

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE DE COMPIÈGNE

UTC

# Maitrise des Risques

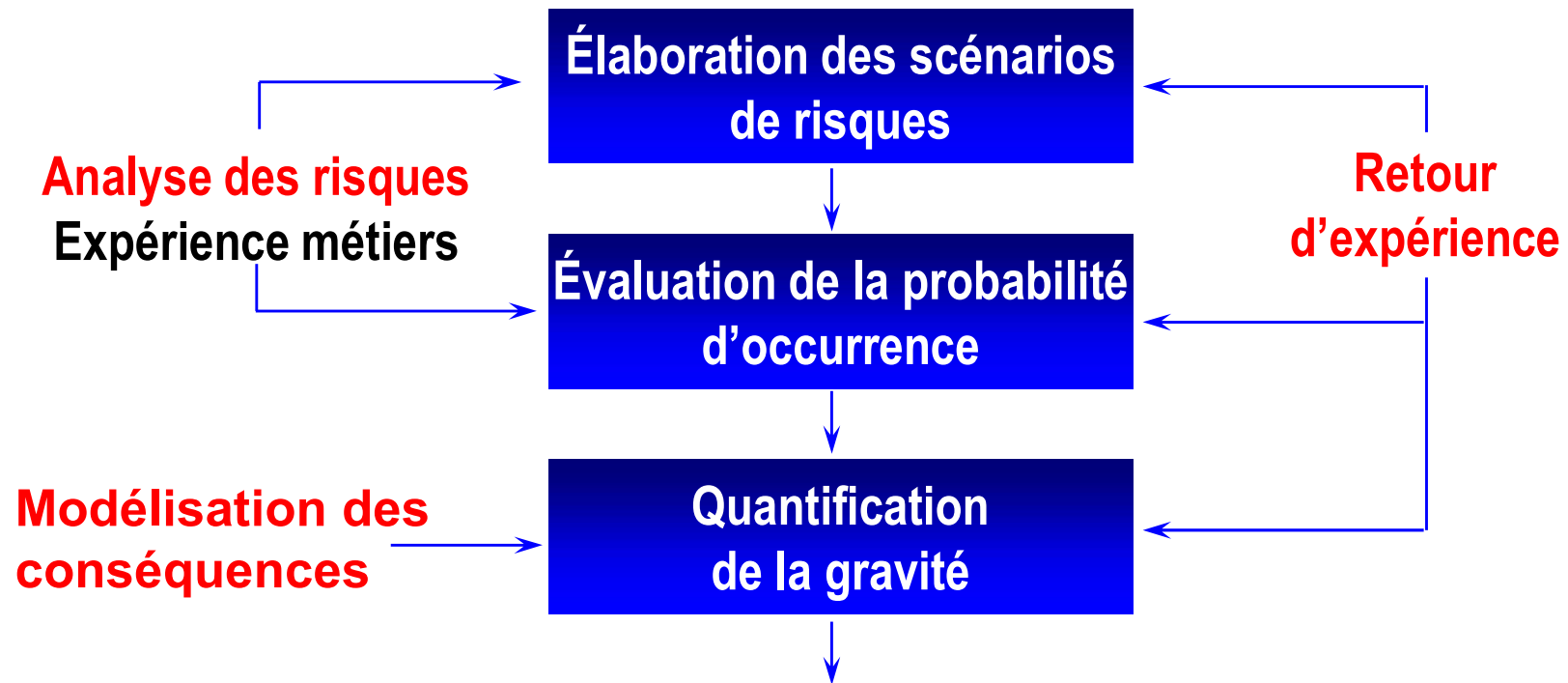
TD 2 : risques-données

UV TS01

Resp : [christophe.proust@utc.fr](mailto:christophe.proust@utc.fr)

donnons un sens à l'innovation

# Alimenter la réflexion



# Commentaires

Ces exercices ont 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).

Le premier exercice est centré sur l'aspect recherche des causes immédiates et la probabilisation tandis que le second est davantage consacré aux aspects probabilité ET gravité. Dans les deux cas des données génériques sont recherchées, contextualisées et utilisées.



# « Identification » des risques

Construire des scénarios et les quantifier  
sur la base de données génériques

# Commentaires

On peut considérer ce premier exercice comme faisant partie du déroulé d'une « cartographie des risques ».

