



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Sécurité Industrielle et Environnement

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : *Sécurité Industrielle*

Spécialité: *Sécurité Prévention Intervention*

Thème

Etude des dangers dans une installation de production d'énergie électrique

Présenté et soutenu publiquement par :

MEGHERBI Islem

RADJOUH Abdelwalid

Devant le jury composé de:

| Nom et Prénom | Grade | Etablissement | Qualité |
|-----------------------|-------|---------------|------------------|
| Mr. TAHRAOUI Mohammed | MMA | UNIV2-IMSI | Président |
| Mr. BENATIA Nouredine | MMA | UNIV2-IMSI | Encadreur |
| Mme HEMAMI Zineb | MMA | UNIV2-IMSI | Examineur |

Année 2019/2020

Dédicaces

On dédie ce mémoire

A nos parents pour leur amour inestimable, leur confiance, leur soutien, leurs sacrifices et toutes les valeurs qu'ils ont su m'inculquer.

A nos sœurs ainsi qu'à nos beaux-frères pour leur tendresse, leur complicité et leur présence malgré la distance qui nous sépare.

Aux personnes sans lesquelles on n'aurait jamais eu accès aux différents documents qui nous ont permis de rédiger ce travail.

A toute ma famille ainsi qu'à mes amis.

Islem & walid

Remerciements

*D*e prime abord on tient à remercier Dieu tout puissant pour nous avoir donné la force, le courage et la chance d'étudier et de suivre la voie de la science et de réaliser ce travail.

Nous tenons à remercier tout le corps enseignant et pédagogique de l'institut IMSI et son directeur, pour cette formation intéressante, en espérant que nous serons à la hauteur.

Nos remerciements s'adressent également à monsieur le chef département hygiène et sécurité industrielle (DSIE) pour sa générosité, sa grande patience dont il fait preuve malgré ses charges pédagogiques et administratives, ainsi qu'à l'ensemble des enseignants (es) qui ont contribué à la réussite de notre formation.

*Nous tenons à exprimer nos remerciements et notre reconnaissance à notre encadreur **Mr** Nourredine BENATIA pour ses conseils et encouragements, en espérant qu'il trouve dans ce mémoire l'expression de notre estime et de notre respect les plus profonds.*

Nous remercions aussi le jury qui nous fait l'honneur de juger notre mémoire.

Enfin nous exprimons également nos remerciements à tous nos amis et nos collègues pour leur amitié, leur soutien, et à toute personne ayant contribué à la réalisation de ce travail,

*Walid & Islem
Décembre 2020*

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Acronymes et abréviations

Résumé

Abstract

ملخص

| | |
|--|----------|
| Introduction général..... | 1 |
| Chapitre I : Nomenclature des modes de production des installations de production | |
| 1.1. Production de l'énergie électrique..... | 2 |
| 1.1.1. Introduction..... | 2 |
| 1.1.2. Définitions | 2 |
| 1.1.3. Appel de puissance d'un réseau | 3 |
| 1.1.4. Modes de production de l'énergie électrique | 3 |
| 1.2.Énergie hydroélectrique..... | 3 |
| 1.2.1. Principe de fonctionnement | 3 |
| 1.2.2. Puissance disponible | 5 |
| 1.2.3. Différentes centrales hydrauliques | 5 |
| 1.2.4. Parties principales d'une centrale hydraulique | 5 |
| 1.2.5. Avantages et inconvénients | 7 |
| 1.3 Énergie thermique : centrale au charbon, au fioul ou au gaz..... | 7 |
| 1.3.1. Introduction | 7 |
| 1.3.2. Turbines à combustion (tac) | 7 |
| 1.3.3. Avantages et inconvénients..... | 9 |
| 1.4 Énergie nucléaire : centrale nucléaire..... | 10 |
| 1.4.1. Introduction | 10 |
| 1.4.2. Composition du noyau atomique | 10 |
| 1.4.3. Energie libérée par la fission | 11 |
| 1.4.4. Réaction en chaine | 11 |
| 1.4.5. Avantages et inconvénients | 11 |
| 1.5 Énergie éolienne : éolienne..... | 12 |

| | |
|---|----|
| 1.5.1. Qu'est-ce que l'énergie éolienne | 12 |
| 1.5.2. Fonctionnement d'une éolienne | 12 |
| 1.5.3. Composants d'une éolienne à axe horizontal | 12 |
| 1.5.4. Avantages et inconvénients | 14 |
| 1.6 Géothermie : centrale géothermique..... | 15 |
| 1.6.1. Introduction..... | 15 |
| 1.6.2. Origine de la géothermie..... | 15 |
| 1.6.3. Le gradient géothermique. | 15 |
| 1.6.4. Le flux géothermique | 16 |
| 1.6.5. Caractéristiques générales de la géothermie | 16 |
| 1.6.6. Avantages et inconvénients | 17 |
| 1.7 Rayonnement solaire : panneau, centrale solaire photovoltaïque..... | 17 |
| 1.7.1. Principe de fonctionnement..... | 17 |
| 1.7.2. Technologie | 17 |
| 1.7.3. Avantages et inconvénients | 18 |
| 1.8 Biomasse..... | 18 |
| 1.8.1. Introduction | 18 |
| 1.8.2. Diversité des ressources & diversité des usages | 20 |
| 1.8.3. Centrales électriques à combustion biomasse solide | 20 |
| 1.8.4. Avantages et inconvénients | 21 |

Chapitre II : Objectifs et contexte d'une étude de danger

| | |
|--|----|
| 2.1 Objectifs d'une étude de dangers | 23 |
| 2.1.1 Pourquoi une étude de dangers | 25 |
| 2.1.2 Gestion des risques et étude de dangers..... | 26 |
| a) Processus de la gestion des risques..... | 26 |
| b) L'étude de danger : un outil dans le processus de gestion des risques | 29 |
| 2.2 Contexte réglementaire et principaux textes de référence..... | 30 |
| 2.2.1. En Europe : Les Directives Seveso..... | 31 |

Chapitre III : Processus d'une étude de danger

| | |
|---|----|
| 3.1 Le contexte réglementaire européen et national..... | 36 |
| a) Au niveau européen | 36 |

| | |
|---|----|
| b) Au niveau national..... | 38 |
| 3.2 La directive SEVESO 3 et sa transposition..... | 39 |
| 3.3 Législation des installations classées : nomenclature, code de l'environnement et textes applicatifs..... | 40 |
| 3.4 Textes réglementaires relatifs à l'étude de dangers..... | 43 |
| 3.5 Vocabulaire et notions associés au risque industriel..... | 46 |
| 3.6 Principe de proportionnalité..... | 46 |
| 3.7 Les 4 piliers de la réduction des risques..... | 47 |
| a) Réduction des dangers à la source..... | 47 |
| b) Maîtrise de l'urbanisation..... | 48 |
| c) Plans d'urgence..... | 49 |
| d) Information du public..... | 50 |
| | |
| Chapitre IV : Accidentologie dans le secteur de l'énergie électrique | |
| 4.1 Accidents de travail (statistiques mondiales et nationales)..... | 51 |
| a) Principaux facteurs..... | 51 |
| b) Statistiques de l'INSERM..... | 52 |
| 4.2. Le danger de l'électricité sur le corps humain..... | 52 |
| 4.2.1. Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain..... | 52 |
| 4.2.2. Analyse d'accidents d'origine électriques..... | 53 |
| a) Par contact direct..... | 53 |
| b) Par contact indirect | 55 |
| 4.3. Accidents ayant relations avec des centrales d'énergie électrique (centrale Nucléaire) | 56 |
| a) Introduction..... | 56 |
| b) Les effets sanitaires d'une exposition à la radioactivité..... | 56 |
| c) Grandes crises nucléaires..... | 57 |
| d) Conséquences sanitaires et environnementales..... | 60 |
| e) Parc mondial..... | 62 |
| f) La Sûreté Nucléaire..... | 63 |
| g) Gestion de crise..... | 65 |
| h) Conclusion..... | 67 |
| Conclusion général..... | 70 |

| | |
|----------------------------------|----|
| Références bibliographiques..... | 71 |
| Annexe..... | 72 |

Liste des tableaux

Chapitre 1

Tableau 1.1 : les différents types de centrales hydrauliques par rapport à leur hauteur de chute

Tableau 1.2: Composition atomique de quelques éléments

Chapitre 3

Tableau. 3.1 : concepts et définitions

Chapitre 4

Tableau 4.1: Accident mortels

Tableau 4.2: Accidents du travail d'origine électrique

Tableau 4.3: Accidents d'origine électrique selon le CTN

Liste des figures

Chapitre 1

Figure 1.1: Voies de production de l'énergie électrique

Figure 1.2 : Turbine à gaz simple

Figure 1.3: Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur

Figure 1.4 : Géothermie : principaux usages en fonction du contexte géologique.

Figure 1.5 : une cellule photovoltaïque

Chapitre 2

Figure 2.1 : Illustration du risque

Figure 2.2 : Processus de gestion des risques (ISO/CEI 31010:2009)

Chapitre 3

Figure 3.1 : Les composantes principales du risque

Chapitre 4

Figure 4.1 : Electrocutation par ligne de contact alimentant un pont roulant

Figure 4.2 : Effets sanitaires supposés (faibles doses) et connus de l'exposition à des substances radioactives

Figure 4.3 : Débit de rejets cumulés pour tous les radionucléides dans l'atmosphère des différents réacteurs (IRSN, mars 2012)

Figure 4.4 : Nombre de réacteurs en fonction de leur âge à l'échelle mondiale

Figure 4.5: Les différents degrés d'accidents nucléaires

Figure 4.6: Gestion d'une crise nucléaire

Liste Des Abréviations

| | |
|--------------|---|
| EDD | Etude De Danger |
| TAC | Turbine à Combustion |
| MeV | Méga Electron Volt |
| ISO | Organisation internationale de normalisation |
| CEI | Commission électrotechnique internationale |
| ALARP | As Low As Reasonably Achievable |
| DREAL | Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement |
| POI | Plans d'Opérations Internes |
| PPI | Plans Particuliers d'Intervention |
| CHSCT | Comité d'hygiène, de Sécurité et des Conditions de Travail |
| SUP | Servitudes d'utilité Publiques |
| PPRT | Plans de Prévention des Risques Technologiques |
| CSS | Commissions de Suivi de Site |
| SGS | Système de Gestion de la Sécurité |
| UE | Union Européenne |
| ICPE | Installation Classée pour la Protection de l'Environnement |
| CE | Conformité Européenne |
| CLP | Classification, Labelling, Packaging |
| IED | Directive sur les Emissions Industrielles |
| AFNOR | Association Française de Normalisation est l'Organisation Française |
| ONU | Organisation des Nations Unies |
| OIT | Organisation internationale du Travail |
| UV | Ultraviolet |
| BTP | Bâtiment et Travaux Public |

| | |
|-------------|--|
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire |
| AIEA | International Atomic Energy Agency |
| INES | International Nuclear Event Scale |
| ASN | Autorité de Sûreté Nucléaire |
| PUI | Plan d'Urgence Interne |
| NISA | Agence de Sûreté Nucléaire et Industrielle |

Résumé

Durant ces dernières décennies, les risques industriels ont constitué un problème de maîtrise de sécurité total, parmi ces risques on apprécie les risques électriques qui ont un facteur de gravité très important sur les travailleurs et le matériel dans le domaine industriel

Ce travail a été dans le sens à faire comprendre aux personnes concernées les risques encourus et leur effets à travers une étude de danger dans les installations qui produisent de l'énergie électrique afin de déduire les méthodes à acquérir pour éviter les accidents dans ces installations et les meilleurs moyens de prévention

Pour cela nous avons divisé notre étude en quatre chapitres comme suit :

La première partie concerne les différents types des installations de production de l'énergie électrique à travers le temps, en indiquant leur mode de fonctionnement et leurs avantages et leurs inconvénients

La deuxième partie contient la définition et les objectifs d'une étude de danger et son rôle primordial dans la gestion des risques, en passant par les directives SEVESO et la réglementation européenne concernant l'étude de danger

La troisième partie recueille les différents textes réglementaires relatifs aux études de danger (au niveau national et européen), aussi la législation des installations classées dans le code de l'environnement et sa nomenclature

La quatrième partie est dédiée aux accidents qui ont déroulé au sein des installations de production de l'énergie électriques, et les dangers représentés par le risque électrique sur le corps humain en basant sur des statistiques mondiales et européennes

Abstract

During the last decades, industrial risks have been a problem of total safety control, among these risks we appreciate the electrical risks which are a very important factor of gravity on workers and equipment in the industrial field.

This work has been aimed at making the people concerned understand the risks involved and their effects through a study of danger in the installations that produce electrical energy in order to deduce the methods to be acquired to avoid accidents in these installations and the best means of prevention.

For this reason we have divided our study into four chapters as follows:

The first part deals with the different types of installations for the production of electrical energy through time, indicating their mode of operation and their advantages and disadvantages.

The second part contains the definition and objectives of a hazard study and its primary role in risk management, passing through the SEVESO directives and the European regulations concerning hazard studies.

The third part gathers the various regulatory texts relating to the studies of danger (at the national and European level), also the legislation of the installations classified in the code of the environment and its nomenclature.

The fourth part is dedicated to the accidents that took place in the electric power generation facilities, and the dangers represented by the electric risk on the human body based on global and European statistics.

ملخص

خلال العقود الماضية، كانت المخاطر الصناعية مشكلة السيطرة الكاملة على السلامة، ومن بين هذه المخاطر نقدر المخاطر الكهربائية التي تمثل عاملاً مهماً جداً من عوامل الجاذبية على العمال والمعدات في المجال الصناعي .

ويهدف هذا العمل إلى جعل ذوي الشأن يفهمون المخاطر التي تنطوي عليها وأثارها من خلال دراسة الخطر في المنشآت التي تنتج طاقة كهربائية لاستخلاص الوسائل التي يمكن الحصول عليها لتفادي وقوع حوادث في هذه المنشآت وفضل وسائل الوقاية .

لذلك قسمنا دراستنا إلى أربعة فصول على النحو التالي:

يتناول الجزء الأول أنواع المنشآت المختلفة لإنتاج الطاقة الكهربائية عبر الزمن، مع بيان طريقة تشغيلها ومزاياها وعيوبها .

ويتضمن الجزء الثاني تعريف الدراسة المتعلقة بالمخاطر وأهدافها ودورها الرئيسي في إدارة المخاطر، وذلك من خلال توجيهات اللجنة الدائمة المعنية بالمعايير المحاسبية الدولية للقطاع العام واللوائح الأوروبية المتعلقة بدراسات المخاطر .

أما الجزء الثالث فيجمع مختلف النصوص التنظيمية المتعلقة بدراسات الخطر (على الصعيدين الوطني والأوروبي)، وكذلك تشريعات المنشآت المصنفة في مدونة البيئة وتسميتها .

