

Analyse et gestion de risque

Risk Analysis and Management

Semaine 3: Méthodes d'analyse de risque (partie I)

Chapitre 2/2

AMDEC

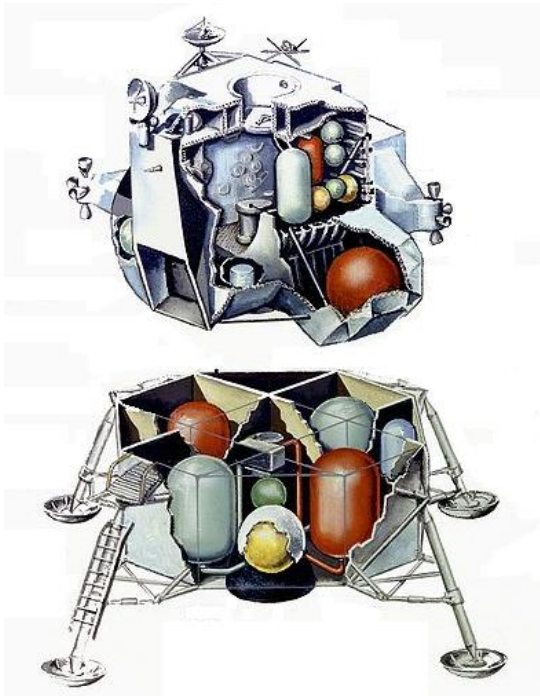
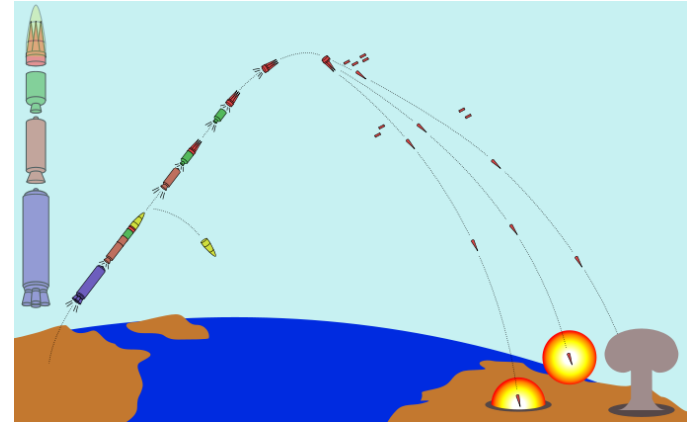
**Analyse des Modes de Défaillance
et de leurs Effet et Criticité**

FMEAC

**Failure Mode, Effect, and Criticality
Analysis**

Historique

L'AMDEC fut développée à la fin des années 1940 par [l'armée américaine](#) (programmes ballistiques), puis dans [l'aéronautique](#)

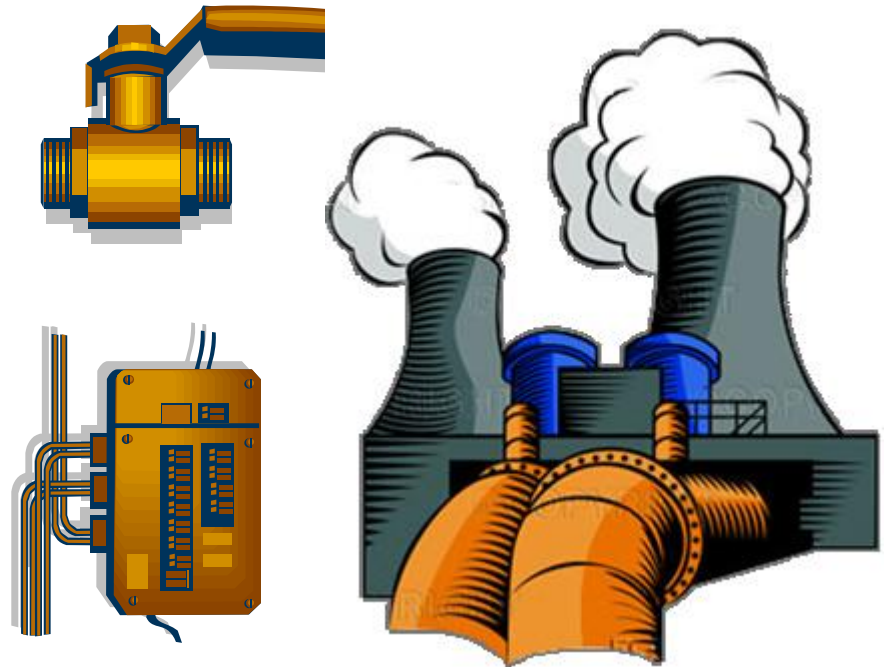


Elle fut notamment mise en oeuvre dans les années 1960 pour le [programme Apollo](#) (premiers hommes sur la lune)

A la fin des années 1970, Ford introduit l'AMDEC dans [l'industrie automobile](#) pour des questions de sécurité et de réglementation, et également pour améliorer la productivité et la conception des produits

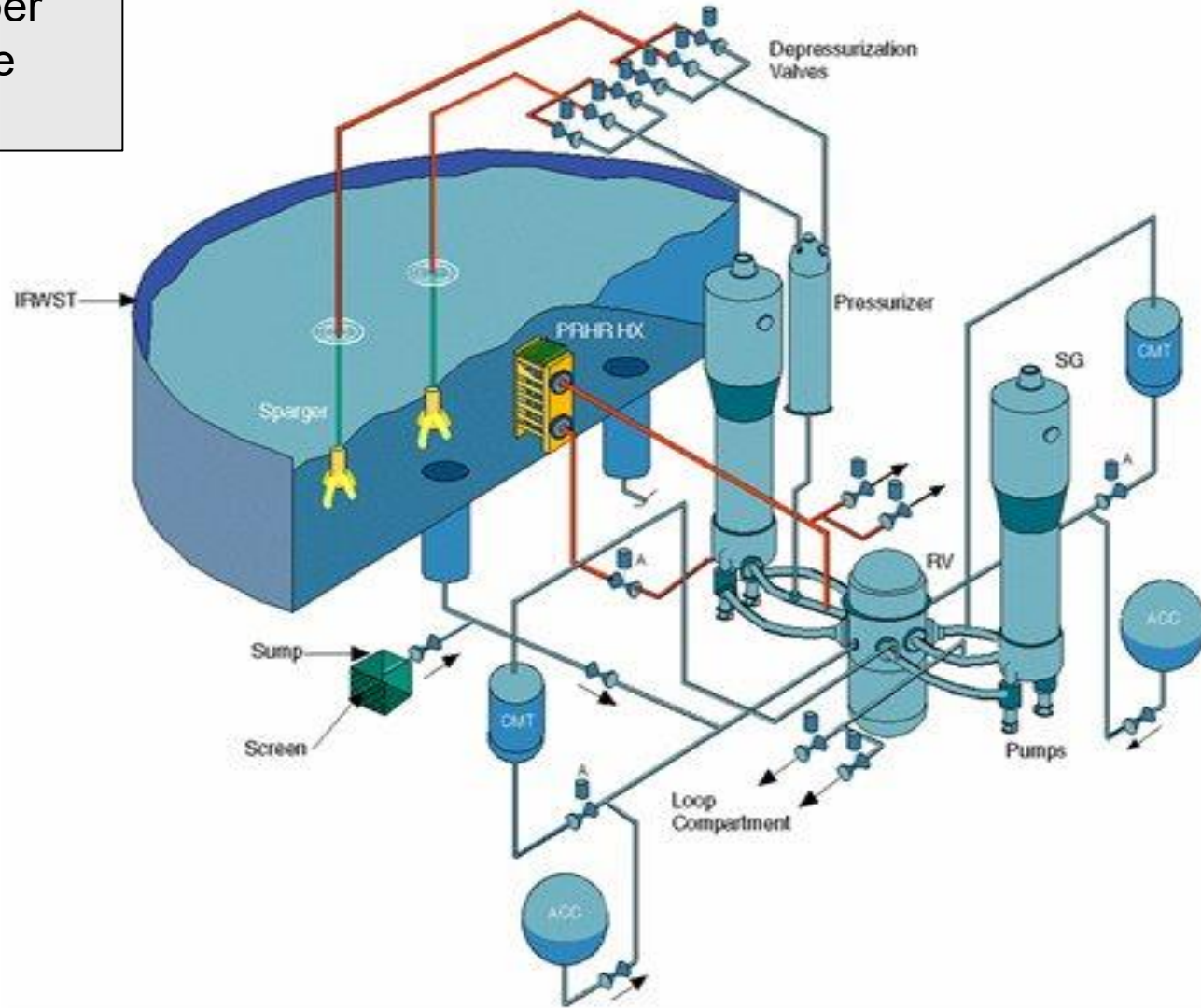
L'AMDEC est aujourd'hui largement utilisée dans les **industries**, dans les différentes "phases de vie" de systèmes, et peut également être généralisée à d'autres domaines

L'AMDEC peut aussi bien être utilisée pour l'analyse de **composants seuls** (une valve, une pompe, un transformateur, un moteur, etc) que pour l'analyse complète d'un **système complexe** (centrale nucléaire par exemple)



L'AMDEC est par exemple employée durant les phases **d'avant-projet**, afin de tester la **bonne conception d'un système et le corriger le cas échéant suffisamment en amont**

Systemes complexes →
nécessité de découper
en sous-systèmes de
manière pertinente



AMDEC – Dans le temps

AMDEC "PREVISIONNELLE"

Analyse des modes de défaillance en phase de **CONCEPTION**, de développement d'un système

→ recherche des défaillances potentielles et des points faibles dans l'architecture