Vous êtes ingénieur diplômé en poste depuis quelques années et plutôt établi. Comme souvent dans votre vie, vous vous poserez des questions existentielles et peut-être vous souviendrez vous de l'exercice de cartographie des risques réalisé en TSo1... Mais la question, le cadre de l'étude n'est plus le même, il ne s'agit plus « d'entrer » mais de « rester pleinement dans une vie active et personnelle autonome ». Et l'un des risques qui apparaîtrait alors pourrait être la « perte d'utilité / disparition du métier d'ingénieur ».

Pour en faire une étude détaillée, nous considérons la matérialisation de risque comme le « conséquence » « d'accidents » qui les induisent. Il s'agit donc d'identifier ces « accidents » et leurs causes propres dans un premier temps et, dans un second temps, de les probabiliser en s'aidant pour tout cela de données disponibles, probablement en partie génériques (non spécifiques) car la question n'est pas, admettons-le, d'intérêt mondial et n'a peut-être pas fait l'objet d'études particulières.

Nous pousserons l'exercice un peu plus loin en tentant de placer ces causes sur une matrice de criticité pour identifier celles qui « pèsent » le plus lourd.

# Commentaires

On se souvient que vivre, c'est-à-dire agir/bouger/travailler nous expose à des **dangers** (il y a des escaliers à BF qui permettent d'aller en cours/TD) et que certaines **événements** nous exposent à ces dangers (devoir aller d'une salle de TD à une autre située à un autre niveau). La situation dangereuse en résulte (emprunter l'escalier) mais qui ne devient accident (tomber dans l'escalier) que si un **événement** supplémentaire, une cause immédiate, intervient (être poussé, trébucher,..). Il faut connaître les configurations pratiques, par exemple vos contraintes pour être formé par l'UTC, avant de pouvoir imaginer les **événements** dont il est question ci-dessus.

Pour en revenir à l'exercice cela signifie se demander:

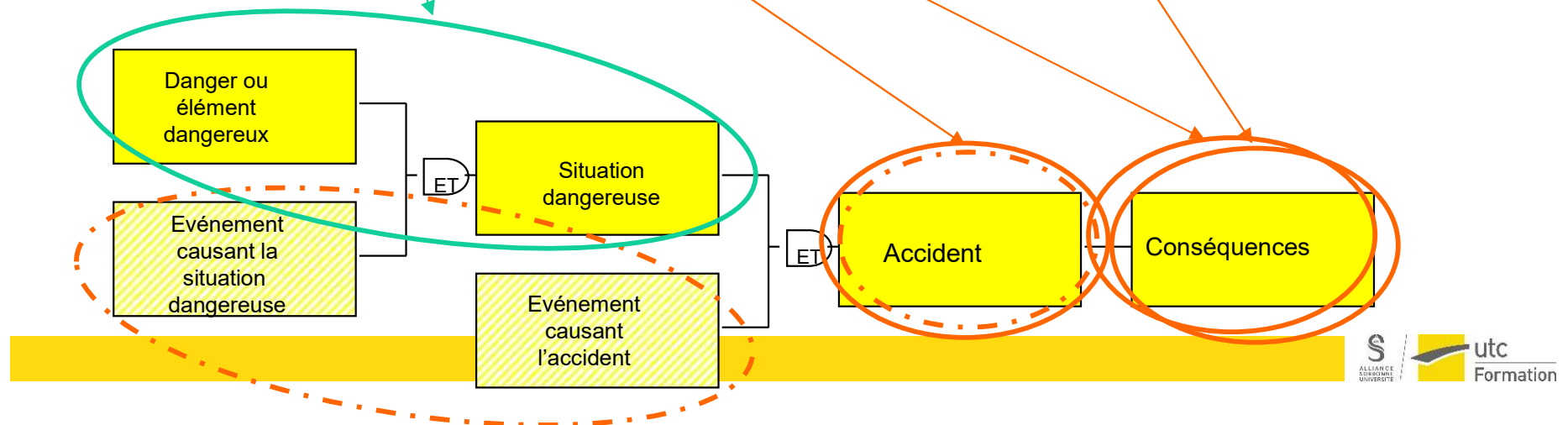
- A quoi sert un ingénieur ? (il y a le terme « utilité » dans le libellé et le risque se matérialise dans la vie pratique)
- Comment acquiert-il son utilité ?
- ...