أما الجزء الرابع فيخصص للحوادث التي وقعت في منشآت توليد الطاقة الكهربائية، والمخاطر المتمثلة في الخطر الكهربائي على جسم الإنسان استناداً إلى إحصاءات عالمية وأوروبية.

Introduction générale

L'énergie est, au même titre que l'eau et la nourriture, une ressource indispensable à la vie. Depuis le Sommet de Rio en 1992, l'accès à l'énergie est considéré comme un élément indispensable à un développement humain pérenne. Son abondance relative a contribué de façon décisive au développement économique et technique au cours des âges. En effet, l'implantation de services énergétiques modernes (centrale électrique, éclairage, centrale thermique...) permet non seulement d'améliorer la qualité de vie des populations, mais aussi de briser le cercle de la pauvreté en améliorant l'efficacité des services de santé et d'éducation, en développant la mobilité et en favorisant le développement de l'artisanat, de l'industrie et des services urbains. Promouvoir un accès plus équitable à l'énergie, c'est faire un pas de plus dans l'atteinte des Objectifs du Millénaire pour le développement (OMD) définis en 2000 par l'Assemblée Générale des Nations Unies pour répondre aux problèmes de l'extrême pauvreté.

Au cours du XXe siècle, la découverte de sources d'énergies concentrées et aisément récupérables, L'apparition de l'électricité au XIXe siècle, et plus encore son développement au XXe, a révolutionné l'usage de l'énergie dans de nombreux domaines : habitat et vie domestique, circulation et traitement de l'information, transports...

Cependant, malgré les progrès considérables accomplis, les besoins élémentaires en énergie d'une part encore trop importante de l'humanité ne sont pas satisfaits.

L'enjeu majeur, pour les années qui viennent, est celui de l'envolée des besoins énergétiques. Selon un scénario élaboré par l'Agence Internationale de l'Energie (l'AIE) dans son rapport publié début novembre 2007, les pays en développement, qui ont dans leur ensemble, une croissance économique et démographique rapide, devraient connaître une envolée de la consommation en énergie, passant de 41% aujourd'hui à plus de 50% de la demande mondiale à horizon 2030.

La hausse de la demande mondiale d'énergie constitue une menace réelle et de plus en plus grave à court terme pour la sécurité énergétique de la planète et plus encore pour des pays important la majeure partie de leur énergie.

1.1. Production de l'énergie électrique

1.1.1. Introduction

L'énergie électrique est essentielle pour le développement économique, Son importance s'accroît au fur et à mesure du progrès technique, l'industrialisation et le besoin de confort moderne. L'augmentation de sa production est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesse. La production d'électricité, ramenée au nombre d'habitants, est donc un bon indicateur permettant de mesurer les écarts de développement entre les différentes régions de monde.

1.1.2. Définitions

- ✓ **La production de l'énergie électrique** consiste en la transformation de l'ensemble des énergies primaires en énergie électrique.
- ✓ **Une centrale électrique** est un site industriel destiné à la production d'électricité. Elle transforme diverses sources d'énergie primaire en énergie électrique en établissant des chaînes énergétiques.
- ✓ **Tranche de production** Elle correspond à l'unité de production standard d'une centrale électrique. On parle généralement de tranche pour qualifier les unités de production des centrales nucléaires ou des centrales thermiques, qui peuvent contenir plusieurs tranches sur un même site.
- ✓ **Moyen de production « dispatchable »** Ce terme désigne un moyen de production d'énergie considéré comme flexible vis-à-vis du gestionnaire de réseau. Les moyens de production « dispatchables » peuvent notamment réagir de manière commandée à une sollicitation du gestionnaire de réseau en injectant à la hausse ou à la baisse, ceci dans un temps imparti.
- ✓ **Moyens de production centralisé et décentralisé** Les termes centralisé et décentralisé rendent compte du niveau de dissémination d'un parc de production d'énergie. Sans qu'il y ait de distinction univoque entre les deux catégories, on parlera de moyens centralisés lorsque la production énergétique est concentrée en quelques points du réseau (centrales nucléaires, centrale thermique à flamme, etc.) et de moyens décentralisés lorsqu'il existe une multitude de points d'injection avec des systèmes de tailles unitaires réduites (éolienne, panneau solaire, etc.).
- ✓ **Pointe électrique** Elle correspond à un maximum de puissance électrique sur le réseau, et donc à un pic de consommation d'électricité. Les profils de consommation d'électricité suivent une trame globalement périodique avec un pas journalier, hebdomadaire ou

saisonnier. Ainsi, on parlera de pointe journalière pour désigner le maximum de puissance appelée sur une journée. Le niveau de la pointe saisonnière, désignant le maximum de puissance appelée sur une année, permet quant à lui de dimensionner en puissance le parc de production d'électricité.

- ✓ **Réactivité** La réactivité d'un moyen de production d'énergie qualifie sa capacité à répondre plus ou moins vite à une consigne de fonctionnement. La définition précise d'un indicateur de réactivité dépend du type de consigne

Considérez (réactivité au démarrage ou en fonctionnement, temps de montée en charge partielle ou totale, vitesse de montée en charge, etc.).

1.1.3. Appel de puissance d'un réseau

La puissance demandée par l'ensemble des clients d'un réseau subit de grandes fluctuations selon l'heure de la journée et selon les saisons.

Ces fluctuations de l'appel de puissance obligent les compagnies d'électricité à prévoir trois classes de centrales de génération :

- ✓ **Les centrales de base** de grande puissance qui débitent leur pleine capacité en tout temps. Les centrales nucléaires et les centrales thermiques sont particulièrement aptes à remplir ce rôle.
- ✓ **Les centrales intermédiaires** de puissance moyenne qui peuvent réagir rapidement aux fluctuations de la demande. C'est le cas des centrales hydrauliques dont le débit est facilement contrôlable.
- ✓ **Les centrales de pointe** de puissance moyenne qui ne débitent leur pleine capacité que pendant de courtes périodes. C'est pourquoi les compagnies d'électricité encouragent les usagers à limiter leur charge de pointe.

1.1.4. Modes de production de l'énergie électrique

Une des souplesses signalées du système électrique est de pouvoir disposer de moyens de production alimentés par les sources d'énergie les plus diverses, dont les caractéristiques techniques et économiques sont suffisamment variées pour satisfaire à tous les aspects de la demande, et dont les localisations géographiques peuvent être très différentes, imposées soit par la source d'énergie, soit pour le bon équilibre dynamique du réseau. [1]

Un groupe de production se caractérise par de nombreux paramètres techniques dont on ne cite ici que les principaux :

Sa puissance unitaire nominale ;

- ✓ son domaine de fonctionnement en tension et en fréquence ;
- ✓ son minimum technique (sa puissance minimale en fonctionnement continu) ;
- ✓ son temps de démarrage, son aptitude à participer au réglage de la fréquence ;
- ✓ sa capacité de suivi de charge.

Les modes de production se classent en grandes catégories selon le principe de la transformation en électricité de l'énergie primaire utilisée. Les plus courantes sont brièvement décrites dans le schéma ci-dessous.

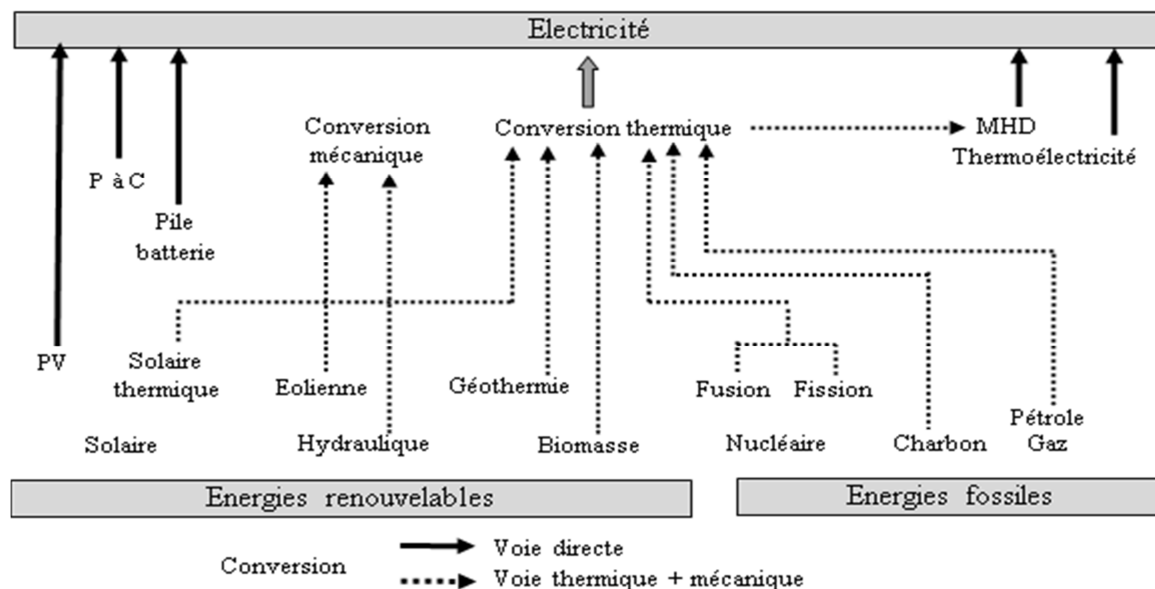


Figure 1.1: Voies de production de l'énergie électrique

Le choix d'un système de production d'électricité dépend principalement de la disponibilité des ressources énergétiques. Par exemple, la majorité des centrales de production d'énergie électrique en Algérie utilise le gaz naturel comme énergie primaire. Le choix du système peut aussi dépendre de l'impact environnemental des différentes ressources énergétiques. [1]

1.2. Énergie hydroélectrique

1.2.1. Principe de fonctionnement

Les centrales hydroélectriques convertissent l'énergie de l'eau en mouvement en énergie électrique. L'énergie provenant de la chute d'une masse d'eau est tout d'abord transformée

dans une turbine hydraulique en énergie mécanique. Cette turbine entraîne un alternateur dans lequel l'énergie mécanique est transformée en énergie électrique.

1.2.2. Puissance disponible

La puissance **P** que met en jeu une chute d'eau, d'une hauteur **h** et d'un débit **q** est donnée par

$$P = 9.81. q. h$$

P : puissance en KW

Q : débit en m³/s

H : hauteur de chute mètre

Le choix de l'emplacement d'une centrale hydro-électrique dépend donc de ces facteurs.

A cause des pertes, la puissance mécanique que l'on peut recueillir sur l'arbre de la turbine est inférieure à la puissance fournie par l'eau. Cependant, le rendement des turbines hydrauliques est élevé : de l'ordre de (80 à 94)% pour les grosses unités. Dans les alternateurs, la transformation de puissance se fait à un rendement de (97 à 98.5)%. [2]

1.2.3. Différentes centrales hydrauliques

| Centrale | Hauteur de chute | Turbine | Situation de la Centrale |
|-----------------------------|------------------------------------|----------------|---------------------------------|
| Haute chute | $h > 300 \text{ m}$ | Pelton | à quelques km de la prise d'eau |
| Moyenne chute | $30 \text{ m} < h < 300 \text{ m}$ | Francis | implantée dans le barrage |
| Basse chute ou fil de l'eau | $h < 30 \text{ m}$ | Kaplan | implantée au fil de l'eau |

Tableau 1.1 : les différents types de centrales hydrauliques par rapport à leur hauteur de chute

1.2.4. Parties principales d'une centrale hydraulique

Une centrale hydro-électrique comporte essentiellement :

a) Barrage

Les barrages de retenue sont établis en travers du lit des rivières ils servent à concentrer les chutes près des usines et à former des réservoirs d'emmagasinement. On peut ainsi créer des réserves d'eau pour compenser l'insuffisance de débit pendant les périodes de sécheresse et assurer à l'usine une alimentation en eau plus uniforme.

Les barrages peuvent être en béton, en enrochement ou en terre. Les barrages du type poids sont les plus utilisés, ils s'opposent à la poussée des eaux par leur masse même. [2]

b) Conduite d'amenée

Elle conduit l'eau du barrage jusqu'au turbines. A l'extérieur de l'usine, elle est constituée par un canal, un tunnel ou un tuyau, la partie intérieure appelée conduite forcée est en béton, en acier ou en fonte. On dispose à l'entrée de la conduite forcée, des vannes qui permettent de contrôler l'admission de l'eau. Ces vannes sont commandées par le régulateur de vitesse.

c) Conduite d'échappement

Après être passée dans les turbines, l'eau retourne dans la rivière par la conduite d'échappement. Cette dernière comporte une cheminée de succion et un canal de fuite qui peut être le lit même de la rivière.

d) Salle de commande

Les appareils de commande et de contrôle sont groupés ensemble dans une salle d'où le personnel peut surveiller la marche des groupes générateurs.

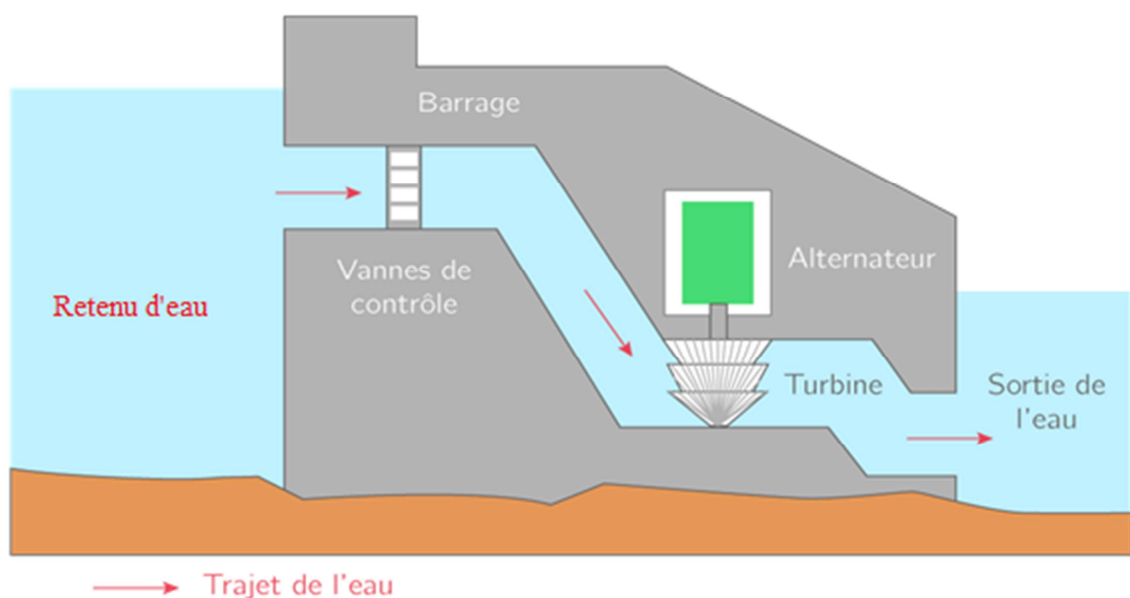


Figure 1.2 : le fonctionnement d'une centrale hydraulique

1.2.5. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Usage de ressources renouvelables, sans émission de gaz à effet de serre pour la production d'électricité
- ✓ Forte réactivité (Démarrage en quelques secondes)
- ✓ Longue durée de vie (plus de 50 ans)
- ✓ Coût de production d'électricité faible

b) Inconvénients

- ✓ Raréfaction des sites exploitables (contraintes géographiques)
- ✓ Acceptabilité sociétale potentiellement complexe (impact sur la continuité écologique des cours d'eau)
- ✓ Production d'électricité fatale pour les centrales sans stock

1.3. Énergie thermique : centrale au gaz

1.3.1. Introduction

Les centrales à gaz sont basées sur la combustion du gaz naturel ou fioul dans de l'air sous pression et sur la détente des gaz chauds brulés dans une turbine couplée à un alternateur.

