours présents. De ce fait, dans le cadre de la description d'un accident, on s'intéresse prioritairement à la probabilité/fréquence d'apparition de l'événement déclencheur qui devient alors la dimension probabiliste P du « risque d'accident » R.

Classiquement les conséquences sont celle de l'accident considéré. Mais le fait d'avoir décrit précisément le scénario permet de bien caractériser l'accident.

*En **seconde analyse**, on peut inclure la probabilité de présence de l'événement qui cause la situation dangereuse pour obtenir une estimation plus juste (méthode des arbres).

« Modéliser » les risques

Préciser les scénarios (prob. et cons.) et REX

Rouler tous à l'hydrogène ?



Commentaires

...

Dans l'exercice de **modélisation des risques**, la question posée est connue mais ouverte « quels risques est-ce que je prends en tant qu'utilisateur à posséder un véhicule à hydrogène ? ». Le contexte s'impose de lui-même : le véhicule possède un moteur électrique alimenté par une pile à combustible à hydrogène (l'hydrogène est stocké dans deux réservoirs en composite sous 700 bar de 50 litres chacun contenant jusqu'à 10 kg d'hydrogène), le véhicule a un programme d'entretien, il doit être régulièrement rechargé en hydrogène dans des stations-services ravitaillées quasi quotidiennement en hydrogène gazeux et les bornes de recharge font également l'objet de programmes d'entretien. Les tubulures haute pression (véhicules et bornes) ont un diamètre interne de quelques mm. Le travail consiste à imaginer les accidents possibles, trouver les « événements causant chaque accident » puis quantifier la probabilité de ces événements ainsi que la gravité des accidents induits. Le but ultime est de décider si le risque est acceptable pour moi. Idéalement, il faudrait comparer avec le risque que je prends actuellement avec un véhicule thermique. Donc on ne s'intéresse qu'au surcroît de risque qu'apporte l'hydrogène dans la vie du véhicule.

On rappelle qu'en matière d'étude de risques, on considère que le « procédé », s'il est sur le marché, est conforme aux standards de qualité et de sécurité. On ne considère (généralement*) pas la malfaçon ou le mauvais dimensionnement comme un « événement causant l'accident ».

*sauf accidents très peu probables et potentiellement graves (risques majeurs) ou travail sur prototype.

Qu'est ce que cela implique ?

- Activités et événements associés :
 - Se déplacer/transporter sur la route avec d'autres véhicules
 - Faire le plein soit même (2 fois/mois)
 - Faire l'entretien 1 fois par an
 - Stationner (la plupart du temps...) dans le garage/parking
 - Accident possible
 - Panne possible
 - Incendie possible
 -

Potentiels de dangers....

- Dangers liés aux produits/procédés :
 - Gaz très inflammable et très réactif (s'enflamme facilement et explose violemment).
 - Gaz sous pression (favorise les fuites puissantes et les éclatements)
 - Réservoir en plastique sensible au choc
 - Beaucoup de produits combustibles dans un véhicule
 - Autres véhicules sur la route

Que peut-il se passer ?

- Risques associés à ces activités et événements :

1. Fuite d'hydrogène sur les organes de la voiture => causes possibles :
 - Maintenance du véhicule mal faite (serrage insuffisant des raccords,...)
 - Suite à un choc suffisant pour déformer le bloc moteur et les canalisations internes (choc modéré)
 - Panne due à l'usure, aux vibrations,
 - ...
2. Éclatement du réservoir => causes possibles :
 - Choc violent capable de très fortement déformer le véhicule
 - Incendie du véhicule qui fait fondre et affaiblit le réservoir
 - ...
3. Fuite d'hydrogène à la borne de remplissage => causes possibles :
 - Maintenance défectueuse
 - Erreur de branchement du pistolet
 - ..
4. Fuite à l'avitaillement de la station-service=> causes possibles :
 - Erreur de branchement des flexibles
 - ...
5. Fuite dans un garage où un parking souterrain :
 - Panne due à l'usure, aux vibrations,
 - Maintenance du véhicule mal faite

Que peut-il se passer ?

- Remarques:

- L'accident serait une **explosion** (éclatement du réservoir ou inflammation d'une ATEX d'hydrogène) ou un **feu**.
- En réalité on retient comme cause immédiate (« événement causant l'accident ») l'apparition d'une fuite pour ce qui concerne les explosions et feu d'hydrogène. Pourquoi? Parce qu'il y a obligatoirement une source d'inflammation assez proche dans toutes les configurations ce qui fait que cet événement (inflammation) est certain (fait partie des « éléments dangereux »). Donc risque de fuite=risque de feu et explosion d'hydrogène.
- Dans le cas d'une fuite à l'air libre, il se forme un jet très long et très étroit. Selon la position de la source d'amorçage il peut y avoir un petit boum (explosion) mais d'ampleur limitée. Cependant, un **feu torche** s'établira immédiatement qui pourra durer longtemps avec effets significatifs.
- Pour l'explosion du réservoir, la cause immédiate est une fragilisation fatale de l'enveloppe. J'ai appelé cela « éclatement » un peu par abus de langage car l'éclatement fait souvent référence aux effets de la détente du gaz (explosion au sens strict du terme).