AMDEC "OPERATIONNELLE"

Analyse des modes de défaillance d'un système **EXISTANT** (prototype ou phase exploitation)

→ recherche des défaillances potentielles et réelles

L'AMDEC EST EVOLUTIVE ET SUIV LES PHASES D'UN PROJET

- peu détaillée en phase d'avant-projet
- détaillée au cours de la phase de conception
- affinée lors des phases d'exploitation

→ un lien doit être maintenu au cours du temps entre les AMDEC successives

AMDEC - Principes de base

L'AMDEC est une méthode **inductive** via l'analyse des **défaillances** potentielles au sein d'un système

Objectifs :

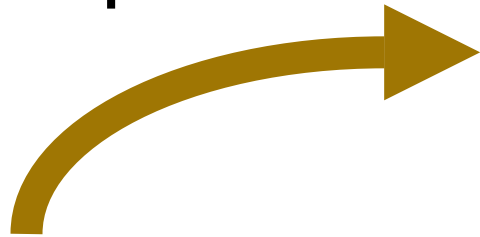
- Identifier, pour chaque composant d'un système, **tous les modes de défaillances possibles** ayant un effet important sur **le fonctionnement, la fiabilité et la sécurité de ce système**
- Identifier les **causes** de ces modes de défaillance et évaluer leurs **effets** sur les fonctions du système / autres sous-systèmes liés

Elle peut avoir un aspect **quantitatif**, lorsqu'elle intègre des notions de taux de défaillance et de fréquences



Mode de défaillance, cause, effets

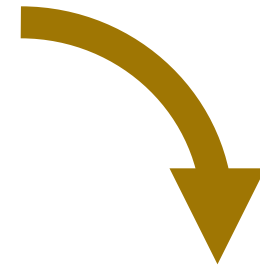
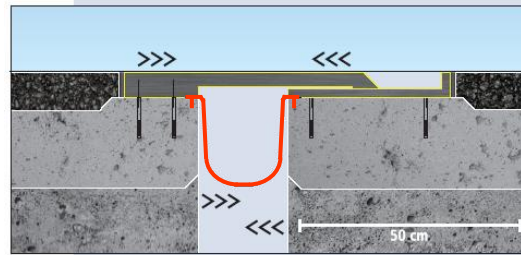
Exemple:



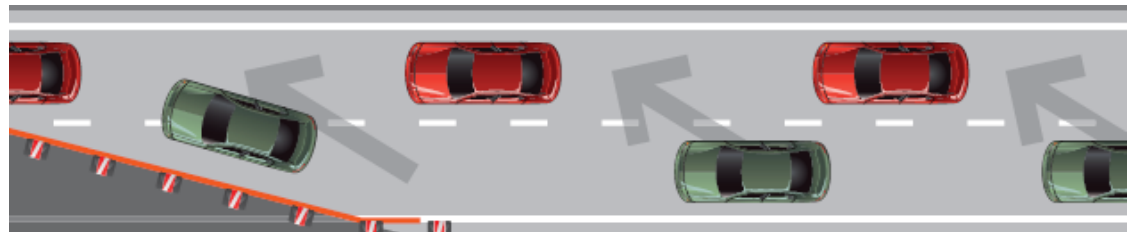
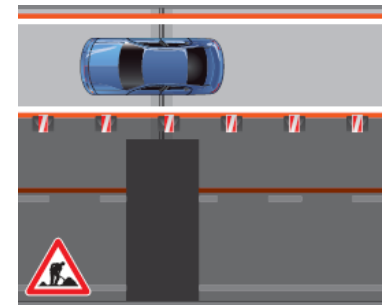
Causes:
 Usure prématurée
 (infiltration d'eau, sel,
 etc.)



Mode de défaillance:
 Joint défectueux



Effets:
 Congestions de trafic,
 accident potentiel



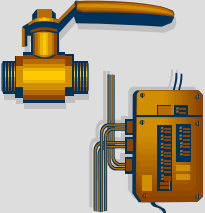

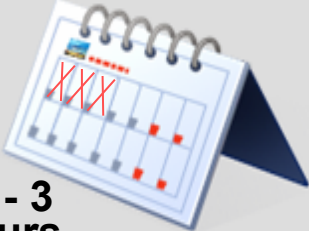

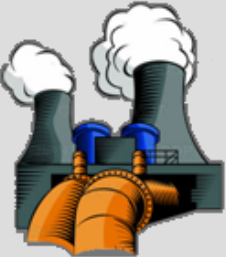



Cette méthode nécessite la bonne **connaissance & compréhension du système**, car les ingénieurs en analyse de risques ne sont pas nécessairement des experts des systèmes techniques qu'ils doivent étudier (elle force à se poser des questions et à challenger le concept)



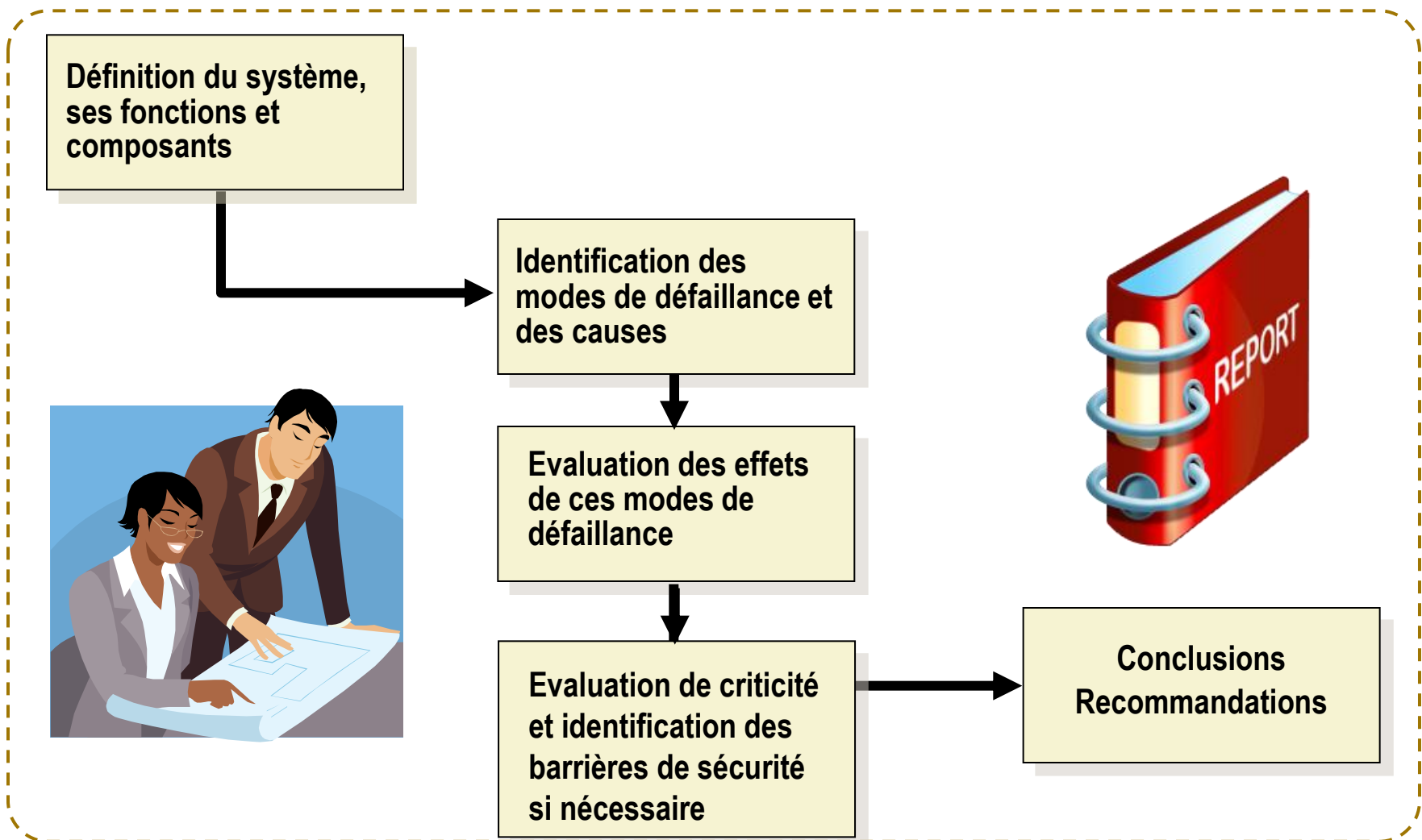
Une étude AMDEC peut se révéler **longue et fastidieuse** selon la complexité du sujet traité

2 à 3 mois sont nécessaires pour l'analyse de quelques centaines de modes de défaillance (installations complexes)

Durées estimatives pour une AMDEC :

Système étudié	Préparation	Evaluation	Documentation
 <p>Systèmes simples / petits</p>	 <p>2 - 6 heures</p>	 <p>1 - 3 jours</p>	 <p>1 - 3 jours</p>
 <p>Systèmes complexes</p>	 <p>1 - 3 jours</p>	 <p>2 - 6 semaines</p>	 <p>2 semaines</p>