Et pour établir la matrice de criticité :

- La durée de service d'un ingénieur ou les durées de services si on imagine une évolution des fonctions
- Les degrés d'atteinte l'« utilité » pour la gravité

# Suite d'une cartographie des risques

- Cadre de l'étude : « ~~entrer~~ rester pleinement dans une vie active et personnelle autonome »
- Etude du « risque » : « perte d'utilité/disparition du métier d'ingénieur »
- A quoi sert un ingénieur ? Durée d'activité ? Durée « d'actualité » ?
- Matrice de criticité=>



# Données (qualitatives) relatives au sujet

- A quoi sert un ingénieur ?
  1. Concevoir des solutions pour résoudre des questions pratiques (=>être formé, être intéressé par les sciences)
  2. Gérer des projets, organiser des équipes (=>être formé, être reconnu pour ses compétences)
  3. Communiquer (former, expliquer, convaincre, acheter, vendre) (=>être crédible auprès des acteurs dont le public)
- Périodes clés de l'activité de l'ingénieur :
  - 5/10 ans apprentissage (surtout la dimension 1)
  - 20/30 ans bilan et changement de statut/reconversion
  - 50 ans durée de la carrière professionnelle
- Niveaux de gravité :
  - En fonction de la perte progressive des 3 fonctions (perte des 3 dimensions = disparition du métier)
  - Le moins impactant pourrait être la perte de la légitimité à communiquer (autrefois cela ne faisait pas trop partie des fonctions de l'ingénieur...)
  - La fonction technique est un marqueur (de tout temps) du métier d'ingénieur. Elle se répartit entre la « conception » et « l'organisation » de terrain.



# Matrice de criticité

P(V)	F (ans <sup>-1</sup> )
fréquent	$F > 1/10$
possible	$1/25 < F < 1/10$
probable	$1/50 < F < 1/25$
improbable	$F < 1/50$

	Mineur	Modéré	Majeur	Catastrophique
Fréquent	Yellow	Red	Red	Red
Possible	Green	Yellow	Red	Red
Probable	Green	Green	Yellow	Red
Improbable	Green	Green	Green	Yellow

G	
catastrophique	+ perte de l'aspect gestion= Disparition du métier d'ingénieur
majeur	+perte de l'aspect organisation
modéré	+perte de l'aspect conception
mineur	Perte de crédibilité (communication)

# Disparition du métier d'ingénieur

## ● Identification des risques :

1. Substitution par de nouveaux moyens de mobilisation et d'utilisation des savoirs => causes possibles :
  - IA
  - Ingénierie Soutenable/low tech
  - ...
2. Connaissances obsolètes ou non utilisables => causes possibles :
  - Manque d'attractivité du métier d'enseignant
  - Manque de moyens pour se maintenir à niveau (R&D)
  - ...
3. Perte d'attractivité du métier d'ingénieur auprès des jeunes => causes possibles :
  - Désintérêt pour les sciences
  - Peur d'un métier « climaticide »
  - Concurrence (partielle ?) d'autres métiers (BUT, ESC ?)
  - Baisse du nombre d'emplois dédiés (déindustrialisation par ex)
  - ..
4. Discrédit de la parole de l'ingénieur dans la société=> causes possibles :
  - Remise en cause générale de la parole du scientifique (réseaux sociaux ?)
  - Diminution statut relativement privilégié de l'ingénieur parmi les scientifiques
  - ...
5. ...