La turbine est l'élément de base d'une centrale électrique. C'est un moteur rotatif qui convertit l'énergie de vapeur ou de gaz en énergie mécanique. Plus généralement, c'est un organe permettant la détente d'un fluide en recueillant son énergie sous formes mécanique. On distingue les turbines hydrauliques, les turbines à vapeur et les turbines à gaz.

1.3.2. Turbines à combustion (tac)

Les turbines à gaz (turbines à combustion) sont plus généralement connues pour leur application dans le domaine de l'aéronautique, mais elles ont également utilisées pour la propulsion ferroviaire et marine. Aujourd'hui, les générateurs à turbine à gaz produisent la plus grande partie de l'énergie électrique dans le monde.

Le système d'une turbine à gaz est composé principalement d'un compresseur (généralement à plusieurs étages), d'un système de combustion (plusieurs chambres de

combustion), d'une turbine à plusieurs étages, un dispositif de démarrage et quelques auxiliaires. [2]

Dans sa forme la plus simple et la plus répandue, une turbine à combustion est composée de trois éléments :

- ✓ Un compresseur, centrifuge ou plus généralement axial, qui a pour rôle de comprimer de l'air ambiant à une pression comprise aujourd'hui entre 10 et 30 bars environ ;
- ✓ Une chambre de combustion, dans laquelle un combustible gazeux ou liquide est injecté sous pression, puis brûlé avec l'air comprimé, avec un fort excès d'air afin de limiter la température des gaz d'échappement ;
- ✓ Une turbine, généralement axiale, dans laquelle sont détendus les gaz qui sortent de la chambre de combustion.

Dans une turbine à combustion (TAC), l'électricité est générée grâce à la circulation de gaz d'échappement issus d'une chambre de combustion et traversant directement la turbine. La chambre de combustion est le plus souvent interne à la turbine, elle génère de la chaleur à partir d'un combustible (gaz ou fioul) et d'air initialement comprimé.

Sous cette forme, la turbine à gaz constitue un moteur à combustion interne à flux continu.

On notera que le terme de turbine à gaz provient de l'état du fluide de travail, qui reste toujours gazeux, et non du combustible utilisé, qui peut être aussi bien gazeux que liquide.

Sur le réseau électrique, la forte réactivité des TAC (moins de 30 min pour atteindre la puissance max) est souvent mise à profit pour fournir la pointe électrique.

Les TAC sont également répandus pour la production décentralisée dans l'industrie ou le tertiaire, notamment pour un fonctionnement en cogénération.

L'intérêt de la cogénération sur les TAC réside dans la haute température des fumées de combustion, dont la chaleur peut être récupérée et valorisée sans affecter la production électrique. [2]

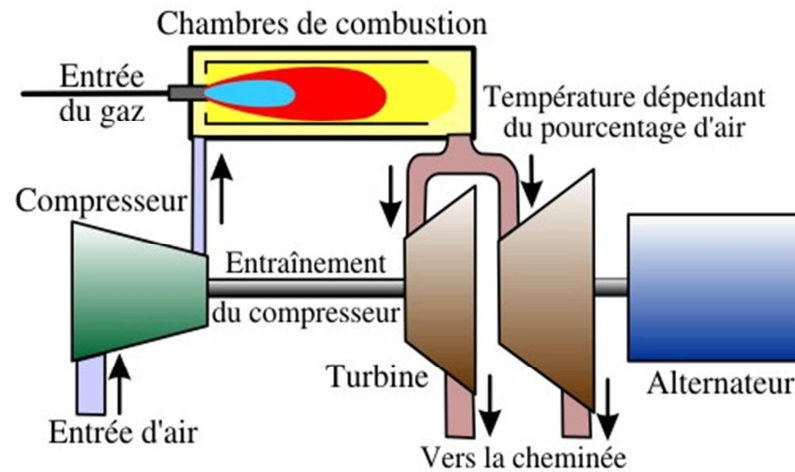


Figure 1.5 : Turbine à gaz simple

1.3.3. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Moyen de production d'électricité « dispatchable » pour répondre aux variations de la demande
- ✓ Forte réactivité (moins de 30 min pour atteindre la puissance max)
- ✓ Autonomie et sécurité de fourniture des TAC fioul, grâce au stock de combustible sur site
- ✓ Longue durée de vie (25 à 30 ans)
- ✓ Qualité de la chaleur pour cogénération (haute température)

b) Inconvénients

- ✓ Usage de combustibles fossiles (raréfaction et coût de la ressource, dépendance énergétique)
- ✓ Emissions de gaz à effet de serre et d'éléments polluants, notamment pour le fioul (SO_x, NO_x)
- ✓ Coût et usure liés aux arrêts / démarrages (croissants avec le besoin de flexibilité sur les réseaux)
- ✓ Besoin d'un débouché chaleur pour la cogénération

1.4. Énergie nucléaire : centrale nucléaire

1.4.1. Introduction

Les centrales nucléaires produisent l'électricité à partir de la chaleur libérée par une réaction nucléaire. Ce phénomène est provoqué par la division du noyau d'un atome, procédé que l'on appelle fission nucléaire.

Une centrale nucléaire est identique à une centrale thermique à vapeur, sauf que la chaudière est remplacée par un réacteur contenant le combustible nucléaire en fission.

Une telle centrale comprend donc une turbine à vapeur, un alternateur, un condenseur, etc. comme dans une centrale thermique conventionnelle. Le rendement global est semblable (entre 30 % et 40 %) et l'on doit encore prévoir un système de refroidissement important, ce qui nécessite un emplacement près d'un cours d'eau ou la construction d'une tour de refroidissement. A cause de ces similitudes, nous nous limiterons à l'étude du principe de fonctionnement et des caractéristiques du réacteur lui-même.

1.4.2. Composition du noyau atomique

Le noyau d'un atome est composé de protons et de neutrons, il existe des éléments appelés

« Isotopes » contenant un ou quelques neutrons en surplus par rapport au nombre habituel.

| Éléments | Symbole | Protons | Électrons | Neutrons |
|-------------|-------------------------------|---------|-----------|----------|
| Hydrogène | H | 1 | 1 | 0 |
| Deutérium | ² H | 1 | 1 | 1 |
| Tritium | ³ H | 1 | 1 | 2 |
| Eau légère | H ₂ O | 10 | 10 | 8 |
| Eau lourde | ² H ₂ O | 10 | 10 | 10 |
| Uranium 235 | ²³⁵ U | 92 | 92 | 143 |
| Uranium 238 | ²³⁸ U | 92 | 92 | 146 |

Tableau 1.2: Composition atomique de quelques éléments

L'uranium 238 est très répandu tandis que l'uranium 235 est rare. En effet les gisements naturels de l'uranium (U_3O_8) contiennent 99.3 % d'atomes ^{238}U et 0.7 % de l'isotope ^{235}U .

L'uranium 235 et l'eau lourde sont essentielles pour le fonctionnement des réacteurs.

1.4.3. Energie libérée par la fission

Lorsque le noyau subit la fission, il se sépare en deux, une quantité d'énergie est libérée de la diminution de la masse. Sa valeur est donnée par la relation :

$$E = \Delta m \cdot c^2 \text{ Avec } \Delta m : \text{ Diminution de la masse}$$

Une diminution de 1 Gramme donne une énergie $E = 9.1013$ joule, équivalent à trois tonnes de charbon.

Lors de la fission de U^{235} , il se produit une légère diminution de la masse. U^{235} est fissile mais U^{238} ne l'est pas.

De grandes usines sont construites pour augmenter la proportion de U^{235} dans le combustible, procédé que l'on appelle « Enrichissement ». [3]

1.4.4. Réaction en chaîne

La fission d'un atome d'uranium est provoquée par le bombardement de son noyau avec des neutrons en mouvement. Le neutron est un excellent projectile car il ne subit aucune force de répulsion à mesure qu'il s'approche du noyau.

Si l'impact est suffisamment intense, le noyau se scinde en deux et la diminution de masse qui en résulte libère de l'énergie.

La fission d'un atome U^{235} dégage une énergie de 218 MeV sous forme de chaleur. La fission s'accompagne de l'éjection de 02 ou 03 neutrons à hautes vitesses qui peuvent entrer à leur tour en collision avec d'autres atomes (Principe de la bombe atomique).

1.4.5. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Pas d'émission de gaz à effet de serre pour la production d'électricité
- ✓ Coût relativement faible de combustible
- ✓ Longue durée de vie (40 à 60) ans
- ✓ Forte densité énergétique

b) Inconvénients

- ✓ Gestion des déchets nucléaires

- ✓ Usage de combustible fossile (Dépendance énergétique)
- ✓ Acceptabilité sociale complexe
- ✓ Criticité d'impact en cas d'incident
- ✓ Complexité du démantèlement et de la gestion de la fin de vie des centrales

1.5. Énergie éolienne : éolienne

1.5.1. Qu'est-ce que l'énergie éolienne

L'énergie éolienne qui doit son nom au dieu grecque responsable des vents nommé Eole, est produite par la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Il est possible ainsi de produire deux sortes d'énergies. Premièrement, l'hélice peut se relier à des systèmes mécaniques servant à mouliner le grain ou à pomper l'eau (il s'agit du principe des moulins à vent). Il est aussi possible de rattacher l'hélice à un générateur transformant l'énergie mécanique en énergie électrique.

La quantité d'énergie produite dépend en premier lieu de la vitesse du vent élevée au carré, puis de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air.

Une masse du vent animée d'un mouvement rectiligne renferme une énergie sous forme cinétique. On l'exprime par la relation bien connue :

$$E_c = \frac{1}{2} m v^2 \text{ où } m \text{ est la masse du vent et } v \text{ sa vitesse.}$$

Or la masse instantanée du vent qui traverse la surface balayée par les pales d'une éolienne vaut : $M = A \rho V$ où A est la surface balayée par les pales, ρ la densité de l'air et V sa vitesse.

La puissance théorique qu'une éolienne pourrait retirer de l'action du vent est donc :

$$P_{\max} = \frac{1}{2} A \cdot \rho \cdot v^3$$

1.5.2. Fonctionnement d'une éolienne

L'éolienne, appelée aussi aérogénérateur, permet une transformation de l'énergie cinétique produite par le vent en énergie mécanique de rotation dans le but de produire de l'électricité.

1.5.3. Composants d'une éolienne à axe horizontal

Les éoliennes à axe horizontal sont composées :

- ✓ **Des fondations** : Elles assurent l'ancrage et la stabilité de l'éolienne. Leur taille est proportionnelle à la hauteur de l'éolienne. Dans le cas des éoliennes les plus connues, la fondation nécessite environ 2000 tonnes de béton.
- ✓ **Du mât (ou tour)** : Il est généralement en métal, il supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). [4]

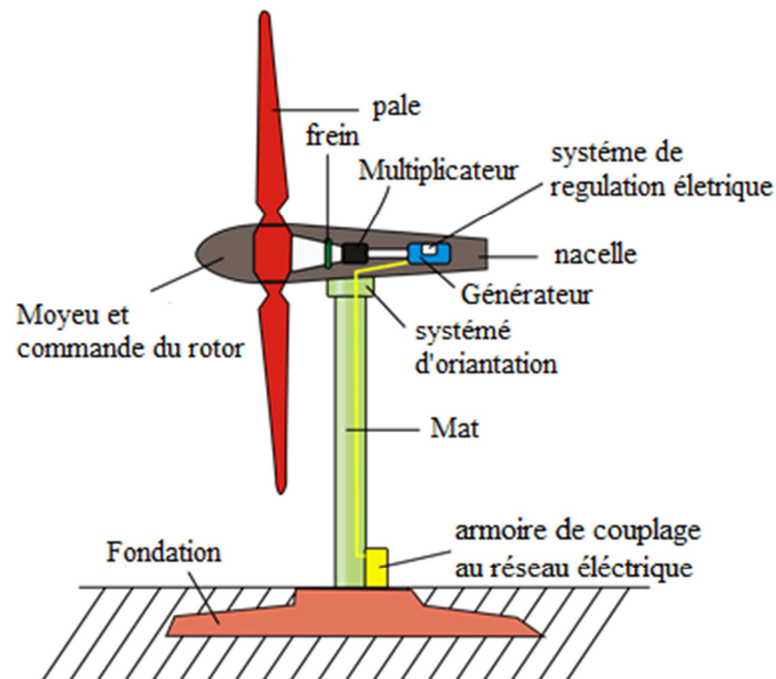


Figure 1.3: Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur

Aujourd'hui, les mâts atteignent environ 80 m de haut. Si les éoliennes sont si haut perchées dans le ciel, c'est parce que le vent souffle plus fort en hauteur et elles ne subissent pas la conséquence de différents obstacles, donc c'est à cette hauteur que le rapport coût/rentabilité est le plus conséquent. Il faut également savoir que la puissance fournie par une éolienne est proportionnelle au cube de la vitesse du vent. [4]

- ✓ L'armoire de couplage au réseau électrique : C'est ce qui raccorde l'éolienne au réseau électrique domestique.
- ✓ **De la nacelle** : Elle abrite les équipements qui produisent l'électricité à partir de la rotation de l'axe du rotor, qu'on appelle aussi « arbre ». Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne.

Elle est composée de différents systèmes :

- **Le système d'orientation** : C'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein. Il a donc pour but de disposer les pales face au vent.