Procédure AMDEC



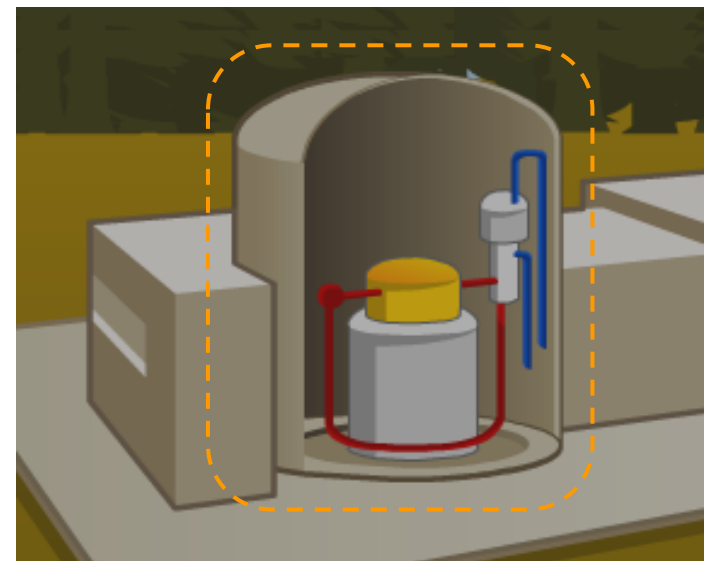
AMDEC

Exemple de défaillance – Pompe :

- Dans des conditions normales d'exploitation, la fonction d'une pompe est définie comme son aptitude à fournir un débit donné
- Si le débit est nul ou inférieur/supérieur à ce débit → pompe dite "défaillante"
- Si la pompe s'arrête de façon non désirée → "mode de défaillance"
- La coupure de courant qui a entraîné l'arrêt de la pompe sera alors définie comme une cause de ce mode de défaillance
- L'arrêt de l'alimentation du réacteur alimenté par cette pompe constitue une conséquence de cette défaillance

Etape 1 : definition du système

- Principales **fonctions** du système
- Identification des **composants**
- **Modes d'exploitation** du système (exploitation normale, en situation d'urgence, en phase de test, en phase de maintenance...)
- **Pour chaque mode : conditions de fonctionnement**



Etape 2 : Identification des modes de défaillance

Tout élément est caractérisé par une ou plusieurs fonctions à réaliser, par des performances

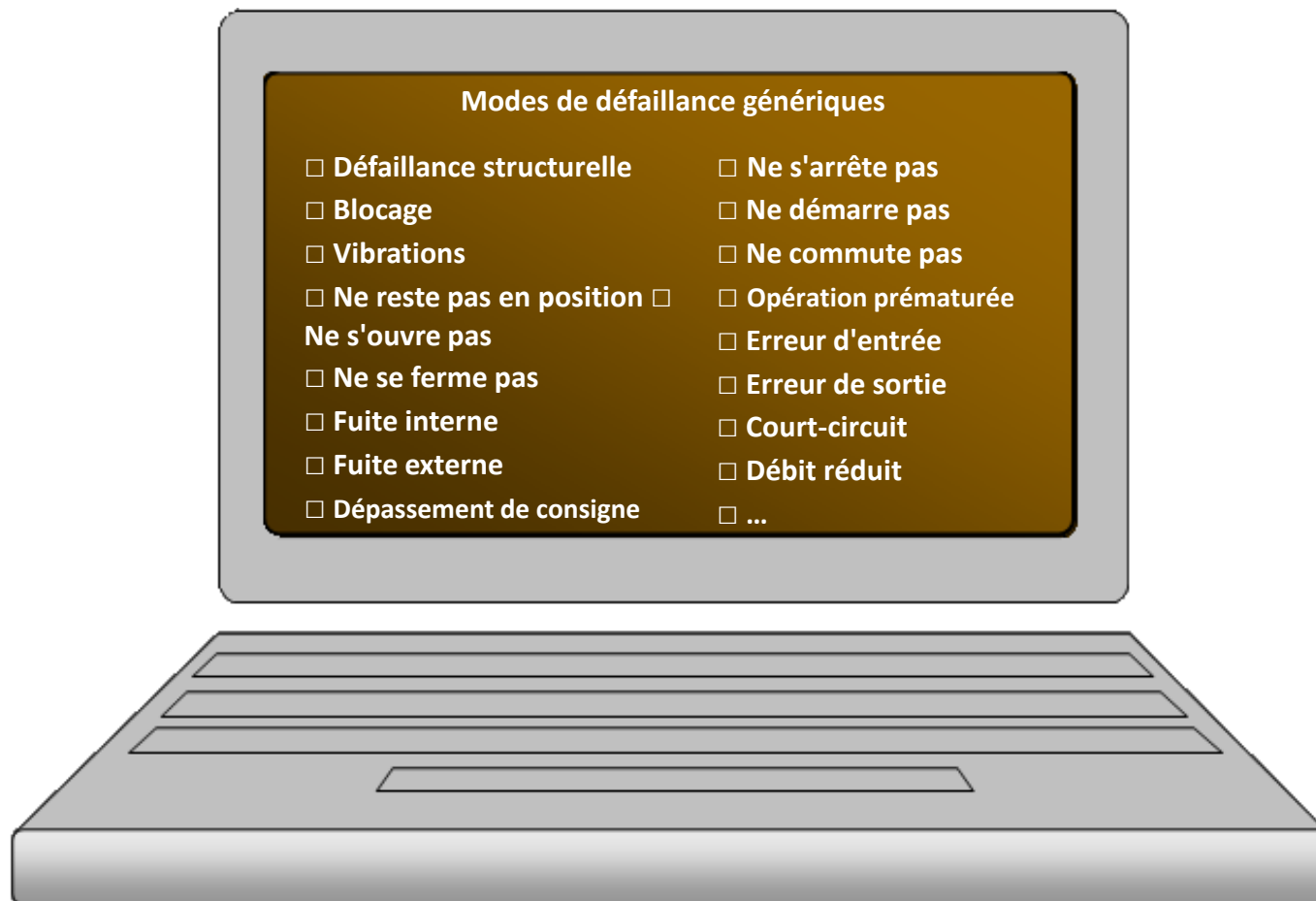
Mode de défaillance = la manière avec laquelle la défaillance se manifeste

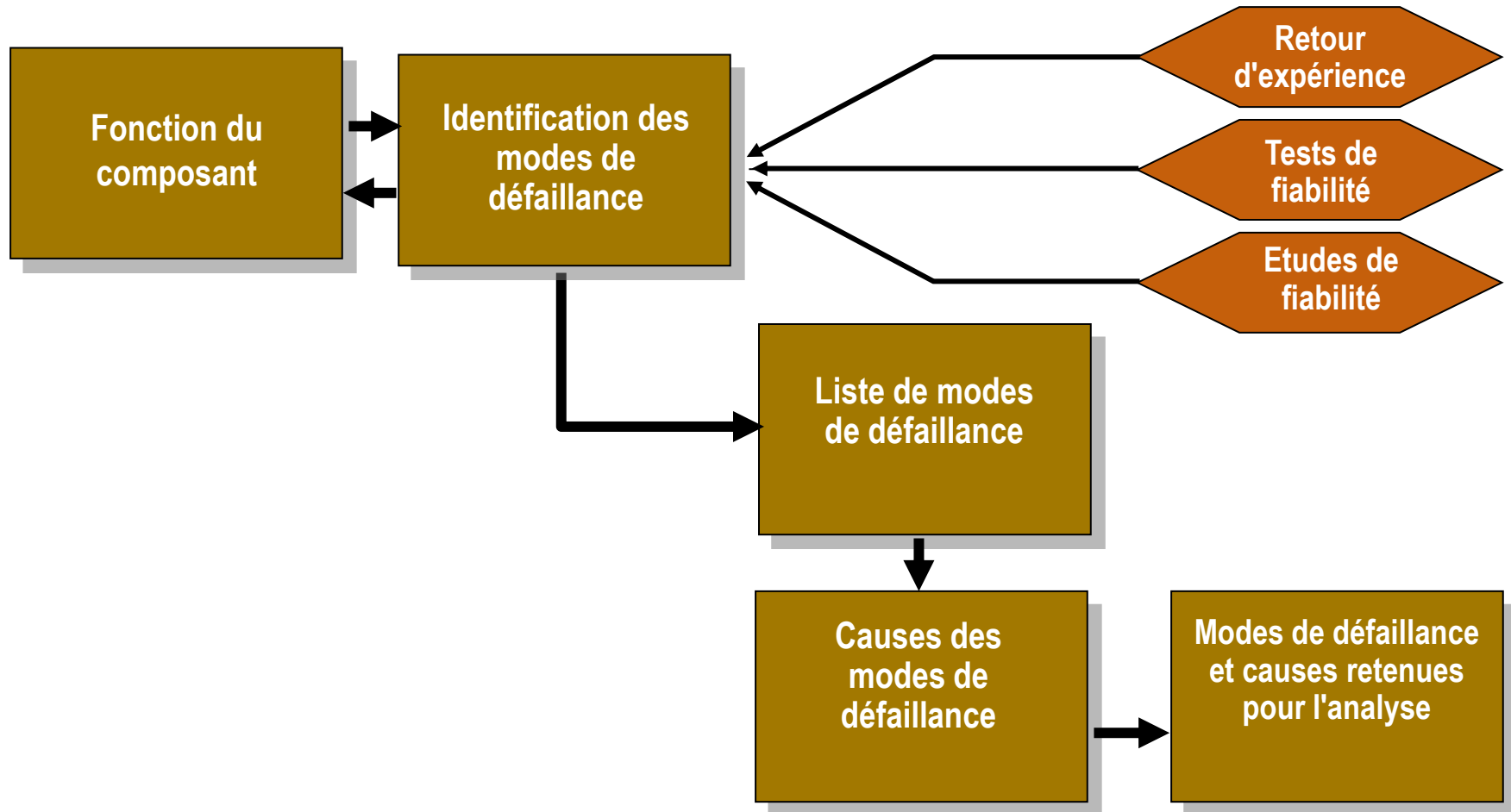
→ Un mode de défaillance est l'altération de cette ou de ces fonctions

- Perte de la fonction
- Dégradation de la fonction
- Fonction intempestive
- ...