# Disparition du métier d'ingénieur

- Quantification de la probabilité de ces risques :
  1. Substitution par de nouveaux moyens de mobilisation et d'utilisation des savoirs => causes possibles :
    - IA : « Peu d'informations mais le développement est très rapide depuis 10 ans avec des IA qui sont capables de faire des synthèses, de trier des données, de faire de l'expertise. On peut estimer que dans 10 ans, certains domaines de l'expertise de l'ingénieur seront couverts (comme les synthèses) jusqu'à 50% des tâches d'après certaines projections. Mais il faudra que ces technologies s'implantent ce qui peut être plus long car il faut entraîner les IA ». Le déploiement serait de l'ordre de la dizaine d'années avec un impact important sur la fonction non créative et non strictement humaine, à terme=> **pos, maj**
    - Ingénierie Soutenable/low tech : «concerne la recherche de solution les moins complexes possibles, s'inspirant du passé et de la nature. Diminue le contenu technologique, augmente la part « sociale » avec co-construction par des acteurs habituellement non mobilisés dans l'ingénierie. L'ingénierie basculerait du champ technique ou socio-technique. A l'étude actuellement. Il faut modifier les structures d'enseignement et la manière de faire de la recherche. Temps long 20 ans peut-être ou un peu plus (une génération de chercheurs)=> **pos, mod**
    - ...
  2. Connaissances obsolètes ou non utilisables => causes possibles :
    - Manque d'attractivité du métier d'enseignant : « Le nombre d'inscrits aux concours de l'enseignement du second degré a diminué de plus de 30 % en moins de quinze ans, passant de 50 000 candidats présents en 2008 à 30 000 en 2020. » d'après un rapport du Sénat. La temporalité associée est  $< 100\%/30\% \times 15 = < 50 \text{ ans}$  => **prob, cat**
    - Manque de moyens pour se maintenir à niveau (R&D). « D'après ministère de la recherche, baisse de 4% du nombre de thèses par an ces dernières années ». Cela a un impact direct sur le potentiel de recrutement de futurs enseignants chercheurs. Temporalité =  $100\%/4\% \times 1 \text{ an} = 25 \text{ ans}$ . => **prob, cat**

# Disparition du métier d'ingénieur

- Quantification de la probabilité de ces risques :
  1. ...
  2. ...
  3. Perte d'attractivité du métier d'ingénieur auprès des jeunes => causes possibles :
    - Désintérêt pour les sciences : « baisse des effectifs de 30% à 27% en 10 ans dans les filières scientifiques ». La temporalité de la disparition/invisibilisation des élèves ingénieurs est de  $30\%/3\% \times 10 = 100$  ans => **imp, cat**
    - Peur d'un métier « climaticide » : « Un sondage récent révèle qu'à la proposition « la science apporte plus de mal que de bien » la réponse « oui » a progressé de 5% à 10% en 10 ans ». La temporalité de la perte totale de crédit serait selon cette donnée de  $100\%/5\% \times 10 \text{ ans} = 200$  ans! => **imp, min**
    - Concurrence (partielle ?) d'autres métiers (BUT, ESC ?). Evolution en cours, impact sur le statut de l'ingénieur (conception/gestion impactés ?) à l'échelle de 10 à 20 ans peut-être => **prob, mod**
    - Baisse du nombre d'emplois dédiés (déindustriation par ex): « 2 M d'emplois perdus en 40 ans dans l'industrie (3 M d'emplois actuellement) soit -40% ». Mais augmentation du nombre d'ingénieurs (18000 en école en 2000, 45000 actuellement ». Ils occupent d'autres fonctions et d'autres secteurs, possiblement moins techniques. **Pas d'impact.**
    - ..
  4. Discrédit de la parole de l'ingénieur dans la société=> causes possibles :
    - Remise en cause générale de la parole du scientifique (réseaux sociaux ?) : « Perte de confiance dans les médias traditionnels, de 90% à 50% en 20 ans, dans lesquels s'expriment les experts ». On suppose que cela est corrélé avec une perte de crédit de la parole scientifique. La temporalité de la perte de crédit est de  $100\%/(90-50)\% \times 20 \text{ ans} = 50$  ans => **prob, min**
    - Diminution statut relativement privilégié de l'ingénieur parmi les scientifiques : l'indice de confiance pour l'ingénieur dans la société reste élevé (85%) mais en baisse de 10% en 5 ans. Perte de crédit sur une temporalité de  $85\%/10\% \times 5 \text{ ans} = 40$  ans => **prob, min**
    - ...
  5. ...

# Disparition du métier d'ingénieur

L'exercice de cotation dans la grille de criticité consiste à choisir pour chaque risque ( 1 à 4) le couple P,G le plus représentatif et pénalisant. Il n'y a guère d'ambiguïté pour 1 (pos, maj), 2 (prob, cat) et 4 (prob, min). C'est plus complexe pour 3. Le quatrième point du 3 suggère que le métier change, perdant peut-être sa dimension très technologique au profit de la dimension « chef de projet » ce qui relativise l'effet potentiel du premier point (voire du second) mais renforce l'effet du troisième qui devient alors prééminent. Les causes ne sont pas indépendantes. Donc (prob, mod) pour 3