Rouler tous à l'hydrogène ?

• Quantification des risques :

1. Fuite d'hydrogène sur les organes de la voiture :

➤ Conséquences :

- ❖ REX (Google Scholar-littérature scientifique): une fuite d'H₂ sous 3 mm donne une flamme longue de 10 m et large de 1 m à son extrémité. La température peut être nettement au-delà de 1000° C. La flamme est donc, mortelle pour ceux qui sont dans la flamme et éminemment capable de propager un incendie .
- ❖ Incendie généralisé probable du véhicule avec fort risque de décès car les passagers du véhicule concerné ne pourront pas sortir sans être dans la flamme. **Décès probable des passagers et propagation de l'incendie**

➤ Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX (ONISR): le **choc modéré** pourrait correspondre dans les statistiques aux accidents avec blessures. L'ONISR dénombre 200 000 accidents corporels/an dont environ la moitié en véhicule. Comme il y a en moyenne deux passagers cela correspond à 50 000 accidents de voiture. Avec 38 M de véhicules en circulation on trouve une fréquence de 0,001/an/véhicule. **La probabilité de cette cause du risque est donc de 0,001/an/véhicule.**
- ❖ REX (ARIA) : la technologie la plus proche est celle des véhicules GPL. La base ARIA a édité une analyse d'après laquelle entre 1997 et 2010 (13 ans), il a été observé 7 **fuites** sur le véhicule en usage (fatigue, vibrations, cyclages) pour un parc estimé à 100 000 véhicules environ soit une **fréquence de 10⁻⁵/an/véhicule.**
- ❖ Connaissances (ICSI) la probabilité qu'une procédure (de **maintenance**) échoue est de 1/100. Comme on compte 1 opération de **maintenance** par an et par véhicule, la probabilité de fuite associée est de **10⁻²/an.**
- ❖ Globalement, comme la fuite résulterait de l'un de ces événements, on peut estimer que la **probabilité de fuite sur organe** correspondrait à celui le plus fréquent soit de l'ordre de **10⁻²/an.**

2. ...

Rouler tous à l'hydrogène ?

- Quantification des risques :

- 1. ...

- 2. Eclatement des réservoirs:

- Conséquences :

- ❖ D'après la méthode apprise en cours (cf diapo suivante) car le REX est peu fourni. On calcule d'abord l'équivalent en kg de TNT de l'énergie de pression libérable par l'éclatement des deux réservoirs sachant que : $P_{rupt}=700 \times 10^5$ Pa (700 bars) et $V_{capacité}=0,1$ m³ (2 bouteilles de 50 l). Sachant que l'énergie spécifique de pression d'un kg de TNT est $W_{TNT}=4,6$ MJ/kg, on calcule une masse équivalente de TNT de $M_{eqTNT}=1,5$ kg. On choisit comme ordonnée le seuil des effets létaux comme référence (140 mbar, 0,14 bar) et on lit sur l'axe des abscisses la « distance réduite » correspondante= 10. C'est la distance recherchée R (où le niveau de surpression atteint 140 mbar) divisée par la racine cubique de la masse équivalente de TNT. On calcule alors que cette distance est $10 \times 1,5^{1/3}$ soit 11 m. Dans ce rayon on risque de tuer... Notons que d'autres effets vont se superposer comme la projection des fragments et la production d'une boule de feu sous l'action de la combustion de l'hydrogène libéré d'un coup. On pourrait calculer par exemple que cette boule de feu pourrait atteindre 10 à 15 m de diamètre.
 - ❖ On peut s'attendre à la **destruction complète du véhicule concerné et à des décès/ blessures graves pour les personnes à proximité.**

- Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX (sécurité routière): le **choc violent** pourrait correspondre dans les statistiques aux accidents mortels. La sécurité routière dénombre 3500 accidents routiers mortels/an soit environ 1500 véhicules accidentés correspondants (en moyenne deux passagers). Avec 38 M de véhicules en circulation on trouve une fréquence de 0,001/an/véhicule. **La probabilité de cette cause du risque est donc de 10^{-5} /an/véhicule.**
 - ❖ REX (Assureurs) : les assureurs dénombrent 40000 incendies de véhicules par an. Pour une flotte de 38 millions de véhicules, on trouve une **fréquence de 10^{-3} /an/véhicule.**
 - ❖ Globalement, comme l'éclatement résulterait de l'un de ces événements, on peut estimer que la **probabilité** correspondrait à celui le plus fréquent soit de l'ordre de **10^{-3} /an.**

- 3.