L'identification des modes de défaillance peut passer par l'utilisation de **listes guide**





AMDEC

Recherche des causes

Suivant les besoins de l'étude, on peut rechercher les causes attribuables à chaque mode de défaillance :

- **Causes internes**
 - Défaut de conception, de fabrication
 - Défaut de matériau
 - Intrinsèque (usure)

- **Causes externes**
 - Mauvaise utilisation
 - Influence de l'environnement (agression, pollution...)
 - Défaillance d'un élément environnant

Etape 3 : Conséquences des modes de défaillance

A ce stade, toutes les conséquences potentielles des modes de défaillance doivent être listées et décrites



Pour ce faire, il est considéré (cas de base) **qu'une seule défaillance est "active" en même temps**, tous les autres composants restant opérationnels

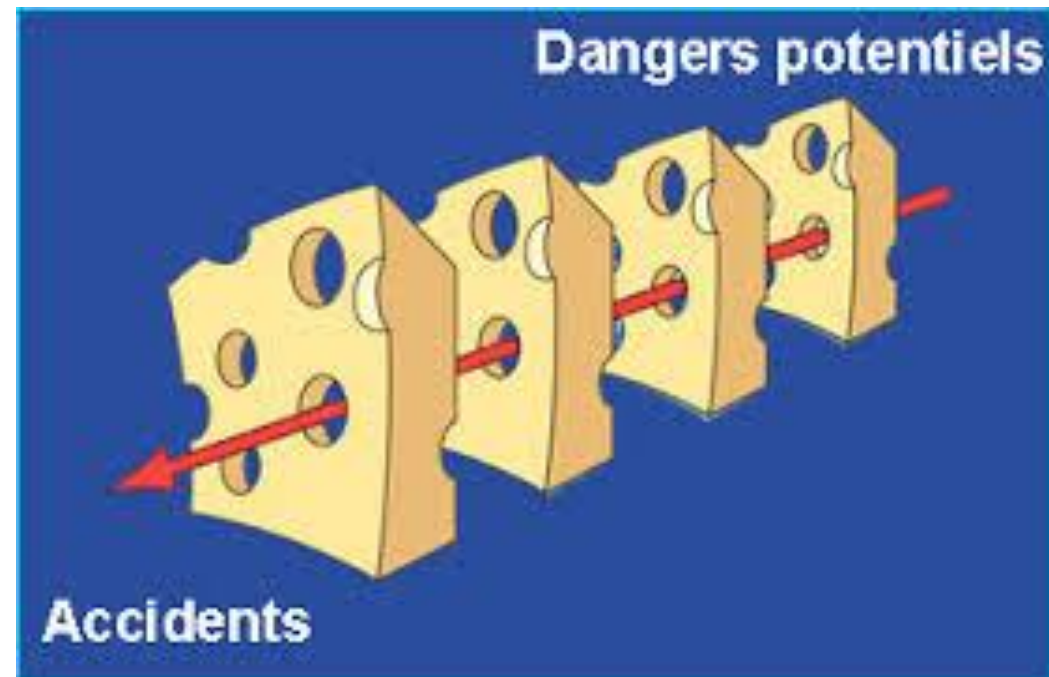
Dans un second temps, les **combinatoires pertinentes** doivent être envisagées

Un mode de défaillance peut parfois en entraîner un autre
→ identification des *défaillances secondaires*

Etape 4 : identification des barrières de sécurité si nécessaire

Cf. cours précédent

- Barrières de prévention / protection
- Barrières actives / passives / humaines...



Etape 5 : conclusions et recommandations

Sur la base des étapes précédentes, le spécialiste en Analyse de Risques est en mesure de tirer des **conclusions** selon les objectifs initiaux de l'étude, et d'établir des **recommandations** jugées utiles

Résultats attendus

- Au niveau conception, identification de tous les modes de défaillance, leurs causes et leurs conséquences
- Identification des besoins en redondance
- Prescriptions : détection, maintenance, etc.

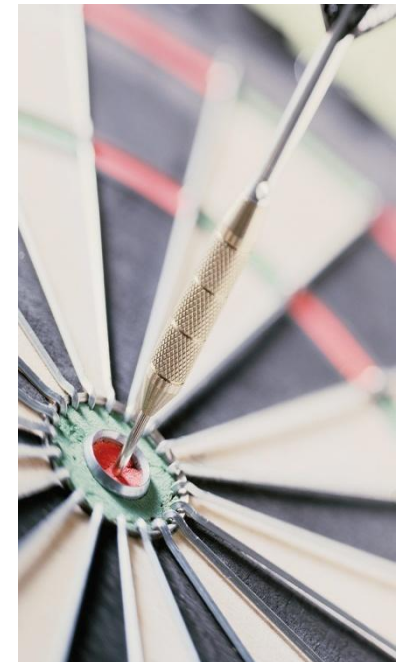


AMDE → AMDEC

AMDEC = AMDE + analyse de la criticité

Ce complément d'analyse met en évidence les défaillances avec des **fréquences / conséquences élevées**, nécessitant des **efforts particuliers**

L'objectif principal de l'AMDEC est **d'éliminer les modes de défaillances "critiques"** et de réduire autant que possible les modes de défaillances importants



AMDEC

Analyse de criticité

La criticité est l'expression de **l'importance globale d'une défaillance donnée**. Elle permet de hiérarchiser les défaillances selon leur influence globale sur le système, vis-à-vis de la **fiabilité, la maintenance, la sécurité**

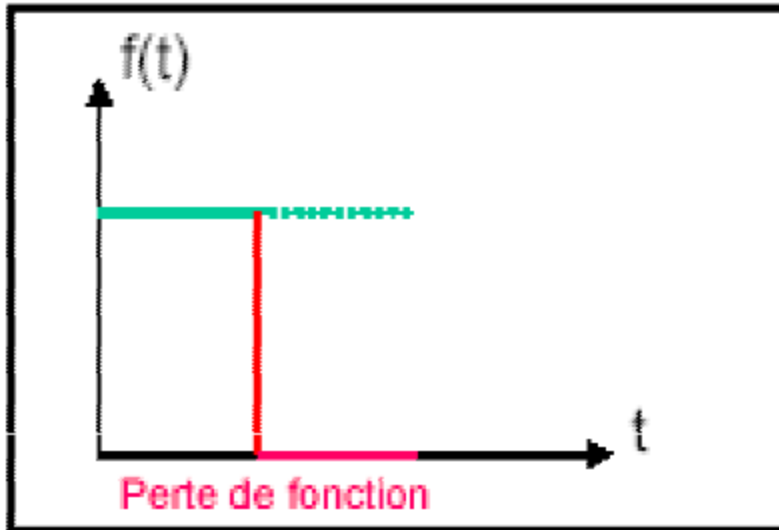
Elle peut être exprimée par un paramètre ou une combinaison de paramètres tels que :

- **Gravité** : classe ou degré sur les effets
- **Occurrence** : taux de défaillance, fréquence d'apparition
- **Détection** : probabilité ou niveau

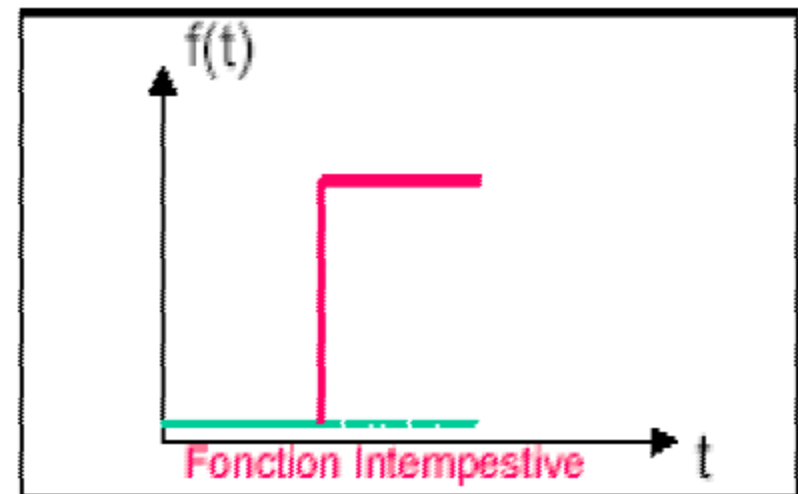
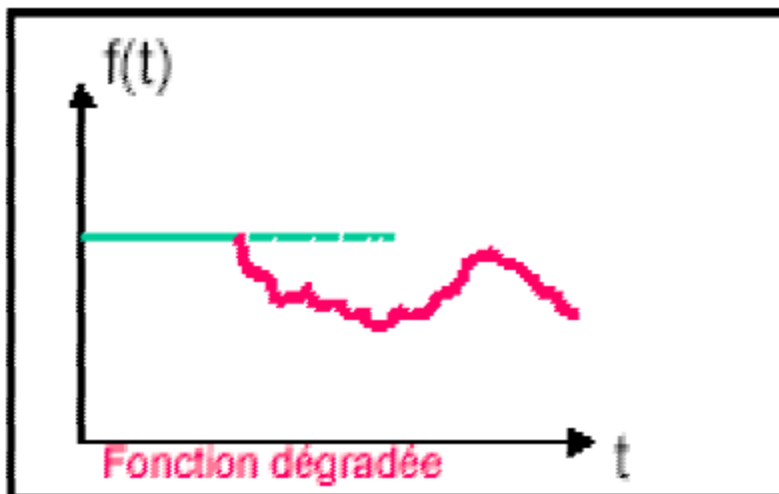
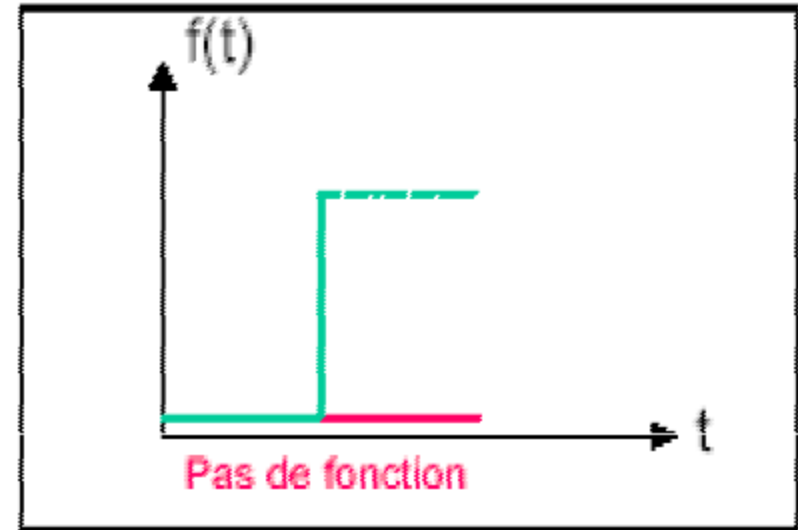
Mode de détection