- **Le générateur** : il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut-être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
- **Le système de régulation électrique** : Il ralentit le rotor du générateur en cas de surrégime.
- **Le multiplicateur** : Le multiplicateur est un convertisseur de puissance : il multiplie la vitesse d'entrée (rotor de l'éolienne) pour atteindre la vitesse de sortie exigée par la génératrice électrique, en multipliant parfois par 70 la vitesse de rotation initiale. Il est constitué d'un assemblage d'engrenages.
- **Le frein** : Il permet de freiner l'arbre primaire (l'arbre qui relie les pales au multiplicateur) en cas de vents violents.
- **Du rotor** : composé de plusieurs pales (en général trois) et du nez de l'éolienne
- **Les pales** : Elles sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor. Elles sont en fibres de verre et matériaux composites. Leur profil est le fruit d'études aérodynamiques complexes.
- **Le moyeu** : Il permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.

1.5.4. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Usage de ressources renouvelables, sans émissions de gaz à effet de serre pour la production d'électricité
- ✓ Intermittence de production pouvant être compensée en partie par le foisonnement des régimes de vent sur le réseau.
- ✓ Conception, installation et maintenance aisée
- ✓ Coût marginal de production d'électricité très faible ("gratuité de la ressource")

b) Inconvénients

- ✓ Intermittence et caractère fatal de la production d'électricité (variabilité dans le temps et dans l'espace de la ressource)
- ✓ Incertitude dans la prévision de la ressource
- ✓ Contraintes géographiques sur les sites éligibles (topographie, obstacles, etc.)
- ✓ Acceptabilité sociétale potentiellement complexe (impact paysager, biodiversité, etc.)

1.6.Géothermie : centrale géothermique

1.6.1.Introduction

Actuellement, le développement durable s'intéresse à d'autres filières énergétiques, plus respectueuses de l'environnement et quasiment inépuisables pour l'homme, comme la géothermie.

L'énergie géothermique est un mot composé (du grec géo = la terre et thermie = la chaleur) qui désigne l'énergie provenant de la chaleur naturelle présente dans la croûte terrestre et dans les couches superficielles de la terre.

1.6.2.Origine de la géothermie

La chaleur de la Terre provient essentiellement (90%) de la désintégration d'éléments radioactifs (uranium, thorium, potassium) présents dans les roches et du noyau terrestre qui génère un flux de chaleur vers la surface.

La chaleur produite par les réactions nucléaires varie avec la composition chimique des roches mais aussi selon l'âge des roches, raison pour laquelle les gradients géothermiques sont plus élevés dans les plates-formes jeunes.

Plus la profondeur est grande et plus la chaleur est élevée, elle augmente en moyenne de 3,3 °C tous les 100 m, mais ces valeurs peuvent être nettement supérieures dans certaines zones instables du globe et même varier de façon importante dans des zones continentales stables.
[6]

1.6.3.Le gradient géothermique

Le Gradient géothermique ou accroissement de la température avec la profondeur varie avec:

- ✓ La composition chimique des roches (proportion en éléments radioactifs),
- ✓ Le contexte géodynamique,
- ✓ La convection, si présence d'eau.
- ✓ La variation de conductivité thermique (capacité à transférer la chaleur par conduction thermique) des couches sédimentaires.

1.6.4. Le flux géothermique

Le Flux géothermique ou flux de chaleur est la quantité d'énergie évacuée par la Terre, exprimée par unité de surface et par unité de temps.

Le flux thermique en un point donné est obtenu en multipliant la conductivité thermique et le gradient thermique. Il dépend de la radioactivité des roches et du refroidissement de la chaleur initiale de la terre par cristallisation du noyau terrestre et il est variable suivant le contexte. [6]

1.6.5. Caractéristiques générales de la géothermie

La géothermie est la seule énergie renouvelable qui s'adresse aux deux grandes filières énergétiques comme illustré sur la figure 1.10.

- ✓ production de chaleur
- ✓ production d'électricité
- ✓ Il existe trois types d'exploitation de la géothermie :
- ✓ **La géothermie très basse température** : exploite des réservoirs situés à moins de 100 m et dont les eaux ont une température inférieure à 30 °C ; on l'utilise pour le chauffage et la climatisation grâce à une pompe à chaleur.
- ✓ **La géothermie basse énergie** : utilise des aquifères à des températures comprises entre 30°C et 100°C, on l'exploite dans des réseaux de chaleur pour le chauffage urbain ou dans le cadre de procédés industriels.
- ✓ **La géothermie moyenne et haute énergie (jusqu'à 250°C)** : est utilisée pour produire de l'électricité via des turbines

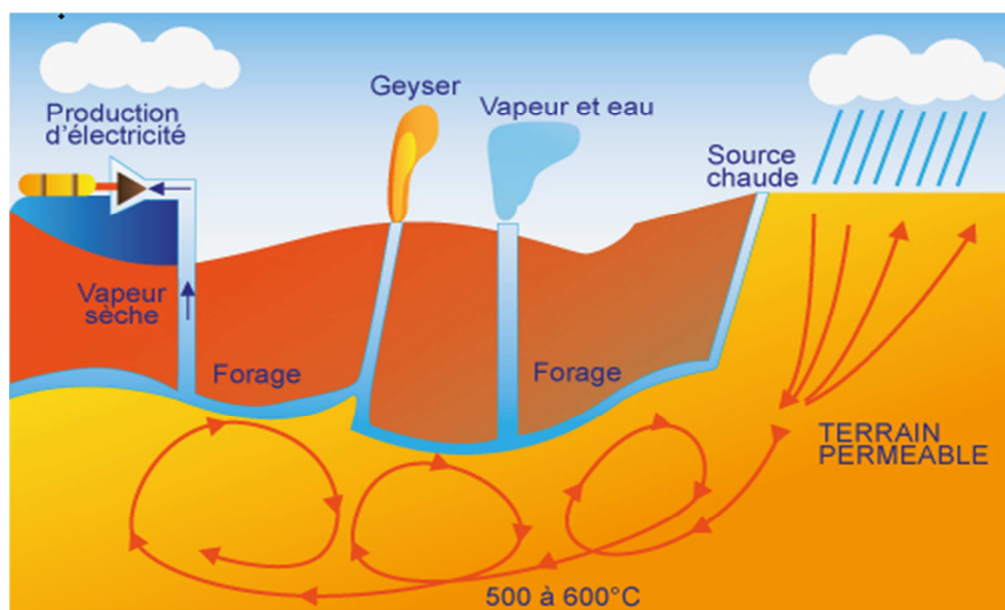


Figure 1.4 : le principe d'utilisation de l'énergie géothermique

1.6.6. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Les puissances produites peuvent être importantes
- ✓ La technologie de production d'électricité est bien maîtrisée (turbine/alternateur)

b) inconvénients

- ✓ Seules les régions volcaniques sont pour l'heure concernées par la géothermie moyenne/haute température
- ✓ Le coût des forages très élevé
- ✓ Les forages doivent être bien réfléchis pour préserver la ressource en eau souterraine et ne pas la polluer.

1.7. Rayonnement solaire : panneau, centrale solaire photovoltaïque

1.7.1. Principe de fonctionnement

Transformer le rayonnement solaire en électricité à l'aide d'une cellule photovoltaïque.

- ✓ **L'éclairement ou irradiance (G)** est défini comme une puissance reçue par une surface. Il s'exprime en Watt/m^2 . Le S.I. (système international d'unités) recommande d'utiliser le symbole E.
- ✓ **L'irradiation ou rayonnement (H)** est l'énergie reçue par une surface. Elle s'exprime en J m^{-2} . D'autres unités plus courantes sont le Wh/m^2 .

Signalons que l'irradiation solaire dépend de:

- l'orientation et l'inclinaison de la surface,
- la latitude du lieu et son degré de pollution,
- la période de l'année,
- l'instant considéré dans la journée,
- la nature des couches nuageuses.

1.7.2. Technologie

a) Cellule photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la création d'une force électromotrice liée à l'absorption d'énergie lumineuse dans un solide.

C'est le seul moyen connu actuellement pour convertir directement la lumière en électricité.

La cellule photovoltaïque constitue l'élément de base des panneaux solaires photovoltaïques, il s'agit d'un dispositif semi-conducteur à base de silicium délivrant une tension de l'ordre de 0,5 à 0,6 V. [5]



Figure 1.11 : une cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est fabriquée à partir de deux couches de silicium (matériau semi-conducteur):

- ✓ Une couche dopée avec du bore qui possède moins d'électrons que le silicium, (05 é dont 03 CP), cette zone est donc dopée positivement (zone P),
- ✓ Une couche dopée avec du phosphore qui possède plus d'électrons que le silicium (15 é dont 05 CP), cette zone est donc dopée négativement (zone N).

Lorsqu'un photon de la lumière arrive, son énergie crée une rupture entre un atome de silicium et un électron, modifiant les charges électriques. Les atomes, chargés positivement, vont alors dans la zone P et les électrons, chargés négativement, dans la zone N. Une différence de potentiel électrique, c'est-à-dire une tension électrique, est ainsi créée. C'est ce qu'on appelle l'effet photovoltaïque.[5]

A la surface, le contact électrique (électrode négative) est établi par la grille afin de permettre à la lumière du soleil de passer à travers les contacts et de pénétrer dans le silicium. Les cellules solaires sont recouvertes d'une couche antireflet qui protège la cellule et réduit les pertes par réflexion. C'est une couche qui donne aux cellules solaires leur aspect bleu foncé.

1.7.3. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Energie indépendante, le combustible (le rayonnement solaire) est renouvelable et gratuit.
- ✓ L'énergie photovoltaïque est une énergie propre et non-polluante qui ne dégage pas de gaz à effet de serre et ne génère pas de déchets.
- ✓ Génère l'énergie requise.
- ✓ Réduit la vulnérabilité aux pannes d'électricité.
- ✓ L'extension des systèmes est facile, la taille d'une installation peut aussi être augmentée par la suite pour suivre les besoins de la charge.
- ✓ La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voir de générer des revenus.
- ✓ Entretien minimal.
- ✓ Aucun bruit.

b) Inconvénients

- ✓ La fabrication des panneaux photovoltaïques relèvent de la haute technologie demandant énormément de recherche et développement et donc des investissements coûteux.
- ✓ Les rendements des panneaux photovoltaïques sont encore faibles.
- ✓ Nécessite un système d'appoint (batteries) pour les installations domestiques.

1.8. Biomasse

1.8.1. Introduction

Le terme biomasse comprend une grande diversité de matières organiques, d'origine végétale ou animale, parfois insoupçonnées. La plupart sont en fin de vie et peuvent être transformées pour produire de l'électricité, de la chaleur ou du carburant. Il s'agit d'un gisement d'énergie local, renouvelable et propre. Une exploitation durable et équilibrée des gisements de biomasse (tout en préservant la durabilité des ressources) contribue considérablement à la

réduction des émissions de gaz à effet de serre et au développement pérenne d'une économie locale.

1.8.2. Diversité des ressources & diversité des usages

La diversité des matières organiques disponibles et des différents procédés technologiques mis au point pour valoriser la biomasse en énergie permet d'obtenir différents types d'énergie que ce soit de l'électricité, de la chaleur, ou encore des produits intermédiaires (sous forme liquide, gazeuse ou solide) à finalité énergétique, par exemple le biogaz ou le biocarburant. [1]

1.8.3. Centrales électriques à combustion biomasse solide

Les centrales à biomasse solide mettent en œuvre une combustion directe de biomasse au sein d'une chaudière, afin de produire de la vapeur à haute température et à haute pression. Cette vapeur entraîne une turbine qui génère de l'électricité via un alternateur. Une grande majorité des centrales à biomasse produisant de l'électricité fonctionnent en cogénération, en valorisant l'énergie thermique contenue dans la vapeur en sortie de turbine. L'utilisation d'un fluide de travail organique, alternative aux cycles vapeur, peut-être plus adaptée dans certains cas d'application (température de vaporisation plus basse, etc.).

La biomasse solide regroupe le bois, les déchets de bois, les granulés et autres déchets végétaux et animaux (graisses). Les centrales de taille industrielle privilégient les plaquettes ou les granulés de bois comme combustible qui facilitent le stockage et les opérations de manipulations. La reconversion de centrales thermiques à flamme conventionnelles à charbon en centrales biomasse est une option connaissant un intérêt croissant. [1]

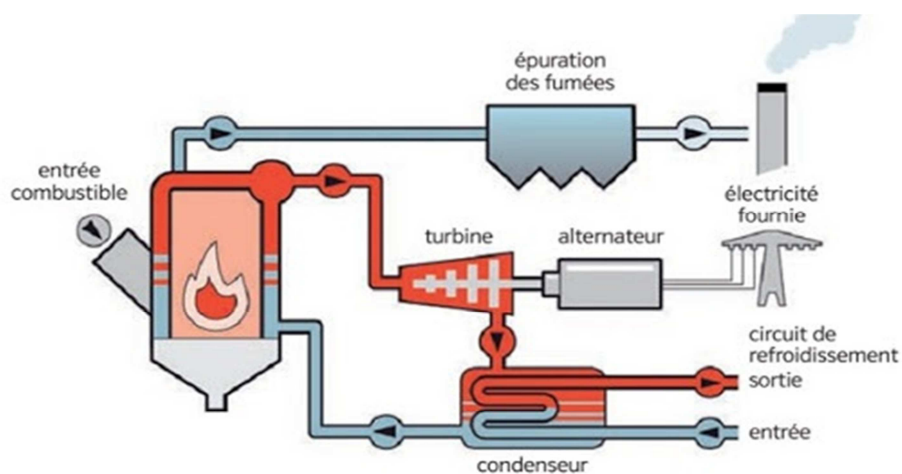


Figure 1.5: Eléments principaux d'une centrale à biomasse

1.8.4. Avantages et inconvénients

a) Avantages

- ✓ Usage de ressources renouvelables avec approvisionnement principalement local
- ✓ Emissions de gaz à effet de serre limitées pour la production d'électricité (bilan carbone neutre de la biomasse énergie)
- ✓ Synergies locales possibles (valorisation des résidus de biomasse sur site papetier, etc.)
- ✓ Conversion de centrales à charbon à la biomasse possible
- ✓ Coûts d'investissement de la biomasse forestière relativement faibles et stables.
- ✓ Source d'énergie continue, contrairement à l'éolien ou au solaire photovoltaïque.

b) Inconvénients

- ✓ Contraintes d'approvisionnement en biomasse (gestion des parties prenantes, sécurisation sur de longues périodes)
- ✓ Qualité variable du combustible (taux d'humidité, etc.)
- ✓ Traitement des fumées spécifique (poussières...)
- ✓ Besoin d'un débouché chaleur pour la cogénération

2.1. Objectifs d'une étude de dangers

Avant toute chose, il convient de donner une définition de base en matière d'étude de dangers le risque est le produit d'un aléa, événement susceptible de porter atteinte à des enjeux humains, économiques, environnementaux ou culturels, comme illustré par la figure 1.

L'**aléa** se caractérise par l'intensité du phénomène et son occurrence prévisible (probabilité de survenue).

Les **enjeux** quant à eux sont caractérisés par leur importance (nombre et nature) et leur vulnérabilité (résistance) vis-à-vis du phénomène en jeu.