	Mineur	Modéré	Majeur	Catastrophique
Fréquent				
Possible			1	
Probable	4	3		2
Improbable				

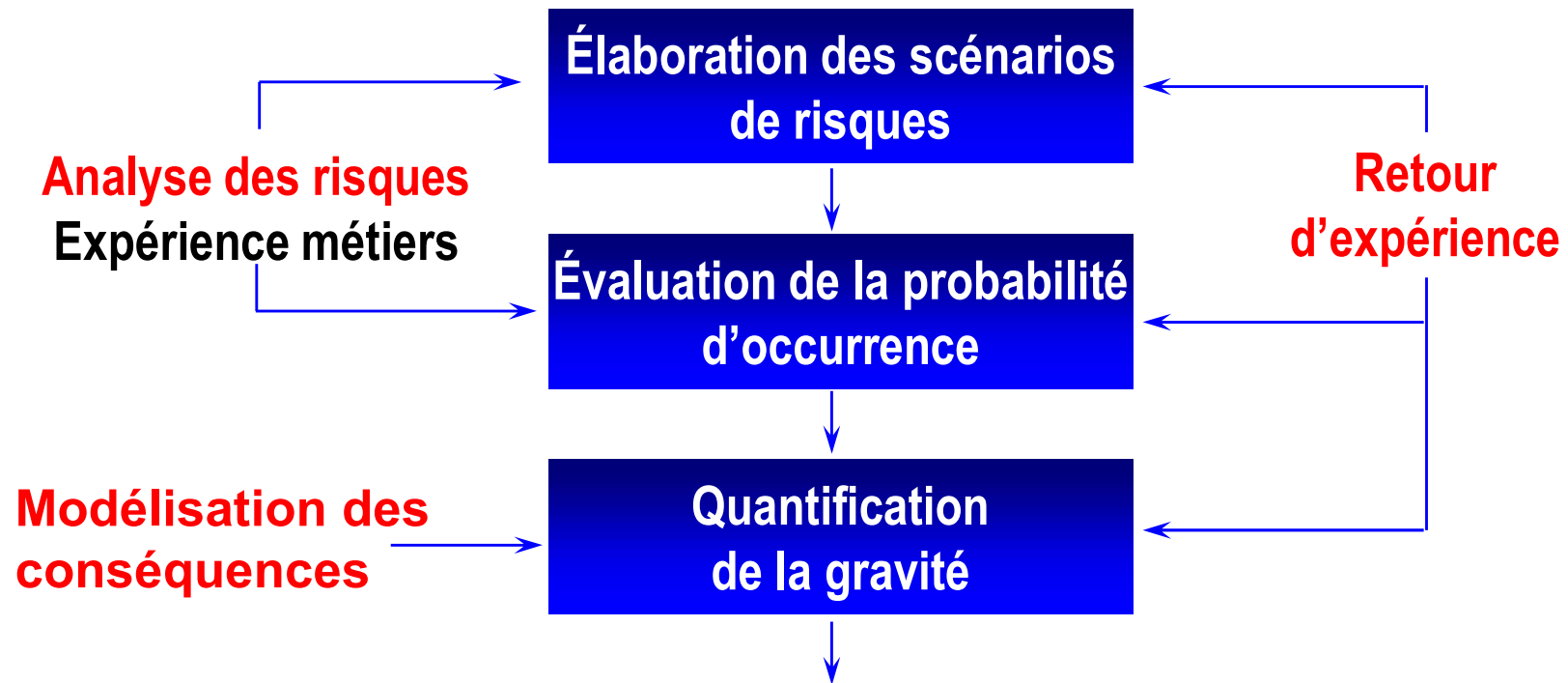


# « Modéliser » les risques

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

*Travaux du groupe 2*

# Alimenter la réflexion



# 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. 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.

# Données relatives à l'usage

- Activités/événements avec un véhicule:
  - 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
  - .....