Dans cette étape sont décrits les différents moyens permettant de **détecter** l'apparition du mode de défaillance ou de l'effet

Familles de défaillances



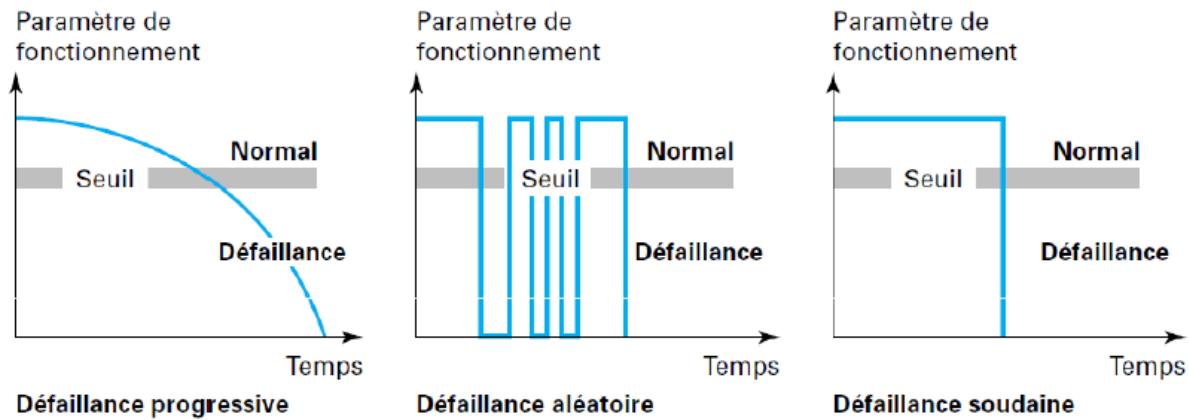
— Fonctionnement normal
— Fonctionnement dégradé



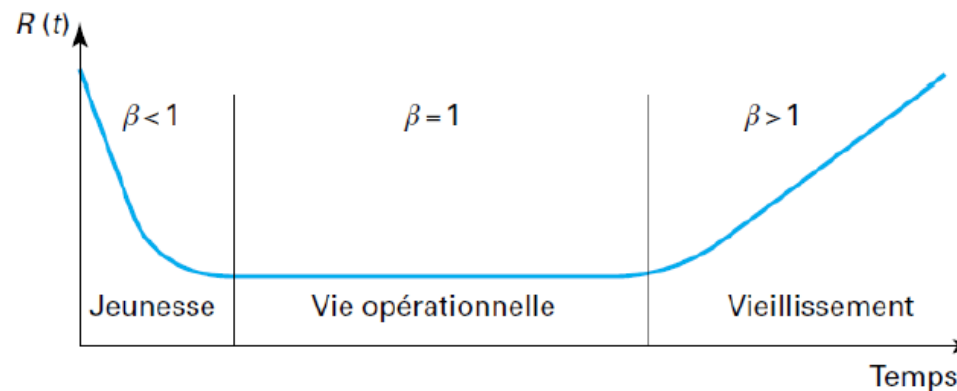
AMDEC

Analyse de criticité

Rapidité d'apparition :



Phase d'apparition :



AMDEC

Analyse de criticité – Cotation en **fréquence** de la défaillance

Valeurs de F	Fréquence d'apparition de la défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante sur des installations similaires en exploitation, au plus un défaut sur la durée de vie de l'installation.
2	Défaillance rarement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par an) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions sont théoriquement réunies pour prévenir la défaillance, mais il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
3	Défaillance occasionnellement apparue sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par trimestre).
4	Défaillance fréquemment apparue sur un composant connu ou sur du matériel similaire existant en exploitation (exemple : un défaut par mois) ou Composant d'une technologie nouvelle pour lequel toutes les conditions ne sont pas réunies pour prévenir la défaillance, et il n'y a pas d'expérience sur du matériel similaire.
(1) L'indice de fréquence F est établi pour chaque association composant, mode, cause.	

Pas de
quantification

AMDEC

Analyse de criticité – Cotation en **fréquence** de la défaillance (domaine médical)

	Probabilité	Indice
Inexistante <i>pas d'occurrence connue</i>	1/10'000	1
Basse <i>possible, pas de donnée existantes</i>	1/5'000	2-4
Modérée <i>documenté, mais peu fréquent</i>	1/200	5-6
Elevée <i>documenté et fréquent</i>	1/100 1/50	7 8
Très élevée <i>erreur pratiquement certaine</i>	1/20 1/10	9 10

AMDEC

Exemple de listes guide (industrie) avec probabilités type :

	Événements initiateurs	Causes possibles	Fréquence
Fuite	Ouverture intempestive d'une soupape	Rupture du ressort	10^{-3} à 10^{-1}
	Ouverture intempestive d'un disque de rupture	Erreur de montage, fatigue, erreur de valeur	10^{-2} à 10^{-1}
Rupture d'éléments de tuyauteries	Rupture d'un joint statique	Fatigue	10^{-7} à 10^{-5} (10^{-2} en chimie)
	Rupture d'un petit piquage ($\leq 2''$)	Chocs, vibrations	10^{-6} à 10^{-3} (10^{-4})
	Rupture d'un piquage renforcé	Chocs, tensions	10^{-7} à 10^{-4} (10^{-5})
	Rupture d'un flexible de chargement non inspecté et inspecté avec SMS*	Chocs, tensions	10^{-1} ($5 \cdot 10^{-3}$)
	Rupture d'un élément fragile (niveau à glace, verre, soufflet)	Toutes causes	Au cas par cas
Défaillances d'organes de contrôle	Ouverture ou fermeture intempestive d'une vanne tout ou rien (TOR)	Manque d'air instrument	10^{-3} à 10^{-2}
	Défaillance d'une vanne de régulation	Défaillances capteur, actionneur	10^{-1}
	Défaillance d'un système de régulation	Défaillance : • Actionneur : 50 % • Capteur : 35 % • Logique : 15 %	10^{-1}
Défaillances mécaniques d'équipements	Perte de la fonction pompage d'une pompe (sans secours)	Rupture des joints dynamiques	10^{-1} à 1
	Perte d'alimentation électrique (sans secours)	Foudre	10^{-2} à 10^{-1}
	Perte d'utilités (eau, azote)	Toutes causes	10^{-1} à 1
	Perte de la fonction agitation	Bris d'agitateur, défaut d'énergie	10^{-1} à 1
	Feu ou explosion d'un rejet inflammable à l'atmosphère	Point chaud à proximité du produit inflammable	10^{-2} (10^{-1}) à 1
Autres événements	Impact de la foudre : installation ATEX et autre installation	Orage et produit inflammable	O (10^{-3} à 10^{-1})

* SMS : Système de management de la sécurité

AMDEC

Exemple de listes guide (industrie) avec probabilités type pour action humaine :

Événement	Fréquence
Erreur humaine sur une tâche habituelle, comme : <ul style="list-style-type: none"> – un écart de configuration d'une machine au lancement d'un processus discontinu ; – une erreur lors d'une opération de jointage ; – une tâche continue de surveillance d'un bac. 	1/an (pour travaux routiniers) et 10^{-2} à 10^{-1} /an (si mise en œuvre des Bonnes pratiques de fabrication : BPF)
Erreur humaine sur une action de type procédurale (sur action non répétitive)	10^{-2} /opération, à multiplier par le nombre d'opérations par an pour obtenir une fréquence
Réaction inappropriée face à une situation inhabituelle et non procédurale (action réfléchie)	10^{-1} à 1/opération, à multiplier par le nombre d'opérations par an pour obtenir une fréquence

AMDEC

Analyse de criticité – Cotation en **gravité** de la défaillance

Cotation
orientée
"production"

Valeurs de G	Gravité de la défaillance (1)
1	Défaillance mineure : aucune dégradation notable du matériel (exemple : $T_I \leq 10$ min).
2	Défaillance moyenne nécessitant une remise en état de courte durée (exemple $10 \text{ min} < T_I \leq 30$ min).
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée (exemple $30 \text{ min} < T_I \leq 90$ min) ou Non-conformité du produit, constatée et corrigée par l'utilisateur du moyen de production.
4	Défaillance catastrophique très critique nécessitant une grande intervention (exemple $T_I > 90$ min) ou Non-conformité du produit, constatée par un client aval (interne à l'entreprise) ou Dommage matériel important (sécurité des biens).
5	Sécurité/Qualité : accident pouvant provoquer des problèmes de sécurité des personnes, lors du dysfonctionnement ou lors de l'intervention ou Non-conformité du produit envoyé en clientèle.
(1) L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée d'arrêt, de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur. T_I : temps d'interruption.	