Le **risque majeur** se caractérise par sa faible fréquence, sa forte gravité et la quasi-totale incapacité de la société exposée à surpasser l'événement.

Exemple : un fait récent et marquant est le tsunami qui a frappé les Côtes indonésiennes en décembre 2004.

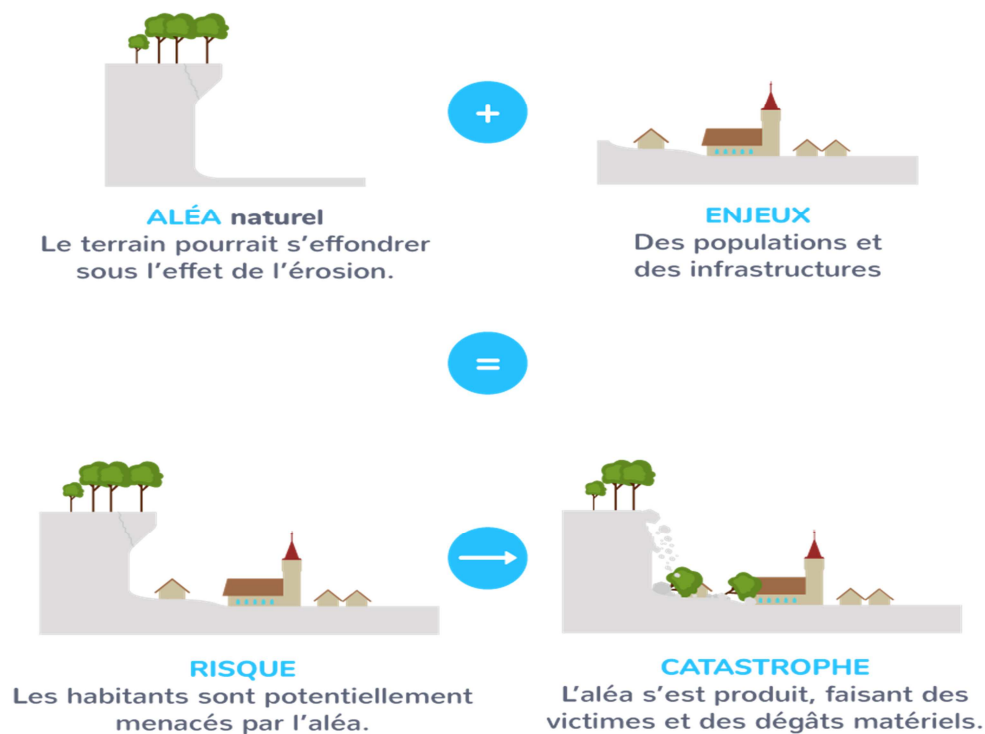


Figure 2.1 : Illustration du risque

L'étude de dangers devra donc donner, dans un premier temps, une analyse des dangers que peuvent présenter les installations existantes ou à venir sur le site (dangers intrinsèques) ou des dangers externes au site mais pouvant entraîner l'apparition d'un danger sur le site, par exemple, un déraillement de train.

Plus concrètement, on s'intéressera notamment, dans le cadre des dangers intrinsèques, aux dangers présentés par les produits employés et stockés sur le site.

Pour les installations proprement dites, l'injection de matières plastiques par exemple, la liste des accidents potentiels est parfois conséquente. Aussi, pour ne pas se perdre dans une accumulation d'accidents potentiels, sans fin, et avec une plus ou moins forte probabilité d'occurrence, l'étude comprend la recherche des accidents survenus à travers le monde, suite au dysfonctionnement d'installations «classiquement » présentes dans une usine : les compresseurs, les transformateurs, les générateurs a air chaud. [7]

L'identification des dangers du site, qu'ils soient internes ou externes au site, a pour objectif, au-delà de l'analyse de ces éléments, étai vu des caractéristiques des installations, de définir les scénarios d'accidents susceptibles de survenir sur le site, c'est-à-dire ceux susceptibles de se produire avec la plus grande probabilité et/ou ceux susceptibles d'engendrer les effets les plus néfastes. C'est ensuite que seront étudiés en détail ces scénarios d'accident et, sur la base cette analyse que l'on déterminera les mesures préventives prendre, les moyens internes et externes de lutte contre l'incendie, le traitement des alertes et les plans de secours mis en place, les formations du personnel en matière de sécurité. [7]

Il est tout aussi important, à ce stade de l'étude, de justifier du rejet de certains scénarios jugés non plausibles sur les installations du site.

De fait, suite à la catastrophe de Toulouse en septembre2001, un bilan des pratiques en terme de gestion des risques d'accidents majeurs sur les sites industriels a fait apparaître la nécessité de rénover la méthode de réalisation des études de dangers.

Parallèlement à ce constat, d'autres remarques peuvent être formulées quant aux perspectives d'amélioration des études de dangers :

- la prise en compte des effets dominos, demandée par la directive Seveso II, implique une adaptation du contenu des études de dangers, afin de permettre une gestion commune de ces effets entraides sites industriels voisins ;
- la plupart des études de dangers comportent une analyse de risques, dont la méthode et la forme ne sont pas imposées ; or cette analyse de risques peut être établie sans lien avec les analyses de risques menées par ailleurs sur les mêmes installations dans une optique d'hygiène et sécurité du travail. Il paraît donc souhaitable de

ne pas perdre le bénéfice des démarches au poste du travail lors de la constitution d'une étude de dangers.

De façon générale, l'étude des dangers doit permettre une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement. Elle a pour le législateur trois objectifs :

- Améliorer la réflexion sur la sécurité à l'intérieur de l'entreprise.
- Favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour la prise en compte des parades techniques et organisationnelles, dans l'Arrêté d'autorisation.
- Informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

Pour cela, l'étude des dangers doit mettre en évidence les accidents susceptibles d'intervenir, les conséquences prévisibles et les mesures de prévention propres à en réduire la probabilité et les effets.

Elle décrit les moyens présents sur le site, pour intervenir sur un début de sinistre, et les moyens de secours publics qui peuvent être sollicités.

2.1.1 Pourquoi une étude de danger

La Directive Européenne SEVESO impose la réalisation d'une étude de dangers (notée "safety report") pour les sites industriels à hauts risques. En France, l'étude de dangers est un outil réglementaire. Elle s'inscrit dans la démarche de maîtrise des risques qu'un exploitant de site industriel doit mettre en place en vue d'obtenir in fine, après un processus administratif impliquant l'instruction par les services de l'État et la consultation du public, une autorisation d'exploiter dans les conditions décrites dans cette étude de dangers et pour les différents risques qui y sont exposés.

Comme le précise le code de l'Environnement, « sont soumises à autorisation préfectorale les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés par la réglementation [i.e. soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique]. (...) Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation

peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés dans la réglementation en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation ». [8]

Le code de l'Environnement précise également que « l'étude de dangers mentionnée à l'article justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation. Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles du Code de l'Environnement] ». [8]

En partie 2 de la Circulaire Ministérielle du 10 mai 2010 « récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 », le guide d'élaboration des études de dangers pour les établissements soumis au régime de l'autorisation avec servitudes (SEVESO Seuil Haut) précise que « [L'étude de dangers] a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par l'exploitant pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques d'une installation ou d'un groupe d'installations situé dans un environnement industriel, naturel et humain défini, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre dans l'installation, à la gestion de l'établissement ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation ». [8]

L'étude de dangers est donc un document technique qui caractérise les risques et qui a un rôle démonstratif, notamment pour ce qui est de l'identification des scénarios d'accidents majeurs et de la performance des mesures de maîtrise des risques.

2.1.2 Gestion des risques et étude de danger

a) Processus de la gestion des risques

Le processus de gestion des risques, tel que décrit dans la norme ISO/CEI 31010:20095 (associée à la norme ISO 31006 décrivant le processus plus global de management du risque), comprend les étapes décrites dans le schéma ci-dessous, avec les définitions suivantes:

-Communication et traitement : elle concerne l'implication des parties prenantes internes et externes et doit être réalisée à toutes les étapes du processus de gestion des risques

- Établissement du contexte : il s'agit d'établir les contextes interne et externe dans lequel l'organisme cherche à atteindre les objectifs d'évaluation des risques

- Évaluation des risques : l'évaluation des risques est le processus global d'identification, d'analyse et d'évaluation du risque

- Identification du risque: il s'agit d'identifier les sources de risque (causes internes et externes), les domaines d'impact, les événements, ainsi que leurs causes et conséquences potentielles

- Analyse du risque : il s'agit du processus permettant de déterminer, par des méthodes adaptées, les causes, les conséquences et les probabilités des risques identifiés en considérant les mesures efficaces de contrôle

- Evaluation du risque : il s'agit du processus de comparaison des résultats de l'analyse des risques en considérant des critères de risque (acceptabilité / tolérance des risques) en lien avec les objectifs définis lors de l'établissement du contexte

-Traitement du risque : il s'agit du processus destiné à réévaluer un risque en tenant compte des décisions prises afin de modifier la probabilité d'occurrence, les effets des risques ou les deux suivant les critères de tolérance définis

- Contrôle et examen : il s'agit du processus de vérification de validité des différentes données considérées lors de l'établissement du contexte, de pertinence des évaluations menées et de performance des traitements entrepris [9]

L'étude de dangers s'inscrit dans ce processus et représente l'étape d'évaluation des risques, risques qui devront être suivis et maintenus à un niveau acceptable dans le temps.

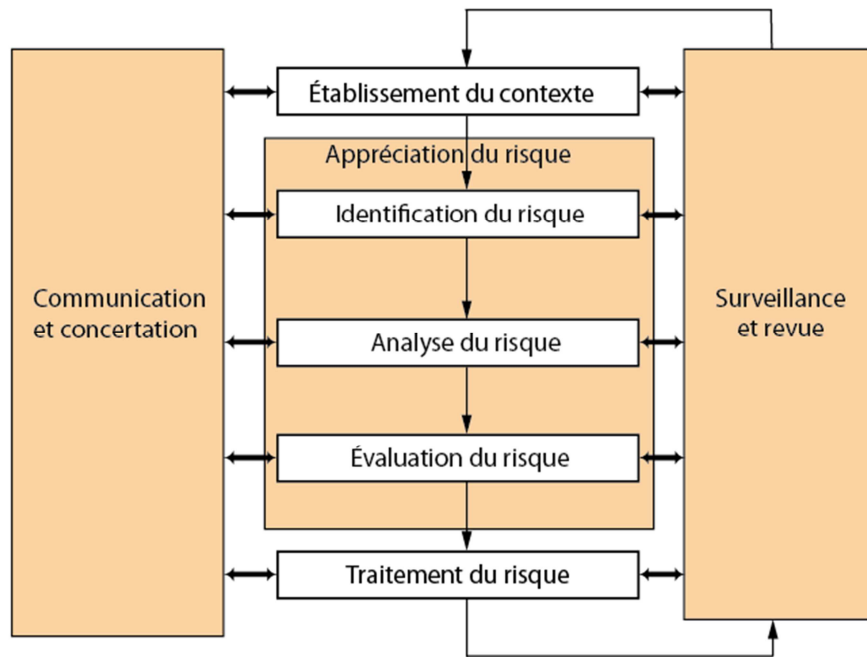


Figure 2.2 : Processus de gestion des risques (ISO/CEI 31010:2009)

La gestion des risques constitue donc un **processus itératif** qui a pour objet de réduire les risques à un niveau jugé acceptable. Cette démarche est fondée sur l'analyse des risques qui consiste à :

- identifier les sources de dangers c'est-à-dire les éléments susceptibles d'engendrer des dommages significatifs dans leur environnement,
- identifier de façon détaillée les différentes conditions dans lesquelles les dangers identifiés peuvent se matérialiser,
- caractériser les risques de façon quantitative, semi-quantitative ou qualitative, selon plusieurs critères tels la gravité des conséquences et la probabilité d'occurrence.

Le processus d'analyse doit aboutir à une estimation (ou mesure) des risques.

L'évaluation des risques consiste ensuite à comparer le niveau de risque résiduel estimé sur l'établissement à un niveau fixé comme acceptable par l'exploitant (ou par la réglementation si le seuil est fixé) : le risque est dit maîtrisé. [10]

En fonction des résultats de l'évaluation des risques, des mesures de réduction du risque doivent être envisagées, notamment si le risque est jugé non maîtrisé. Le processus de

réduction des risques se poursuit alors jusqu'à atteindre un niveau aussi bas que raisonnablement réalisable (ALARP).

b) L'étude de danger : un outil dans le processus de gestion des risques

Selon le classement de l'établissement, l'étude de dangers est, a minima, un point d'entrée nécessaire pour :

- autoriser et réglementer la ou les installations dont elle est l'objet après examen du caractère suffisant ou non du niveau de maîtrise des risques. On notera que l'étude de dangers constitue une des pièces fondamentales du dossier de demande d'autorisation d'exploiter. En effet, dès lors que sur un établissement industriel au moins une activité est soumise à autorisation d'après les seuils de classement de la nomenclature des Installations Classées, l'exploitant est tenu d'adresser une demande d'autorisation à la préfecture du département concerné
- établir un Arrêté Préfectoral d'autorisation d'exploiter pour l'établissement et servir de support aux inspections menées par les Services Administratifs (DREAL)
- servir de base à la définition de règles d'urbanisation (PAC).

Le guide d'élaboration des études de dangers (établi pour les établissements SEVESO Seuil Haut) présenté dans la Circulaire Ministérielle du 10 mai 2010 mentionne également que l'étude de dangers est un outil pour :

- élaborer les plans d'urgence : les Plans d'Opérations Internes (POI), les Plans Particuliers d'Intervention (PPI)
- procéder à l'information préventive sur les risques des tiers et des exploitants des installations classées voisines (pour la prise en compte d'éventuels effets dominos), ainsi qu'à la consultation du CHSCT
- servir de base à l'élaboration des servitudes d'utilité publiques (SUP), des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT)
- favoriser l'émergence d'une culture partagée du risque au voisinage des établissements dans le cadre de la mise en place des commissions de suivi de site (CSS).

Enfin, l'étude de dangers est, pour les établissements SEVESO Seuil Haut, un point d'entrée à l'élaboration du Système de Gestion de la Sécurité (SGS). [11]

2.2 Contexte réglementaire et principaux textes de référence

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'Environnement relative aux installations classées.

Selon la réglementation européenne, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. [12]

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. [12]

Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir.

Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité.

Ce contenu est défini par le Code de l'Environnement :

- description de l'environnement et du voisinage
- description des installations et de leur fonctionnement
- identification et caractérisation des potentiels de danger
- estimation des conséquences de la concrétisation des dangers
- réduction des potentiels de danger
- enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- analyse préliminaire des risques
- étude détaillée de réduction des risques

- quantification et hiérarchisation des différents scénarios en terme de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection
- représentation cartographique
- résumé non technique de l'étude des dangers.