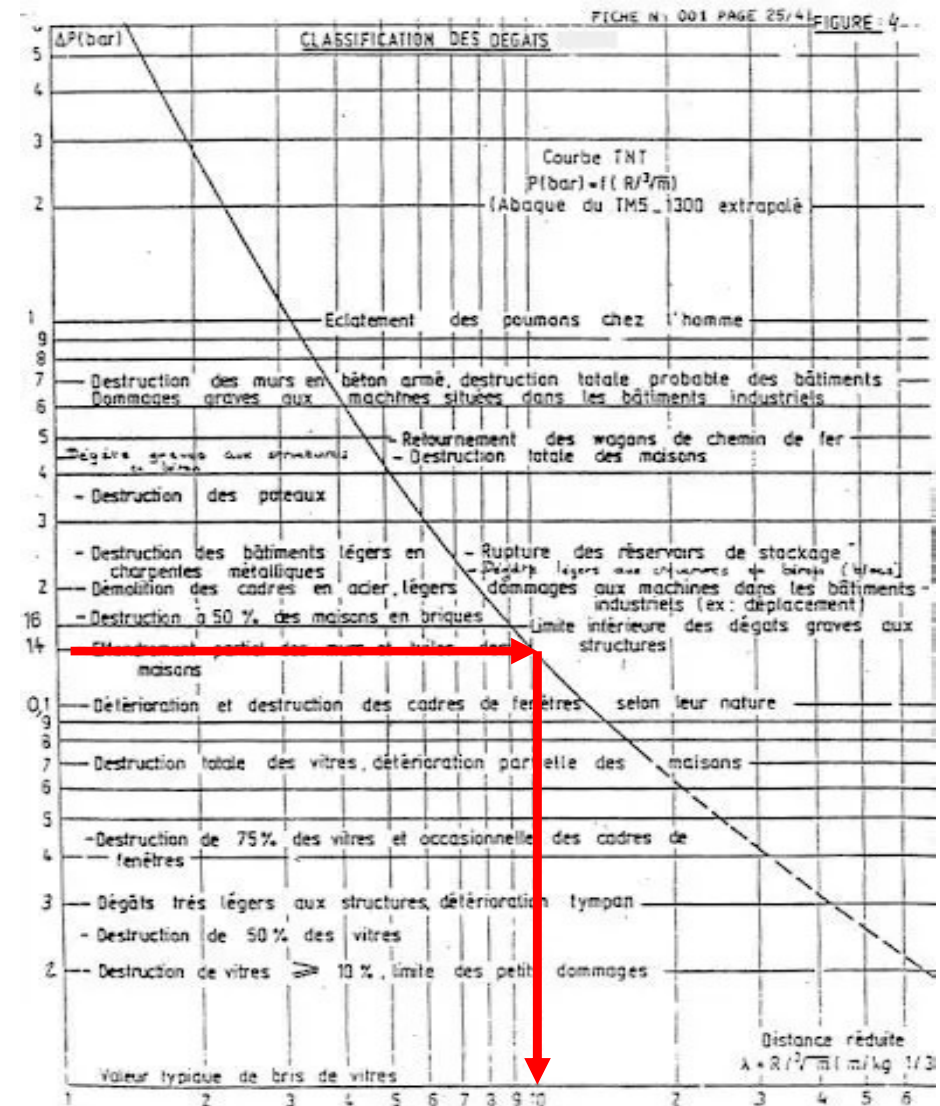
Les éclatements de capacités

- Causes :
 - affaiblissement mécanique (corrosion, chocs, incendie)
 - surpression
 - explosion interne
- => libération de l'énergie de pression (« Brode ») et application de l'abaque TNT.

$$M_{eqTNT} = \frac{P_{rupture} \cdot V_{capacité}}{W_{TNT}}$$

Tableau 1 – Seuils de surpressions réglementaires

Seuil de surpression (mbar)	Effets correspondants
200	Seuil des effets létaux significatifs délimitant la zone des dangers très graves pour la vie humaine et seuil des effets dominos
140	Seuil des effets létaux délimitant la zone des dangers graves pour la vie humaine et seuil des dégâts graves sur les structures
50	Seuil des effets irréversibles délimitant la zone des dangers significatifs pour la vie humaine



Rouler tous à l'hydrogène ?