AMDEC

Analyse de criticité – Cotation en **gravité** de la défaillance

Défaillance mineure :

Nuit au bon fonctionnement en causant un **dommage négligeable** au système ou à son environnement

Défaillance significative :

Nuit au bon fonctionnement sans dommage **notable**

Défaillance critique :

Perte de fonctions essentielles du système. Dégâts **importants** au système ou son environnement

Défaillance catastrophique :

Perte de fonctions essentielles du système. Dégâts très importants au système ou son environnement

AMDEC

Analyse de criticité – Cotation en **gravité** de la défaillance (domaine médical)

	Indice		
Ennui léger <i>peut affecter le système</i>	1		
Problème systémique léger <i>peut affecter le patient</i>	2-3	3	Problème systémique
Problème systémique majeur <i>peut affecter le patient</i>	4-5	5	Atteinte mineure
Atteinte mineure du patient	6	7	Atteinte significative
Atteinte majeure du patient	7		
Atteinte terminale ou décès du patient	8-9	9	Atteinte (très) grave

AMDEC

Analyse de criticité – Matrice de criticité - Exemple

			Gravité				
			Mineure	Significative	Sévère	Critique	Catastrophique
Probabilité	Fréquent	A	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Probable	B	Green	Yellow	Red	Red	Red
	Peu probable	C	Green	Green	Yellow	Red	Red
	Rare	D	Green	Green	Green	Yellow	Red
	Extrêmement rare	E	Green	Green	Green	Green	Yellow

Red	Risque inacceptable, mesures indispensables de réduction du risque
Yellow	Risque à surveiller, mesures adaptées de réduction du risque
Green	Risque acceptable

Exemple de tableau d'analyse AMDEC (complet)

1 Identification des composants /équipements	2 Description fonctionnelle	3 Modes de défaillance	4 Causes possibles (int. & ext.)	5 Conséquences

Tableau d'analyse AMDEC

<div style="text-align: center;">6</div> <div style="text-align: center;">Classe de fréquence</div>	<div style="text-align: center;">7</div> <div style="text-align: center;">Classe de conséquence</div>	<div style="text-align: center;">8</div> <div style="text-align: center;">Criticité</div>	<div style="text-align: center;">9</div> <div style="text-align: center;">Mesures de reduction des risques</div>	<div style="text-align: center;">10</div> <div style="text-align: center;">Resp. / délais</div>

AMDEC

Points forts

- Outil **très performant** lorsqu'il est utilisé dès la phase de conception
- Connaissance des **modes dégradés** du système
- Outil de base pour la **gestion de la maintenance** (liste de points critiques & mise en évidence de priorités : contrôle, vérification)

Points faibles

- **Lourdeur** de mise en œuvre pour des **systèmes complexes** :
 - Beaucoup de composants
 - Multiples fonctions
 - Plusieurs modes opérationnels
- L'AMDEC ne met en principe pas en évidence les **événements externes au système**, pouvant engendrer des Evénements Redoutés → possibilité de les ajouter au tableau dans un 2^{ème} temps

Recommandations

- Bien **délimiter** le cadre de l'analyse
- Compléter l'AMDEC, si possible, par **des arbres de défaillances** pour les événements les plus critiques

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Classes de fréquence :

Niveaux de Fréquence	Quantification (nombre par an)	Description
Fréquent $F_0 \geq 1$	Fréquent Plus d'1 fois/an	Se produit fréquemment
Probable $10^{-1} \leq F_1 < 1$	Probable 1 fois tous les 10 ans	Evènement qui s'est déjà produit sur l'installation ou qui peut se produire quelquefois sur la durée de vie de cette installation
Possible $10^{-2} \leq F_2 < 10^{-1}$	Possible 1 fois tous les 100 ans	Susceptible de se produire un jour ou l'autre au cours de la durée de vie de l'installation
Rare $10^{-3} \leq F_3 < 10^{-2}$	Rare 1 fois tous les 1000 ans	Peu susceptible de se produire au cours de la durée de vie de l'installation mais s'est déjà produit ou peut se produire sur d'autres installations similaires du SIAAP
Extrêmement rare $10^{-4} \leq F_4 < 10^{-3}$	Extrêmement rare 1 fois tous les 10 000 ans	Très improbable sur l'installation mais pas impossible à l'échelle du SIAAP sur l'ensemble des installations similaires
Improbable $F_5 < 10^{-4}$	Improbable Moins d'une fois tous les 10 000 ans	Pas de connaissance de cas passé sur ce secteur industriel et sur ce type d'installation (SIAAP ou autres syndicats)

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Classes de gravité :

	Niveaux de Gravité	Gravité corporelle (C)	Gravité en exploitation (S)	Gravité environnementale (E)
G1	Catastrophique	Interne : nombreux effets létaux Externe : effets létaux <i>Ex : accident majeur avec risque de mort en interne et en externe</i>	Niveau non considéré en exploitation	Niveau non considéré pour l'environnement
G2	Important	Interne : effets létaux limités (2 personnes exposées au maximum) ou effets irréversibles Externe : effets irréversibles <i>Ex : accident avec risque de blessés graves en externe, atmosphère toxique lors d'une intervention d'agents...</i>	Perte d'exploitation supérieure à 24h impactant le client OU Agression majeure avec destruction importante d'équipements <i>Ex : impossibilité d'approvisionner une station d'épuration, inondation complète des équipements d'une station de relevage</i>	Rejet d'eaux usées avec un impact majeur sur le milieu naturel OU Nuisance extrême pour les riverains <i>Ex : rejet important au milieu naturel par temps sec avec effets létaux significatifs sur la faune piscicole, rejet massif d'eaux usées sur la voie publique...</i>
G3	Sérieux	Interne : effets irréversibles Externe : effets réversibles <i>Ex : accident dont les conséquences sont limitées et essentiellement interne au réseau.</i>	Perte d'exploitation inférieure à 24h impactant le client OU Agression limitée avec destruction restreinte d'équipements <i>Ex : impossibilité d'approvisionner correctement une station d'épuration sur une durée limitée, incendie limité à une armoire électrique...</i>	Rejet d'eaux usées avec un impact modéré sur le milieu naturel OU Nuisance importante pour les riverains <i>Ex : rejet important par temps de pluie ou modéré par temps sec, forte odeur autour d'un regard avec risque de plainte, rejet limité d'eaux usées sur la voie publique</i>
G4	Modéré	Interne : effets réversibles Externe : aucun effet externe <i>Ex : défaillance d'une machine avec risque de blessés légers (arrêt de travail inférieur à 15 jours)...</i>	Perte d'exploitation sans impact pour le client OU Dégât limité sur les équipements <i>Ex : pas d'impact direct sur la capacité à approvisionner les stations d'épuration, équipements endommagés mais rapidement réparable...</i>	Rejet d'eaux usées sans incidence sur le milieu naturel OU Nuisance limitée pour les riverains <i>Ex : rejet réduit par temps de pluie, odeur ponctuelle autour d'un regard sans plainte...</i>
G5	Faible	Interne : Gènes, irritations, soins d'infirmerie en interne Externe : aucun effet externe <i>Ex : défaillance d'une machine sans risque d'arrêt de travail...</i>	Evènement sans conséquence sur l'exploitation <i>Ex : incident sans impact significatif sur les équipements</i>	Evènement sans conséquence sur l'environnement <i>Ex : incident sans impact significatif sur les rejets ou nuisances</i>

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Matrice de criticité :

	Gravité				
Fréquence	Faible	Modéré	Sérieux	Important	Catastrophique
Fréquent	Tolérable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
Probable	Acceptable	Tolérable	Inacceptable	Inacceptable	Inacceptable
Possible	Acceptable	Tolérable	Tolérable	Inacceptable	Inacceptable
Rare	Acceptable	Acceptable	Tolérable	Tolérable	Inacceptable
Extrêmement rare	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Tolérable	Tolérable
Improbable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Tolérable

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Extrait de tableau AMDEC (170 lignes en tout) :