# 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

# Rouler tous à l'hydrogène ?

- Identification des risques :

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

# Rouler tous à l'hydrogène ?

## • Quantification des risques :

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

#### ➤ Conséquences :

- ❖ REX : une fuite d'H<sub>2</sub> 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.
- ❖ Diamètre intérieur des tubes 3 mm. Longueur de la flamme = 8 à 10 m. **Décès probable des occupants et propagation de l'incendie**

#### ➤ Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX : le **choc modéré** pourrait correspond dans les statistiques aux accidents avec blessures. La sécurité routière dénombre 50000 accidents corporels/an. Il y a environ 38 M de véhicules en circulation soit une fréquence de 0,001/an/véhicule. Par ailleurs la probabilité d'inflammation serait de l'ordre de 10%. **La probabilité de cette cause du risque est donc de 0,0001/an/véhicule.**
- ❖ REX : d'après les statistiques on a observé 4 **fuites** d'essence sévères en 40 ans sur 4 types de véhicules différents soit une **fréquence de 2.10<sup>-2</sup>/an.**
- ❖ REX: la probabilité qu'une procédure échoue est de 1/100. Comme on compte 1 opération de **maintenance** par an et par véhicule, la probabilité de fuite associé est de **10<sup>-2</sup>/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<sup>-2</sup>/an.**

### 2. ....

# Rouler tous à l'hydrogène ?

## ● Quantification des risques :

1. ....

2. Éclatement du réservoir :

### ➤ Conséquences :

❖ REX : Chaque véhicule comporte deux réservoirs de 50 l sous 700 bar. On peut utiliser l'abaque de la méthode TNT et la formule de l'énergie de Brode\* pour calculer les effets de pression de l'éclatement (basé sur l'expérience). On calcule un équivalent TNT de 1,5 kg. Dans la zone où la surpression est plus grande que 140 b, les personnes exposées peuvent mourir. Sur l'abaque TNT, le rayon  $R_{140}$  correspond à l'abscisse :  $R^{140}/\sqrt[3]{m_{TNT}} = 7$  soit 8 mètres. Des blessures sont à craindre si la surpression dépasse 50 mbar  $R^{50}/\sqrt[3]{m_{TNT}} = 22$  soit à moins de 25 mètres. En plus, l'hydrogène devrait brûler et la taille de la boule de feu sera plus grande (d'un facteur 10 en raison de la dilatation thermique et de l'air entraîné) que celle qu'occupe l'hydrogène (10 kg) détendu à la pression atmosphérique. En appliquant la loi des gaz parfait on trouve facilement que le volume détendu occupé par ces 10 kg d'hydrogène est de zone est de 120 m<sup>3</sup>. La boule de feu devrait avoir un volume de 1000 m<sup>3</sup> environ soit une sphère de 6 m de rayon. A l'intérieur, les chances de survies sont très faibles. Donc **les occupants du véhicule peuvent décéder** et les personnes alentour être blessées.

### ➤ Probabilité (fréquence) :

- ❖ REX : un **choc violent** capable de faire éclater le réservoir pourrait entraîner des morts dans la collision. 1500 morts par collisions/an, 38 M de véhicules soit une fréquence de choc violent de **10<sup>-4</sup>/an/véhicule**.
- ❖ REX : 1500 incendies de véhicules pour 100000 chaque année soit une fréquence de **10<sup>-3</sup>/an/véhicule**.
- ❖ Globalement la **probabilité d'éclatement des réservoirs** est sans doute de l'ordre de **10<sup>-3</sup>/an**.

\*  $m_{TNT} = (P \times V)/4600000 = (700 \times 100000 \times 2 \times 0,05)/4600000 = 1,5 \text{ kg TNT}$

# 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 = 8 à 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 H<sub>2</sub> (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'H<sub>2</sub> 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 Trévisse le 21 juin 2023 à Paris).
- ❖ Une fuite de 10 kg d'hydrogène représente un volume détendu de 120 m<sup>3</sup> (cf ci avant) capable donc de former 1200 m<sup>3</sup> 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<sup>-2</sup>/an/véhicule.**

# Conclusions des exercices

- 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 »).
- 1<sup>er</sup> exercice : le manque de moyens dans l'enseignement, même dans les écoles d'ingénieur peut impacter votre statut d'ingénieur même une fois que vous serez en poste par la difficulté d'assurer la relève. Enfin, gardez un œil sur les outils numériques, protégez-vous, chercher une position de surplomb, devenez non plus des experts mais des chercheurs... ou occuper une place différente à l'interface comme par exemple s'engager résolument dans les enjeux de société notamment la transition écologique et la réduction des inégalités.
- 2<sup>ème</sup> exercice : 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 en état de veille) soit une probabilité d'accident « hydrogène » dans la station très faible ( $10/10000 \times 10^{-4}$  à  $10^{-7}$ /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...