De même, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation. [12]

2.2.1 En Europe : Les directives SEVESO

Seveso est une commune italienne située en Lombardie auprès de laquelle la société ICMESA, filiale du groupe Gévaudan-Hoffmann-Laroche, fabriquait du trichlorophénolun désinfectant utilisé pour les savons à usage médical.

Le 10 juillet 1976, un réacteur préparant ce produit s'emballe, provoquant l'émission d'un nuage de produits toxiques contenant une quantité importante de dioxines. Poussé vers le sud-est, le nuage contamine une région de 1.800 hectares. Aussitôt, l'usine est fermée et des analyses de sol sont réalisées pour déterminer leur niveau d'imprégnation.

À la fin du mois d'août 1982, le réacteur de l'ICMESA est vidé et le contenu est transféré dans 41 fûts. Normalement, ils auraient dû être transportés à Bâle (Suisse) afin d'y être incinérés par l'entreprise CIBA.

Mais passés la frontière italienne à Vintimille, les fûts sont tout simplement "perdus". On retrouvera les 41 fûts, en mai 1983, dans un abattoir désaffecté du Nord de la France (Anguilcourt-le-Sart).

Cet accident industriel majeur a donné son nom à la directive européenne du 24 juin 1982.

Ce texte demande aux Etats et aux entreprises d'identifier les risques associés à certaines activités industrielles dangereuses et de prendre les mesures nécessaires pour y faire face.

La directive Seveso a été modifiée à diverses reprises et son champ a été progressivement étendu, notamment à la suite de l'accident de Bâle en 1986, ayant gravement pollué le Rhin après l'incendie d'une usine de produits agro pharmaceutiques. [13]

Le cadre européen de cette action est dorénavant la directive 2012/18/UE concernant la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses appelée "directive Seveso 3" qui remplace la directive Seveso 2 à compter du 1^{er} juin 2015.

a) SEVESO II

La directive Seveso 2 a renforcé le dispositif de prévention des accidents majeurs impliquant des substances dangereuses en introduisant des mesures complémentaires par rapport à la directive initiale. Ces mesures consacrent les "bonnes pratiques" en matière de gestion des risques :

- introduction de dispositions sur l'utilisation des sols afin de réduire les conséquences des accidents majeurs.
- prise en compte des aspects organisationnels de la sécurité.
- amélioration du contenu du rapport de sécurité, renforcement de la participation et de la consultation du public.
- Le champ d'application est révisé : absence de distinction entre l'activité de stockage de substances dangereuses et la mise en œuvre de substances dangereuses dans un procédé, extension aux installations manipulant et stockant des explosifs.
- Elle améliore l'efficacité de la mise en œuvre par les contrôles pratiqués et la transmission d'informations sur une base comparable à la Commission européenne.

Cette directive a été transposée en droit français par l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'ICPE soumises à autorisation. Cet arrêté et sa circulaire d'application du 10 mai 2000 prévoient les dispositions organisationnelles à mettre en œuvre par les exploitants en matière de prévention des accidents majeurs (mise en place d'un système de gestion de la sécurité SGS). Il en est de même pour les établissements classés.[14]

La directive Seveso 2 traite d'établissements, ce qui a pour conséquence l'absence de

référence à une annexe listant des procédés et des activités. Cette démarche colle avec la pratique française et a pour avantage de couvrir l'ensemble des infrastructures desservant l'établissement comme les embranchements ferroviaires, les appontements, les bateaux à quai...

Le texte exclut explicitement les pipelines, les ports et les gares de triage. Toutefois, la Commission examine ce type d'installations afin de garantir un niveau de sécurité équivalent à celui des établissements relevant de la directive.

Les seuils de certains produits ont été modifiés et le champ d'application étendu à certaines activités : fabrication et stockage d'explosifs, installation d'élimination des déchets dangereux, installations nucléaires présentant des risques d'origine chimique.

Un même établissement comporte souvent plusieurs installations qui peuvent faire l'objet d'études de dangers (EDD) individuelles.

Les informations qui y sont contenues doivent notamment permettre d'identifier les sources de risque, les scénarios d'accident envisageables, leurs effets sur les personnes et l'environnement ainsi que leur probabilité d'occurrence et des éléments sur leur cinétique de développement.

Un guide indiquant les principes généraux à retenir pour les études de dangers a été élaboré par le groupe de travail méthodologie.

L'analyse de risque est au cœur des études de dangers, qui indiquent pour chacun des scénarios envisagés, la nature et l'ampleur des conséquences qui en résulteraient ainsi que leur probabilité d'occurrence et leur cinétique qui doivent être prises en compte pour définir les grandes lignes d'une stratégie préventive et de lutte contre le sinistre. [14]

Dans certains cas, cette étude des dangers réalisée par l'industriel est complétée, à la demande du préfet, par une analyse critique réalisée par un organisme tiers expert extérieur et indépendant.

Les études de dangers constituent la base indispensable pour l'établissement des plans de secours avec les plans d'opération interne (POI) et les plans particuliers d'intervention (PPI),

de la communication avec le public au sein des CLIC pour les établissements AS, ou des SPPPI ainsi que d'une éventuelle maîtrise de l'urbanisation autour du site via les PPRT.

Pour les accidents susceptibles de provoquer des conséquences à l'extérieur de l'enceinte de l'usine, la loi du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et la prévention des risques majeurs a défini le PPI, établi sous la responsabilité du préfet.

L'étude de dangers des établissements soumis à la directive Seveso doit être désormais réactualisée au moins tous les cinq ans. De même, les plans d'urgence (POI et PPI) doivent être testés et réexaminés tous les trois ans.

La directive introduit également la nécessité d'examiner les conséquences d'un accident d'une installation sur les installations voisines (effet "domino") tout en laissant une marge de manœuvre aux Etats membres pour apprécier ce concept.

Il est désormais demandé une coopération entre établissements proches afin qu'ils échangent un certain nombre d'informations, dont leurs rapports de sécurité et leurs plans d'urgence, "de façon appropriée".

Une politique de maîtrise des risques sur le long terme nécessite enfin une bonne gestion de l'usage des sols. La maîtrise de l'urbanisation permet d'assurer la sécurité des personnes riveraines en évitant que de nouvelles personnes soient exposées.

La loi du 22 juillet 1987 a introduit dans la loi du 19 juillet 1976 des servitudes d'utilité publique avec indemnisation des propriétaires concernés par l'exploitant de l'installation sous le contrôle des juges de l'expropriation en cas de litige.

La maîtrise de l'urbanisation au voisinage des sites industriels à risque est désormais incluse dans la directive. Elle permettra d'améliorer la sécurité pour les populations vivant à proximité de sites à risque, dans toute l'Union européenne.

Cette nouvelle disposition concerne désormais l'ensemble des établissements relevant de la directive (seuils hauts ou bas définis en annexe) : pour les établissements existants, on tiendra compte des mesures techniques complémentaires déjà mises en place.

Le droit à l'information des citoyens a également été confirmé par la loi du 22 juillet 1987 : "les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans

certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent".

L'information préventive du public est bien un facteur de prévention à part entière. [14]

La directive élargit ainsi considérablement la participation du public dans différentes procédures :

Accessibilité du public aux informations contenues dans le rapport de sécurité,

Avis du public sur l'implantation d'un nouvel établissement,

Mise à la disposition du public de l'inventaire des substances dangereuses présentes dans l'établissement.

Les plans d'urgences externes (plan particulier d'intervention) sont élaborés en consultation avec le public après transmission des informations de l'exploitant aux autorités compétentes.

Concernant les plans d'urgences internes (plan d'opération interne), les représentants du personnel sont consultés lors de leur élaboration.

Ces dispositions confortent les principales prescriptions françaises déjà mises en place.

La directive 2003/105/CE, modifiant la directive 96/82/CE (Seveso 2), a été publiée au Journal officiel de l'Union européenne le 31 décembre 2003.

Ces nouvelles dispositions prennent en compte les études relatives aux propriétés dangereuses de certaines substances et le retour d'expérience de différents accidents survenus au sein de l'Union européenne depuis quelques années (pollution du Danube par des cyanures, en janvier 2000, à Baïa Mare en Roumanie, explosion d'artifices, en mai 2000, à Enschede aux Pays-Bas, explosion AZF, en septembre 2001, à Toulouse) . [15]

3.1. Le contexte réglementaire européen et national

a) Au niveau européen

- **Source de la demande d'étude de danger**

Le Code de l'Environnement spécifie que le demandeur d'une autorisation environnementale pour une Installation classée pour la protection de l'environnement fournit une étude de dangers. [15]

- **Objectif de l'étude de danger**

Le Code de l'Environnement précise l'objectif de l'étude de dangers : elle « précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. »

Les intérêts visés dans le Code de l'Environnement concernent la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. [15]

- **Contenu de l'étude de danger**

Le Code de l'Environnement précise que :

« Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. »

« En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite. »

« Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents. » [15]

L'étude est menée conformément à l'alinéa III du code de l'environnement qui précise le contenu attendu de l'étude de danger et ses objectifs :

« L'étude de dangers justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de

l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation. »

« Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés dans la réglementation. »

« Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le pétitionnaire dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. (...) » [16]

- **Méthode de l'étude de dangers**

Le Code de l'Environnement précise que :

« Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement de l'étude de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues au code de l'environnement. »

Ces derniers critères sont fixés notamment par l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatifs à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.

- **Compatibilité d'une ICPE avec son environnement**

Au-delà des critères d'élaboration et de rédaction de l'étude de danger, l'Etat a l'obligation de porter à la connaissance des communes ou de leurs groupements compétents les informations nécessaires à l'exercice de leurs compétences en matière d'urbanisme. [17]

Le porter à connaissance risques technologiques en fait donc partie.

La circulaire DPPR/SEI2/FA-07-066 du 4 mai 2007 relatif au porter à la connaissance " risques technologiques " et maîtrise de l'urbanisation autour des installations classées précise que les préconisations en matière d'urbanisme correspondant à chaque type d'effet (rayonnement thermique, surpression, risque toxique) sont graduées en fonction du niveau d'intensité sur le territoire et de la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux. [16]

b) Au niveau national

Le décret exécutif numéro 06-198 qui contient plusieurs articles relatifs aux études de danger au niveau national comme suit :

Art. 12 : L'étude de danger a pour objet de préciser les risques directs ou indirects par lesquels l'activité Del 'établissement classé met en danger les personnes, les biens et l'environnement, que la cause soit interne ou externe.

L'étude de danger doit permettre de définir les mesures d'ordre technique propres à réduire la probabilité des effets des accidents ainsi que les mesures d'organisation pour la prévention et la gestion de ces accidents.

Art. 13 : Les études de danger sont réalisées, à la charge du promoteur, par des bureaux d'études, des bureaux d'expertise ou des bureaux de consultation compétents en la matière et agréés par le ministre chargé de l'environnement, après avis des ministres concernés, le cas échéant. [18]

Art. 14 : L'étude de danger doit comporter les éléments suivants :

- 1) Une présentation générale du projet.
- 2) La description de l'environnement immédiat du projet et du voisinage potentiellement affecté en cas d'accident comprenant :
 - a) les données physiques : géologie, hydrologie, météorologie et les conditions naturelles (topographie, sismicité)
 - b) les données socio-économiques et culturelles : population, habitat, points d'eau, captage, occupation des sols, activités économiques, voies de communication ou de transport et aires protégées.
- 3) La description du projet et ses différentes installations (implantation, taille et capacité, accès, choix du procédé retenu, fonctionnement, produits et matières mis en œuvre) en se servant au besoin de cartes (plan d'ensemble plan de situation, plan de masse, plan de mouvement.)
- 4) L'identification de tous les facteurs de risques générés par l'exploitation de chaque installation considérée. Cette évaluation doit tenir compte non seulement des facteurs intrinsèques mais également des facteurs extrinsèques auxquels la zone est exposée
- 5) L'analyse des risques et des conséquences au niveau de l'établissement classé afin d'identifier de façon exhaustive les événements accidentels pouvant survenir, leur attribuer une cotation en terme de gravité et de probabilité permettant de les

hiérarchiser, ainsi que la méthode d'évaluation des risques utilisée pour l'élaboration de l'étude de danger

- 6) L'analyse des impacts potentiels en cas d'accidents sur les populations (y compris les travailleurs au sein de l'établissement), l'environnement ainsi que les impacts économiques et financiers prévisibles
- 7) Les modalités d'organisation de la sécurité du site, les modalités de prévention des accidents majeurs et du système de gestion de la sécurité et des moyens de secours.

Art. 15 : Les modalités d'examen et d'approbation des études de danger sont fixées par arrêté conjoint des ministres chargés de l'intérieur et de l'environnement.

3.2 La directive SEVESO III et sa transposition

La directive Seveso 3 adapte en profondeur le champ d'application couvert par la législation communautaire au nouveau règlement CLP (règlement sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances et des mélanges). Cette révision a en effet pour objectif premier d'aligner la liste des substances concernées par la directive sur le nouveau système de classification des substances dangereuses du règlement CLP, et remplace le système précédent depuis le 1er juin 2015. Ce règlement établit de nouvelles méthodes de classification des substances et il crée de nouvelles dénominations de dangers.

Au-delà de la simple adaptation réglementaire, cette révision a été l'occasion de mettre à jour les différentes mesures déjà prévues par le texte actuel, dont l'efficacité est unanimement reconnue.

D'autre part, la directive Seveso 3 renforce encore les dispositions relatives à l'accès du public aux informations en matière de sécurité, sa participation au processus décisionnel et l'accès à la justice. [19]

Le but est ainsi d'aligner la directive sur les exigences de la convention d'Aarhus. Les citoyens ont ainsi un accès direct, via Internet, aux informations relatives aux installations Seveso situées à proximité de leur domicile, aux programmes de prévention des accidents et aux mesures d'urgence pour mieux réagir en cas de nécessité.

Ils pourront exercer une action en justice s'ils estiment que leurs droits n'ont pas été pris en compte lors de l'installation d'un nouveau site Seveso à proximité de leur domicile. La nouvelle directive comprend également des dispositions visant à améliorer la façon dont l'information est collectée, gérée, mise à disposition et partagée.

En outre, la directive maintient le principe d'une proportionnalité des obligations entre établissements seuil haut et seuil bas. Certaines nouveautés sont cependant à noter, telles que le renforcement de la politique de prévention des accidents majeurs, qui doit garantir un niveau de protection accru dans tous les établissements, ainsi que de nouvelles obligations d'information à destination des populations en cas d'accidents majeurs. Par ailleurs, des plans d'inspection devront être établis par les autorités compétentes. [19]

Enfin, l'une des nouveautés de la directive réside dans l'instauration d'un système de dérogations au niveau européen permettant de tenir compte des incertitudes liées à l'alignement avec le règlement CLP et des évolutions technologiques futures. Si cette nouvelle directive conserve bien les principes fondateurs qui ont permis, au fil des années, de mettre en œuvre une politique efficace et proportionnée de prévention des accidents majeurs, elle n'en aura pas moins un impact sur le système existant, son champ d'application étant profondément rénové, et de nouvelles obligations étant prévues.