Numérotation	Systèmes et sous-systèmes	Qté	Mode de défaillance	Causes possibles de défaillance	Conséquences sur le système	F	G	C	Critère de gravité considéré	Remarques
1 Entrée des effluents et prétraitement										
1.1	Vannes murales d'entrée de station VMD1 et VMD2	2	1 vanne bloquée fermée	Problème mécanique ou électrique	Une des deux arrivées des effluents bloquée, montée en charge du collecteur associé	Probable	Sérieux	Inacceptable	Exploitation	
			1 vanne bloquée ouverte		Sans conséquences	Probable	Faible	Acceptable		
			2 vannes bloquées fermées		Plus aucune entrée d'effluents en station, montée en charge des collecteurs	Possible	Important	Inacceptable		
			2 vannes bloquées ouvertes		Sans conséquences	Possible	Faible	Acceptable		
			1 vanne bloquée ouverte + 1 vanne bloquée fermée		Une des deux arrivées des effluents bloquée, montée en charge du collecteur associé	Possible	Sérieux	Tolérable		
1.2	Dégrilleurs DG01 et DG02	2	Perte 1 dégrilleur	Blocage mécanique (câbles, râteau, ...) Problème électrique Défaillance centrale hydraulique associée	Une partie des effluents est non dégrillée, usure prématurée des pompes	Fréquent	Modéré	Inacceptable	Exploitation	
			Perte deux dégrilleurs		Aucun effluent dégrillé, usure pompes	Fréquent	Modéré	Inacceptable		
1.3	Broyeurs	2	Perte 1 broyeur	Problème mécanique ou électrique	Une partie des effluents est non dégrillée, usure prématurée des pompes	Fréquent	Modéré	Inacceptable	Exploitation	Théoriquement, lorsque le broyeur est HS, le dégrilleur associé est mis hors service (procédure), et dans un tel cas de figure, une partie des effluents se retrouve non dégrillée. Dans la pratique, lorsque le broyeur est HS, le dégrilleur peut être maintenu opérationnel (ce qui est actuellement le cas, les broyeurs sont HS depuis longtemps mais les dégrilleurs fonctionnent).
			Perte 2 broyeurs		Aucun effluent dégrillé, usure pompes	Fréquent	Modéré	Inacceptable		
1.4	Vannes murales de by-pass des dégrilleurs VM01 et VM02	2	1 vanne bloquée fermée	Problème mécanique ou électrique	Sans conséquences	Probable	Faible	Acceptable	Exploitation	Effluent transite prioritairement par le by-pass si les vannes sont ouvertes
			1 vanne bloquée ouverte		Une partie des effluents est non dégrillée, usure prématurée des pompes	Probable	Modéré	Tolérable		
			1 vanne bloquée fermée + 1 vanne bloquée ouverte		Sans conséquences	Probable	Modéré	Tolérable		
			2 vannes bloquées fermées		Sans conséquences	Possible	Faible	Acceptable		
			2 vannes bloquées ouvertes		Aucun effluent dégrillé, usure pompes	Possible	Modéré	Tolérable		
			1 vanne bloquée fermée + dégrilleur associé HS		Une partie des effluents est non dégrillée	Possible	Sérieux	Tolérable		
			2 vannes bloquées fermées + dégrilleurs associés HS		Aucun effluent dégrillé, usure pompes	Rare	Sérieux	Tolérable		

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Synthèse – Matrice de criticité remplie :

	Gravité				
Fréquence	Faible	Modéré	Sérieux	Important	Catastrophique
Fréquent	3.4 / 5.2	1.2 / 1.3			
Probable	4.2 / 7.3	3.3 / 10.1		4.1 / 5.1 / 9.1	
Possible	8.2		1.4 / 3.1 / 6.2 / 6.3 / 7.1 / 7.2 / 8.3	1.1 / 1.5 / 2.1 / 3.2 / 6.1 / 8.4	
Rare				2.2 / 3.1 / 6.2 / 6.3 / 8.3	
Extrêmement rare				8.1	
Improbable					

Exemple d'une AMDEC réalisée (WSP BG)

Extrait du tableau de traitement des modes de défaillance inacceptable :

Numérotation	Systèmes et sous-systèmes	Pistes d'amélioration	Faisabilité	Coût estimatif
1.1	Vannes murales d'entrée de station VMD1 et VMD2	Maintenance préventive accrue	La maintenance préventive nécessite de manoeuvrer les vannes, ce qui est difficile à réaliser lorsque la station fonctionne	
1.2	Dégrilleurs DG01 et DG02	Installation d'un deuxième dégrilleur en secours par arrivée	Travaux de génie civil importants associés	
1.3	Broyeurs	Réinstallation de broyeurs associés aux dégrilleurs	Remplacement des broyeurs en lieu et place des anciens	
1.5	Poire niveau très haut en aval vannes murales VMD1 et VMD2	Maintenance préventive accrue	Un test bi-annuel de fonctionnement des poires de niveau est réalisé sur site depuis l'inondation de la station en avril 2015	
2.1	Vannes murales d'isolement bâches aspiration VM31 et VM32	Maintenance préventive accrue	La maintenance préventive nécessite de manoeuvrer les vannes, ce qui est difficile à réaliser lorsque la station fonctionne	

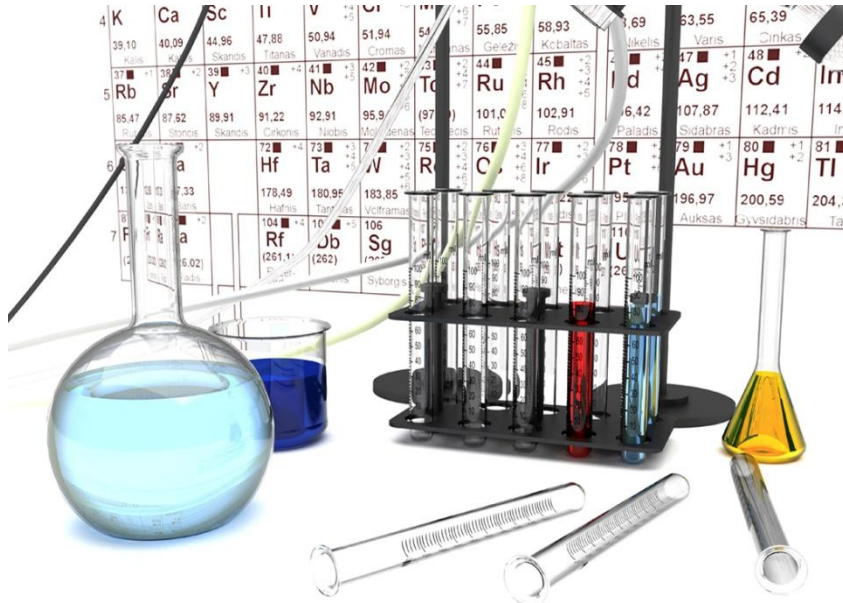
Exercice 3.2

AMDEC

HAZOP

HAZard and OPerability study

HAZOP - HAZard and OPerability study



HAZOP



La méthode HAZOP a été développée par la Société Imperial Chemical Industry (ICI), une des plus importantes dans le domaine de la chimie, au début des années 1970

Elle a depuis été utilisée dans de nombreux domaines de l'industrie

La méthode HAZOP est un **outil d'identification** des dangers très "méthodique" et structuré

Elle consiste à examiner un système afin de déterminer ce qui pourrait survenir si un de ses paramètres se situait **en dehors de ses caractéristiques "normales" de fonctionnement**

Les effets de ces "comportements **déviants**" sont alors évalués

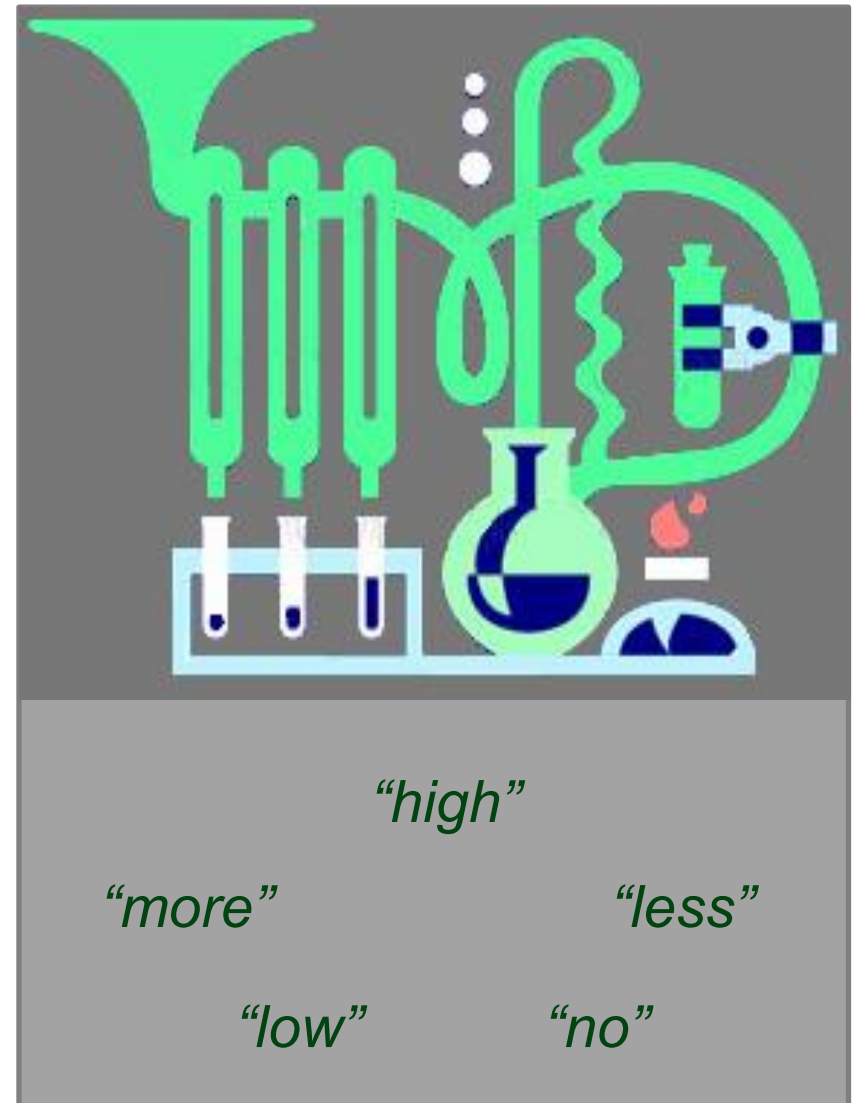
Chaque composant présente plusieurs **paramètres** associés à son fonctionnement comme la pression, le débit, la consommation électrique, etc.