- Quantification des risques :

1.

2. ...

3. Fuite d'hydrogène à la borne de remplissage :

- Conséquences :

- ❖ Comme pour le « risque de fuite sur organes ».
- ❖ Rappel : Diamètre intérieur des tubes 3 mm. Longueur de la flamme = 10 m. **Décès probable des occupants du véhicule et propagation de l'incendie.**

- Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX : la fréquence de **fuite de carburant à la borne lors de l'usage** serait de 4 x par an pour 38 M de véhicules soit une fréquence de 10^{-7} /an/véhicule. La probabilité d'inflammation est de l'ordre de 10%. soit une fréquence de **10^{-8} /an/véhicule.**
- ❖ REX : la fréquence de **fuite sur défaut de maintenance de la borne** serait 5 défauts/275 bornes H₂ (USA et Japon) en 10 ans. La probabilité d'inflammation est de l'ordre de 10%. soit une fréquence de **10^{-4} /an/véhicule.**
- ❖ Globalement la **probabilité de fuite (enflammée) sur borne** est de l'ordre de **10^{-4} /an.**

Rouler tous à l'hydrogène ?

- Quantification des risques :

1.

2. ...

3. ...

4. Fuite d'hydrogène à l'avitaillement:

- Conséquences :

- ❖ REX : une fuite d'H₂ sous 50 mm donne une flamme de 150 m, mortelles pour ceux qui sont dans la flamme, très haute température=> propagation d'incendie . La longueur de la flamme est proportionnelle au diamètre de la fuite. Dans le cas de l'avitaillement, le diamètre du flexible est de l'ordre de 40 à 50 mm.
- ❖ Longueur de la flamme = 100 à 150 m. **Décès et blessures probables à l'intérieur de la station (dont dans la boutique) et propagation de l'incendie**

- Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX : l'avitaillement dure une heure et est opéré deux fois par mois. La probabilité de branchement défectueux est de 1/100. La fréquence de **fuite lors de l'avitaillement** est de $2 \times 12 \times 1/100$ mais la probabilité que vous soyez dans la station à ce moment-là est très faible. On pourrait la calculer et elle serait de l'ordre de 10^{-7} . La probabilité d'exposition à cet événement est de l'ordre de **10^{-8} /an/véhicule**.

Rouler tous à l'hydrogène ?

- Quantification des risques :

1.

2. ...

3. ...

4. ...

5. Fuite d'hydrogène dans un garage ou un parking souterrain:

- Conséquences :

- ❖ REX : on a observé qu'une explosion d'hydrogène violente peut se produire dès que la concentration d'hydrogène dans l'air dépasse 10% en volume. Les explosions de gaz dans les habitations sont reconnues dévastatrices (cf par exemple l'explosion de la rue de Trévis le 21 juin 2023 à Paris).
- ❖ Une fuite de 10 kg d'hydrogène représente un volume détendu de 120 m³ (moi des gaz parfaits) capable donc de former 1200 m³ de mélange hautement explosible et inflammable. Largement de quoi remplir un garage où même une grande partie d'un parking d'immeuble. **Décès et blessures probables et démarrage possible d'un incendie.**

- Probabilité (fréquence) :

- ❖ La fuite se produirait sur un organe de la voiture suite à une panne par exemple où une maintenance hasardeuse. En reprenant les données du risque « fuite sur organe », on trouve une probabilité l'ordre de **10⁻²/an/véhicule.**

Conclusions

- Les données extraites par les uns et les autres peuvent être ou paraître contradictoires. Par manque de temps nous n'avons pas pu « creuser » ce point. Il est important de vérifier ses sources et de ne retenir que des valeurs brutes pas des estimations théoriques ou des interprétations. Et de faire des choix qu'il faut motiver (par exemple associer « choc modéré » à « accident avec blessures corporelles » et « fuites sur organes »).
- l'hydrogène ? Est-ce une bonne idée pour le véhicule de M. tout le monde à ce stade du développement? Le risque de décès dans un accident est de l'ordre de 10^{-4} /an/personne. Vous passez peu de temps dans une station-service (quelques heures par an sur plus de 10000 h de vie) soit une probabilité d'accident « hydrogène » dans la station très faible ($10/10000 \times 10^{-4} \Rightarrow 10^{-7}$ /an) négligeable pour vous-même si l'état réagirait mal à une explosion ou un feu détruisant une station). En revanche, les fuites ou les éclatements de réservoir lors d'un accident par exemple augmentent votre risque individuel de décès ou de blessures graves. De même le risque d'explosion dans un confinement avec de lourdes conséquences pour les tiers reste à prendre en compte. Il y a encore des progrès à faire donc...