La transposition de ces nouvelles dispositions dans la réglementation française a conduit à des modifications de la nomenclature des installations classées, qui a été adaptée à cette nouvelle architecture.

3.3 Législation des installations classées :

On appelle installation classée pour la protection de l'environnement, les usines, ateliers, dépôts, chantiers et, d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée, qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients soit pour la commodité du voisinage, soit pour la santé, la sécurité, la salubrité publiques, soit pour l'agriculture, soit pour la protection de la nature, de l'environnement et

des paysages, soit pour l'utilisation rationnelle de l'énergie, soit pour la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. [20]

Cette législation régleme le fonctionnement des usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières et d'une manière générale, les installations exploitées ou détenues par toute personne physique ou morale, publique ou privée qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients [20]

a) Nomenclature :

La nomenclature des installations classées est divisée en quatre catégories de rubriques :

Les rubriques 1xxx qui concernent les différents types de substances chimiques (ex : combustibles, inflammables, radioactives, etc.).

Les rubriques 2xxx qui concernent les différents types d'activités (ex : industrie agroalimentaire, industrie du bois, déchets, etc.).

Les rubriques 3xxx qui concernent les activités relevant de la directive sur les émissions industrielles (IED).

Les rubriques 4xxx qui concernent les substances chimiques relevant de la directive Seveso.

Cette nomenclature est un tableau qui désigne les activités qui doivent, à partir de niveaux d'importance, respecter la législation sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Les activités s'y retrouvent définies et se voient attribuer un n° de nomenclature.

Les activités nomenclaturées y sont classées en 3 régimes administratifs différents, A, E et D :

" A ", soumises à autorisation du préfet (activités les plus importantes),

" E ", soumises à enregistrement (régime d'autorisation simplifiée créé en 2009)

" D ", soumettant à déclaration au préfet (activités moins importantes).

b) code de l'environnement et textes applicatifs

Article 9 :

La colonne A de l'annexe au présent article constitue la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

Article 10

- I. Les substances et mélanges dangereux mentionnés au I de l'article 32 sont les substances et mélanges dangereux et assimilés tels que définis à la rubrique 4000 de la nomenclature annexée à l'article 9, qui sont visés par les rubriques comprises entre 4100 et 4799, et celles numérotées 2760-4 et 2792.
Il est défini, au sein de ces rubriques, des quantités dénommées quantités seuil haut ainsi que, pour certaines d'entre elles, des quantités seuil bas.
- II. Les installations mentionnées au I de l'article 32 sont les installations seuil bas et les installations seuil haut définies au III. Les installations mentionnées à l'article 36 sont les seules installations seuil haut.
- III. Les installations seuil haut sont celles répondant à la règle de dépassement direct seuil haut ou à la règle de cumul seuil haut définies à l'article R. 511-11.

Les installations seuil bas sont celles, autres que les installations seuil haut, répondant à la règle de dépassement direct seuil bas ou à la règle de cumul seuil bas définies à l'article 11. [20]

Article 11

- I. Une installation répond respectivement à la « règle de dépassement direct seuil bas » ou à la « règle de dépassement direct seuil haut » lorsque, pour l'une au moins des rubriques mentionnées au premier alinéa du I de l'article 10, les substances ou mélanges dangereux qu'elle vise sont susceptibles d'être présents dans l'installation en quantité supérieure ou égale respectivement à la quantité seuil bas ou à la quantité seuil haut que cette rubrique mentionne.

- II.** Les installations d'un même établissement relevant d'un même exploitant sur un même site au sens de l'article 13 répondent respectivement à la « règle de cumul seuil bas » ou à la « règle de cumul seuil haut » lorsqu'au moins l'une des sommes Sa, Sb ou Sc définies ci-après est supérieure ou égale à 1

Article 12 :

Une substance ou un mélange dangereux participe au classement d'une installation vis-à-vis de la nomenclature mentionnée à l'article 9, par ordre de priorité, dans une des rubriques 2700 à 2799, 4700 à 4799, 4800 à 4899, si la substance ou le mélange est visé par l'une de ces rubriques ou, à défaut, dans la rubrique présentant la quantité seuil haut la plus basse parmi celles numérotées de 4100 à 4699 visant la substance ou le mélange dangereux.[20]

3.4 Textes réglementaires relatifs à l'étude de dangers

Article 1

Le contenu de l'étude de dangers, à laquelle sont soumis les ouvrages d'infrastructures routières, ferroviaires, portuaires ou de navigation intérieure et les installations multimodales en application de la présente section, doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels, que leur cause soit interne ou externe, selon une méthodologie qu'elle explicite. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.[20]

L'étude prend en compte les matières dangereuses potentiellement présentes dans l'ouvrage considéré, sous réserve des dispositions réglementaires. Cependant, dans le cas où l'ouvrage est susceptible d'accueillir des matières dangereuses dont les quantités et la nature sont variables, l'étude de dangers peut se limiter à des scénarios types, représentatifs des accidents les plus significatifs.

L'étude de dangers prend en compte les installations et équipements exploités ou projetés qui, par leur proximité ou leur connexité, sont de nature à modifier les risques liés à l'ouvrage.

Un arrêté des ministres chargés des transports de matières dangereuses, pris après consultation de la commission interministérielle du transport des matières dangereuses, peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour les études de dangers, en les adaptant, le cas échéant, à chaque catégorie d'ouvrages concernée.

Article 2

N'entrent pas dans le champ d'application de la présente section les ouvrages d'infrastructures de transport dont l'exploitation est réglementée en tant qu'installation ou équipement connexe, par le biais de l'arrêté d'autorisation et d'arrêtés complémentaires le cas échéant, soit d'une installation classée pour la protection de l'environnement au sens de la réglementation, soit d'une installation nucléaire de base au sens de l'article 28 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire, soit d'un stockage souterrain de gaz ou d'hydrocarbures liquides ou liquéfiés au sens des articles 104 à 104-8 du code minier. [20]

Article 3

L'étude de dangers relative à un ouvrage d'une infrastructure de transport soumise aux dispositions de la présente section, ou sa révision, est adressée au représentant de l'Etat dans le département où se situe cet ouvrage.

Toutefois, l'étude de dangers est adressée par le maître d'ouvrage de l'ouvrage de l'infrastructure de transport six mois au plus tard avant le démarrage des travaux lorsqu'une infrastructure de transport nouvelle est soumise aux dispositions de la présente section ou lorsqu'un ouvrage nouveau est construit au sein d'une infrastructure soumise à ces dispositions.

L'étude de dangers est mise à jour selon la périodicité fixée par les dispositions de l'article 2 [20]

Article 4

Lorsqu'un ouvrage d'infrastructure existant est nouvellement soumis aux dispositions de la présente section suite à des modifications substantielles de l'ouvrage ou à la modification du trafic dans l'infrastructure au sein de laquelle il se trouve, l'étude de dangers mentionnée à l'article 3 est adressée six mois avant le démarrage des travaux de modification ou le démarrage du nouveau trafic.

Article 5

Le préfet du département où est situé un ouvrage d'infrastructure de transport peut, après consultation de la commission interministérielle du transport des matières dangereuses, soumettre cet ouvrage à une étude de dangers, même s'il n'atteint pas les seuils définis à la sous-section 2, si la dangerosité particulière de certaines matières régulièrement présentes dans l'ouvrage et si une vulnérabilité importante des personnes et des biens situés à proximité le justifient.

Article 6

Les matières dangereuses transportées dans des engins de transport non soumis à signalisation ne sont pas prises en compte dans les études de dangers.

Par " engins de transport ", il faut entendre les véhicules routiers, wagons, conteneurs, conteneurs-citernes, citernes mobiles et conteneurs à gaz à éléments multiples.

Article 7

Les arrêtés fixant les prescriptions d'aménagement et d'exploitation des ouvrages d'infrastructure prévues dans l'article 3 sont pris par le représentant de l'Etat dans le département selon les modalités définies aux articles

Ces arrêtés précisent notamment :

1° Les prescriptions d'exploitation relatives aux mesures d'urgence incombant, suivant le cas, au maître d'ouvrage, au gestionnaire de l'infrastructure, au propriétaire, à l'exploitant ou à l'opérateur, ainsi que leurs obligations en matière d'information et d'alerte des personnes susceptibles d'être affectées par un accident, quant aux dangers encourus, aux mesures de sécurité et au comportement à adopter ;

2° L'obligation pour le maître d'ouvrage de l'infrastructure, son gestionnaire, son propriétaire, son exploitant ou l'opérateur en faisant usage de déclarer, dans les meilleurs délais et au plus tard sous un mois au représentant de l'Etat dans le département

3.5. Vocabulaire et notions associés au risque industriel

| | |
|----------------------------|---|
| Danger | La propriété intrinsèque d'une substance dangereuse ou d'une situation physique de pouvoir provoquer des dommages pour la santé humaine et /ou l'environnement. |
| Aléa | L'aléa est un concept relativement récent qui désigne la probabilité d'occurrence d'un phénomène. L'aléa est principalement fonction de l'intensité du phénomène et de son occurrence. |
| Situation d'urgence | est une situation créée par l'apparition réelle ou imminente d'un événement qui impose une attention immédiate" (mots-clés). Il faut se préoccuper immédiatement d'un événement ou d'une situation décrite ci-dessus car il/elle peut avoir des conséquences négatives et se transformer en une situation d'urgence. La planification a pour objet de minimiser ces conséquences. |
| Catastrophe | est un événement naturel ou causé par l'homme qui a d'importants effets négatifs sur la population, les biens, services et/ou l'environnement, dépassant la capacité de la collectivité affectée à réagir " (mots-clés). Une situation de catastrophe est une situation où la société ne peut pas faire face. |

Tableau. 3.1 : concepts et définitions

3.6. Principe de proportionnalité

Est un concept en droit. Le terme possède divers sens selon les législations, mais peut être défini de façon générale comme un principe d'adéquation des moyens à un but recherché.

Le code de l'environnement stipule et précise que « *le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles*

Ce principe est difficile à décliner en règles génériques applicables à l'ensemble des installations industrielles. En effet, une simplification trop importante de l'étude de dangers pourrait conduire à une évaluation trop conservatrice des risques ou, a contrario, à une sous-estimation des risques.

Cette simplification doit donc nécessairement reposer sur l'acceptabilité des risques, mais celle-ci n'est pas définie de manière uniforme dans la réglementation puisque la matrice d'acceptabilité définie dans la Circulaire Ministérielle du 10 mai 2010 ne s'applique qu'aux installations soumises à autorisation situées dans un établissement Seveso seuil haut ou bas.

[12]

L'orientation prise aujourd'hui pour décliner concrètement ce principe de proportionnalité reposerait sur l'élaboration de guides spécifiques par secteurs d'activités.

Ces guides permettraient de disposer d'informations pratiques pour des installations types et fourniraient des éléments pour la réalisation des études de dangers des installations non comprises dans un établissement SEVESO :

- le choix des scénarios représentatifs et réalistes à retenir ;
- des tableaux d'étude détaillée des risques ainsi que des nœuds papillons génériques ;
- des classes de probabilité génériques pour les événements redoutés centraux ou les phénomènes dangereux ;
- une liste des barrières conformes à l'état de l'art, en lien avec leurs probabilités génériques de défaillances et leur niveau de confiance ;
- des distances d'effet type à retenir pour certains scénarios voire des distances d'effets forfaitaires ;
- une liste de produits types pour la réalisation des modélisations ...

3.7. Les quatre piliers de la maîtrise des risques

a) Réduction des dangers à la source

La mise en place de la réduction des dangers à la source s'est principalement instaurée lors de l'entrée en vigueur de la directive européenne Seveso. Suite à l'accident technologique de Seveso (Italie) le 10 juillet 1976, les Etats Membres de la Communauté Economique européenne ont décidé de renforcer la législation sur les activités industrielles dangereuses. La Directive du 24 juin 1982 voit le jour, concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles. Appelée Directive Seveso (82/501/CEE dite directive SEVESO I), elle a pour objectif de réduire à la source les risques d'accidents. Cette directive concernant les risques d'accidents majeurs de certaines activités industrielles a eu pour objet d'obliger tout industriel dont les activités « *mettent, ou peuvent mettre en jeu des substances dangereuses et pouvant avoir, en cas d'accident majeur, des conséquences graves pour l'homme et l'environnement* »... [de prendre]... « *toutes les mesures qui s'imposent pour prévenir ces accidents et pour en limiter les conséquences* ».

L'objectif de réduction du danger à la source est simple, il s'agit de réduire les quantités de produits stockés, utilisés ou fabriqués ou de remplacer le produit dangereux par un produit qui l'est moins. Cependant, par exemple, en dessous d'une certaine quantité une installation peut

ne plus devenir rentable. Parfois il n'est pas toujours réalisable de modifier un procédé pour utiliser un autre réactif. Ainsi, s'il n'est pas possible de réduire la quantité de il conviendra de chercher à maîtriser les risques liés à ces dangers. [22]

b) Maîtrise de l'urbanisation

Afin d'être proche de leurs lieux de travail les employés de sites industriels ont tendance à chercher à s'en rapprocher. Les entreprises elles-mêmes ont également tout intérêt à rechercher cette proximité des villes afin de minimiser les coûts de transports et de se rapprocher géographiquement des différents acteurs (*ex.*, clients, sous-traitants, fournisseurs, *etc.*).

L'histoire a montré une évolution de la position de l'administration vis-à-vis des sites considérés à hauts risques. C'est suite à l'accident de la poudrière de Grenelle en 1789 que naquit le décret impérial du 15 octobre 1810 qui avait pour objet « *la nécessaire conciliation de deux intérêts divergents, le développement industriel et la sûreté du voisinage* ». L'objectif au cours de cette période était d'éloigner les usines de la ville. Pour répondre aux questions soulevées par la proximité des usines chimiques ou pétrolières et des espaces résidentiels de la plupart des grandes agglomérations françaises un programme d'action publique va être lancé comprenant deux axes (Gilbert, 2003) :

- La prise en compte de l'environnement dans les activités industrielles à risque qui se traduit sur le plan réglementaire par l'imposition d'exigences plus fortes en matière de sécurité et de protection de l'environnement au travers de la loi du 19 juillet 1976 relative « *aux installations classées pour l'environnement* » et au travers de la directive dite « Seveso ».
- La possibilité de maîtriser l'urbanisation dans le voisinage des installations dangereuses (*i.e.*, loi du 22 juillet 1987).