La méthode HAZOP examine chaque paramètre et utilise des "mots-clefs" pour lister les comportements "anormaux" possibles

Les catégories de déviations peuvent varier selon le domaine industriel étudié, et même d'une installation à une autre

L'HAZOP peut être mise en oeuvre aussi bien au stade préliminaire de conception que pour des systèmes existants



Liste de mots-clefs (exemple)

Mots-clefs	Signification
<i>NON</i>	Négation du paramètre attendu
<i>PLUS</i>	Augmentation (quantitative)
<i>MOINS</i>	Diminution (quantitative)
<i>EN PLUS DE</i>	Modification "qualitative" (en +)
<i>PARTIEL</i>	Modification "qualitative" (en -)
<i>INVERSE</i>	Opposé du paramètre attendu
<i>AUTRE QUE</i>	Remplacement complet
<i>TOT</i>	Par rapport au temps
<i>TARD</i>	Par rapport au temps
<i>AVANT</i>	Par rapport aux séquences
<i>APRES</i>	Par rapport aux séquences

Paramètres (1)

Mots-clefs → Paramètres ↓	Plus	Moins	Zéro	Inverse	En plus de	Partiel	Autre
Débit	Haut débit	Bas débit	Pas de débit	Débit inverse		Concentration réduite	Autre matière
Pression	Haute pression	Basse pression	Implosion				Explosion
Température	Température haute	Température basse					
Niveau	Niveau haut	Niveau bas	Pas de niveau		Niveau différent		
Temps	Trop long / en retard	Trop court / trop tôt	Étape non lancée	A l'envers	Action en plus	Action manquante	Mauvais moment
Mélange	Mélange rapide	Mélange lent	Aucun mélange				
Réaction	Réaction rapide	Réaction lente	Pas de réaction				Réaction non souhaitée

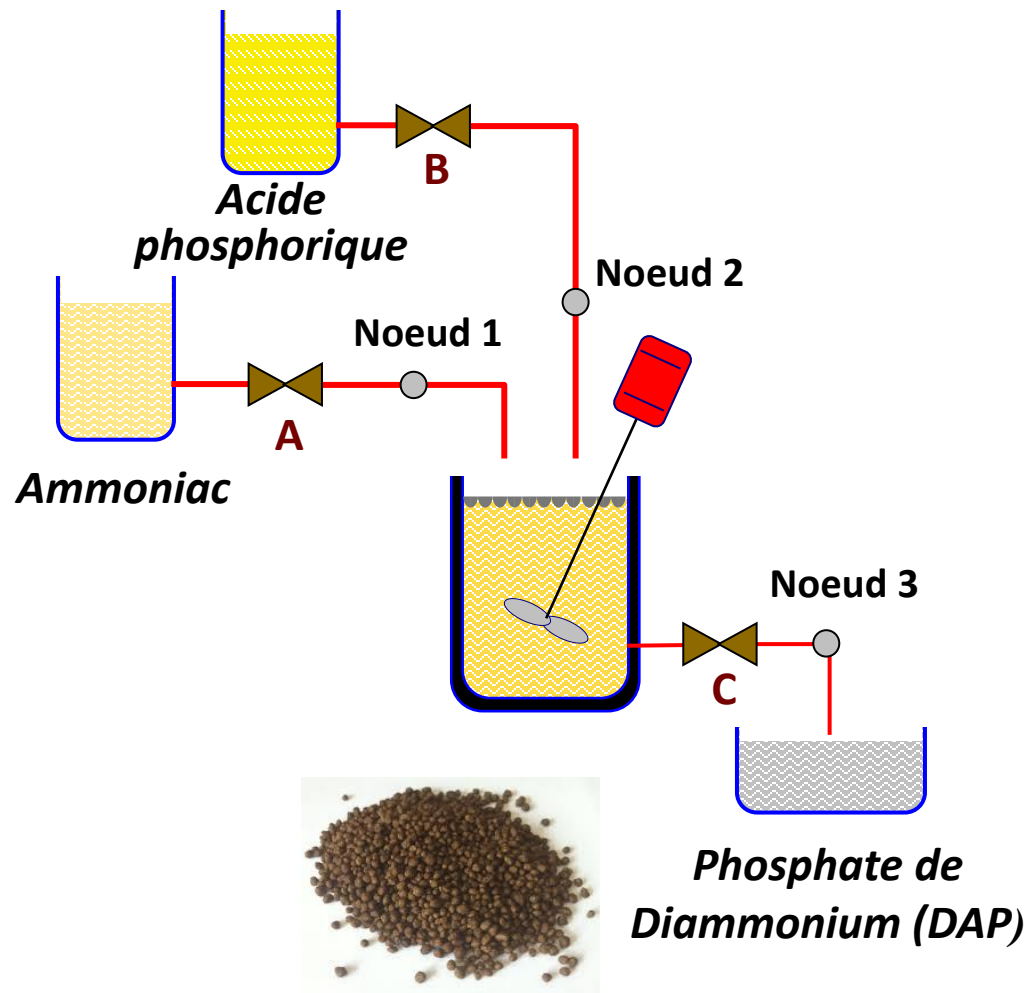
Autres listes....

Grandeurs physiques mesurables		Opérations à réaliser		Actions à réaliser	Fonctions-situations
Température	pH	Chargement	Contrôle	Démarrer	Protection
Pression	Intensité	Dilution	Séparation	Échantillonner	Fuite
Niveau	Vitesse	Chauffage	Refroidissement	Arrêter	Défaut d'utilités
Débit	Fréquence	Agitation	Transfert	Isoler	Gel
Concentration	Quantité	Mélange	Maintenance	Purger	Séisme
Contamination	Temps	Réaction	Corrosion	Fermer	Malveillance

Autres listes...

Paramètres	Température	Pression	Débit	Niveau	Concentration
Déviations possibles	Haute température Basse température Exothermie Endothermie Écart de température Erreur de mesure	Surpression Dépression Vide Pression atmosphérique Erreur de mesure	Débit élevé Débit réduit Débit nul Débit inverse Flux inattendu Erreur de mesure	Haut Bas Moussage Débordement Réacteur vide Erreur de mesure	Augmentation de concentration Dilution Présence d'impuretés
Causes possibles	Excès de chauffage Excès de refroidissement Défaut de chauffage Défaut de refroidissement Combustion Erreur opérateur	Perte de confinement Expansion Bouchage Erreur opérateur	Fuite Pollution Vanne ouverte Erreur opérateur	Ajout Soutirage Évaporation Cristallisation Erreur opérateur	Ajout Oubli d'ajout Fuite Erreur opérateur
Conséquences possibles	Inflammation Explosion Perte de confinement	Explosion Rejet toxique Implosion	Débordement Mélange Échauffement	Débordement Cavitation Dépression	Réaction parasite Emballement thermique Corrosion

Exemple en chimie



L'acide phosphorique et l'ammoniac sont mélangés, et un composé non dangereux, le **phosphate de diammonium**, est produit si la réaction est complète

Si trop peu d'acide phosphorique est ajouté, la réaction est incomplète

Trop peu d'ammoniac engendre un produit non dangereux mais inutile

HAZOP

Exemple de listes guide avec causes et conséquences type (industrie) :

<i>Hypothèses de dérives</i>	<i>Causes</i>	<i>Conséquences</i>
<p>Débit</p> <p>Débit trop élevé</p>	<p>Emballement de pompe - Défaillance de compresseur, de ventilateur, de trémie d'alimentation - mise en parallèle d'une deuxième pompe - Chute de pression au refoulement - Mise en pression de l'aspiration - Introduction d'un autre fluide par fuite à travers une paroi - Défaillance du contrôle - Défaut sur une soupape de sécurité, un disque de rupture, une position de vanne automatique - Erreur opérateur.</p>	<p>Débordement aval - Erosion - Corrosion - Surpression - Mélange - Inversion d'écoulement - Modification des proportions, de température - Passage en zone d'explosivité - Changement de phase - Modification des conditions de réaction, de séparation.</p>
<p>Débit trop faible ou absence de débit</p>	<p>Défaillance de pompe, de compresseur, de ventilateur, de trémie d'alimentation, de transporteur - Défaut d'accouplement - Formation de dépôt dans tuyauterie - Présence de corps étrangers ou sédiments - Fuite vers un autre fluide à travers une paroi - Inversion - Défaut sur une soupape de sûreté, un disque de rupture, une vanne automatique, une purge - Cavitation - Défaillance du contrôle - Manque de produit - Joint plein laissé en place - Formation d'une poche de gaz - Erreur opérateur.</p>	<p>Dépôt en cas de suspension - Température produit - Modification des conditions de réaction, de séparation - Mélange - Inversion d'écoulement par introduction d'un fluide d'un autre réseau - Echauffement de pompe - Modification des proportions - Débordement amont - Changement de phase - Assèchement de garde hydraulique - Passage en zone d'explosivité.</p>
<p>Pression</p> <p>Pression haute</p>	<p>Mise en équilibre avec température extérieure en été</p> <p>- Apport excessif de chaleur (vapeur, chauffage électrique ...) - Refroidissement insuffisant - Emballement réaction ou arrêt réaction - Confinement - Dilatation - Défaillance du contrôle - Mélange - Fuite de l'appareillage - Inversion d'écoulement - Absence de dégazage - Vanne fermée ou joint plein laissé en place - Bouchage par corps étrangers ou sédiments - Variation pression, gel du fluide - Erreur opérateur.</p>	<p>Modification des propriétés physiques et chimiques - Condensation avec corrosion - Explosion appareillage - Emission produit toxique ou inflammable par organe limiteur de pression - Mélange - Fuite - Inversion d'écoulement.</p>

Exercice 3.3

HAZOP