Ces nouveaux outils ont pour objectif de permettre que les établissements dangereux puissent continuer de se développer à la périphérie des villes (Bonnaud et Martinais, 2005).

La catastrophe d'AZF, le 21 septembre 2001 a relancé le débat sur la place des industries à risque dans la ville. A la suite de cet événement va naître la loi du 30 juillet 2003 qui va chercher au travers de deux outils à maîtriser l'urbanisation autour des sites à risque. Le premier outil concerne la mise en œuvre de servitudes d'utilités publiques²³ qui peuvent être appliquées pour tout risque nouveau engendré par l'extension ou la création d'une installation industrielle à hauts risques qui nécessiterait une restriction supplémentaire de l'utilisation des sols. Le second outil concerne la mise en œuvre de plans de prévention des risques

technologiques (PPRT). Ces plans ont pour objectif de délimiter des zones (réalisées à partir de l'étude de dangers fournie par l'industriel) à l'intérieur desquelles des prescriptions sur le bâti présent et futur pourront être appliquées. Ces prescriptions ont pour objectif de limiter l'exposition de la population en cas d'accident au travers de la définition de secteurs à l'intérieur desquels l'expropriation est possible, d'autres à l'intérieur desquels les communes peuvent donner aux propriétaires un droit de délaissement, et enfin certains à l'intérieur desquels les communes peuvent préempter les biens à l'occasion de transferts de propriétés.

Au travers de cette loi du 30 juillet 2003 on observe une inversion pour le traitement de la maîtrise de l'urbanisation : « *Alors que la catastrophe d'AZF avait vu quelques édiles locaux réclamer la délocalisation des Seveso les plus dangereuses, la loi Bachelot écarte totalement ces dispositions au profit d'un départ programmé des voisins exposés au risque* » (Deharbe, 2003, p. 236). L'idée est maintenant de créer une zone de « vide » entre les usines et la ville en éloignant les habitants des zones les plus exposées aux dangers des usines. Cependant, si la philosophie originale a bien été conservée (*i.e.*, éloigner les populations des nuisances), la méthode a changé puisque ce ne sont plus les usines que l'on délocalise mais les individus (Bonnaud et Martinais, 2005). [22]

c) Plans d'urgence

La mise en place de plans d'urgence nécessite un préalable : l'acceptation que le risque zéro n'existe pas. En effet, ces plans sont le résultat d'un constat : malgré l'attention portée aux mesures de prévention un accident majeur est toujours possible.

L'approche française des plans d'urgence dans la cadre de la maîtrise des accidents majeurs est fondée par deux plans complémentaires :

- Le Plan d'Opération Interne (POI) est établi par le chef d'établissement, en liaison avec les pouvoirs publics. Il définit les mesures d'organisation, les méthodes d'intervention et les moyens mis en œuvre par l'exploitant pour protéger le personnel et l'environnement immédiat en cas d'accident.
- Le Plan Particulier d'Intervention (PPI) est établi sous l'autorité du Préfet et se fonde sur l'analyse faite dans l'étude de dangers. Il vise à mettre en œuvre les moyens nécessaires pour maîtriser un sinistre de plus grande ampleur dont le contrôle échapperait à l'exploitant. Il met en place des mesures de protection des populations avoisinantes et de l'environnement.

En cas d'accident à l'intérieur d'un établissement, les industriels appliquent leur Plan d'opération Interne (POI). Comme nous venons de le voir, celui-ci concerne les moyens à mettre en place à l'intérieur de l'établissement en cas d'accident. Il est sous l'autorité du chef d'entreprise qui prend en charge la direction des opérations internes. Ce plan a pour fonction de définir les mesures d'organisation, les méthodes d'intervention et les moyens nécessaires que l'exploitant doit mettre en œuvre pour protéger le personnel, les populations et l'environnement. La mise en place d'un POI est imposée à tout établissement soumis à servitudes d'utilité publique (*i.e.*, sites classés AS appelés également sites Seveso seuil haut) et peut être demandée par l'administration aux installations présentant des risques importants pour le voisinage et l'environnement. Ce plan doit être établi sur la base de l'étude de dangers qui comporte l'analyse des différents scénarios d'accidents possibles et de leurs conséquences les plus pénalisantes. Il doit être testé (recommandé annuellement) et mis à jour régulièrement (*i.e.*, tous les trois ans). Il est fortement recommandé de tester ce plan avec les moyens de secours du site et ceux extérieurs. [22]

d) Information du public

Concernant les risques d'accidents majeurs technologiques le droit à l'information des citoyens passe notamment par la loi du 22 juillet 1987 : « *les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis dans certaines zones du territoire et sur les mesures de sauvegarde qui les concernent* ».

On peut citer deux catégories de mesures envers la population : l'information proprement dite sur les risques et l'alerte.

L'information sur les risques appelée également information préventive passe au niveau communal par la rédaction d'un document d'information établi par le maire et au niveau préfectoral par la réalisation d'un dossier synthétique²⁰. Ces deux documents sont consultables en mairie. Une obligation d'affichage existe pour les immeubles recevant plus de cinquante personnes.

Il existe des prescriptions complémentaires relatives aux établissements dits « Seveso », autour de ces sites une information de la population riveraine doit être faite par l'intermédiaire de plaquettes déposées dans les boîtes aux lettres. Une information complémentaire sur les risques, le signal d'alerte et la bonne conduite à avoir en cas d'accident, doit être réalisée au moins tous les cinq ans dans les zones à risque autour de leur site. [22]

4.1. Accidents de travail (statistiques mondiales et nationales)

En Algérie il est difficile d'obtenir des statistiques sur les accidents électriques par manque d'enquêtes, d'études et d'organismes de statistiques développés. Mais à travers les statistiques européennes présentées dans ce qui suit, on peut se faire une idée sur la situation qui peut exister en Algérie. En France, il n'existe pas de structure nationale permettant l'établissement d'une statistique exhaustive sur l'origine des accidents. Des éléments partiels sont cependant disponibles auprès des divers organismes intéressés, susceptibles de donner une représentation assez cohérente ; la principale difficulté est, toutefois, de discerner les causes premières de ces accidents qui, sauf cas particuliers, ne sont pas connues avec suffisamment de précisions, et peuvent également faire l'objet d'interprétations diverses.

Exemple

Chute d'un ouvrier de l'échafaudage causée par un choc électrique : le décès éventuel sera classé sous la rubrique « chutes ».

Nombreux sont les incendies réputés provenir d'un court-circuit ; ce qui est certain, c'est que, en cas de feu, des court-circuits se produisent ; sont-ils survenus avant ou après le départ du feu ? Cela reste à discerner.

Sont présentés ici des tableaux provenant de différents organismes et qui bien que portant sur des périodes différentes ont permis de croiser des informations et de proposer des conclusions.

Qui montrent que la pédagogie des accidents d'origine électrique doit continuer tant que l'on n'atteint pas la suppression de tous ces accidents.

a) Principaux facteurs

Il y a en France, chaque année, des accidents mortels dus à l'électricité dans les secteurs domestiques et industrielle.

En Europe près de 70 millions de logements domestique ne sont pas aux normes de sécurité, ce qui provoque chaque année 16000 blessés et 540 morts. [22]

On constate 3 principaux facteurs :

- L'ignorance : personnes (bébé, enfant ...) ne connaissant pas les dangers du courant électriques ;
- L'imprudence : personnes prenant des risques en connaissant les dangers ;
- La négligence : personnes oubliant le danger du courant électrique donc ne prenant pas de précautions suffisantes pour s'en protéger.

b) Statistiques de l'INSERM

L'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) recense la plupart des cas mortels. Le tableau 1.2 en récapitule les données pour les années 1970 à 1999 (les statistiques actuelles n'étant plus publiées). [22]

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-------|--------|--------|-------|---|--|--|--|
| Année | Hommes | Femmes | Total | Population (en 10 ⁶ habitants) | Consommation par million d'habitants | Taux (4/5) pour 10 ⁶ habitants | Taux (7/6) pour 10 ⁶ habitants et 10 ³ kWh consommés |
| 1970 | 176 | 26 | 202 | 50.52 | 2.573 | 4 | 1.55 |
| 1975 | 144 | 29 | 173 | 52.65 | 3.166 | 3.28 | 1.04 |
| 1980 | 130 | 19 | 149 | 53.59 | 4.326 | 2.78 | 0.64 |
| 1985 | 146 | 22 | 168 | 55.06 | 5.077 | 3.05 | 0.60 |
| 1990 | 112 | 22 | 134 | 56.61 | 5.704 | 2.37 | 0.41 |
| 1995 | 76 | 10 | 86 | 58.02 | 6.341 | 1.48 | 0.23 |
| 1999 | 69 | 10 | 81 | 58.39 | 6.735 | 1.39 | 0.20 |

Tableau 4.1: Accident mortels

Le risque, même s'il est mieux maîtrisé reste toujours présent.

4.2. Le danger de l'électricité sur le corps humain

4.2.1. Effets des accidents d'origine électrique sur le corps humain

L'électricité ne se voit pas, ne s'entend pas, n'a pas d'odeur mais entraîne chaque année des accidents graves par contact direct ou indirect avec des pièces nues sous-tension.

L'action du courant électrique, selon les paramètres décrits ci-avant et également en fonction de la tension, peut entraîner les conséquences suivantes :

- **Secousse, choc électrique**, avec retour apparent à l'état antérieur (mais l'examen est nécessaire pour déterminer des suites éventuelles).
- **Asphyxie** (pouvant être mortelle).
- **fibrillation ventriculaire** (mortelle le cas échéant).
- **Brûlures** (mortelles suivant gravité, surtout en haute tension). Les suites peuvent être diverses.
- **Cardio-vasculaires** (tachycardie, lésions vasculaires...).
- **Neurologiques** (pertes de conscience, de force musculaire...).
- **Sensorielles** (troubles de la vision, de l'audition...).
- **Rénales** (insuffisance).
- Pour les **brûlures par arc** : dermiques, oculaires (coup d'arc), électrothermiques profondes, thromboses, œdèmes, nécroses, etc....

Les effets d'accidents électriques selon le domaine de tension :

Domaine de tension en alternatif :

- En dessous de 50 V: absence d'accident mortel
- Entre 50 V et 500V: grand pourcentage de fibrillation cardiaque
- Entre 500V et 1000V: syncopes respiratoires et brûlures
- A partir de 1000V: brûlures internes de type hémorragique (blocages des reins).

Domaine de tension en continu :

- En dessous de 120V: absence d'accident mortel
- Entre 120V et 750V: effets d'électrolyse et brûlures par effet joules
- A partir de 750V: brûlures internes et externes.

4.2.2. Analyse d'accidents d'origine électriques

a) Par contact direct

- ❖ **Électrocution par ligne de contact alimentant un pont roulant :**

Scénario de l'accident

Un ouvrier électricien, chargé de remplacer un diabolos sur un support de ligne de contact alimentant un pont roulant en 400 V, monte sur la poutre métallique sur laquelle repose le rail de roulement du pont et veut procéder à la réparation sans couper le courant et sans gants.

Par la suite d'un faux mouvement l'une de ses mains vient en contact avec l'un des conducteurs de la ligne alors que ses pieds reposent sur la poutre.

Coincé entre la ligne de contact et la poutre, l'ouvrier est mort lorsqu'on parvient à le dégager.

Cause de l'accident :

Faux mouvement (contact de la main avec un conducteur 230 V)

Conséquence :

Morte de l'ouvrier

Enseignement :

Ce travail aurait dû être effectué hors tension car aucun travail ne doit être effectué sous tension, à moins que les conditions d'exploitation ne rendent dangereuse ou impossible la mise hors tension ou si la nature du travail requiert la présence de la tension.

De plus il doit y avoir, sur l'alimentation de la ligne de contact, un dispositif de coupure omnipolaire verrouillable en position d'ouverture, permettant de travailler hors tension sans risque de remise sous tension intempestive.



Figure 4.1 : Electrocutation par ligne de contact alimentant un pont roulant

b) Par contact indirect

- **Eclairage provisoire dans un local mouillé**

Scénario de l'accident

Un ouvrier procède, dans le sous-sol d'une chaufferie, à la modification de gaines métalliques d'amenée d'air.

Par leurs différentes fixations et par le matériel électrique fixé sur ces gaines (moteurs de ventilation, clapets, vannes, etc. .), celles-ci se trouvent réunies à la terre.

L'éclairage du chantier correspondant est, par ailleurs, assuré par une ligne provisoire réalisée à l'aide d'un câble fixé çà et là aux parois et de douilles métalliques à bout de fil.

Croyant inutile de déranger un électricien, cet ouvrier, sans couper le courant, veut remplacer une des ampoules par une autre de plus forte puissance.

En touchant la douille, il tombe au sol sans connaissance ; transporté à l'infirmerie, il ne pourra être ranimé.

De l'enquête il ressort que la douille est en contact avec un conducteur sous tension et se trouve par conséquent mise accidentellement sous tension.

Cause de l'accident :

Douille en contact accidentellement avec un conducteur sous tension

Conséquence :

Chute au sol

Enseignement :

Dans les locaux mouillés (c'est le cas de ce sous-sol où circulent des gaines métalliques mises à la terre de fait), on doit utiliser :

- Soit du matériel alimenté en très basse tension de sécurité (TBTS) ou en très basse tension de protection (TBTP),
- soit du matériel conçu pour assurer la sécurité des travailleurs.

Ainsi, cette installation aurait dû être alimentée en TBTS à partir de transformateurs de sécurité.

4.3. Etude sur les accidents ayant relation avec les centrales d'énergie électrique (centrale nucléaire)

a) Introduction

A l'heure où nous venons de commémorer la neuvième anniversaire du tsunami de Fukushima et de l'accident nucléaire qui a eu lieu concomitamment, de nombreuses voix se sont élevées contre l'énergie nucléaire et les dangers inhérents à cette technique de production d'électricité. En effet, cet accident a fait resurgir de l'inconscient collectif les catastrophes passées de Three Mile Island et Tchernobyl.

Ces trois catastrophes posent la question de la sécurité du nucléaire et de l'impact sanitaire de tels accidents : s'il est vrai que des rapports concernant le déroulement et les conséquences de ces accidents existent, la grande divergence de leurs conclusions pose question. C'est précisément ce problème qui nous a amené à étudier ces trois catastrophes pour essayer d'en tirer un point de vue le plus objectif possible.

b) Les effets sanitaires d'une exposition à la radioactivité

Les effets sanitaires d'une exposition à des substances radioactives peuvent être résumés dans la figure suivante. Il est très important de préciser que l'effet des faibles doses (ici représenté par une ligne discontinue) est inconnu et est sujet à controverse.

Nous ne pouvons pour le moment donner de réponse claire à cette question. Par contre l'effet de doses plus élevées est aujourd'hui mieux connu. [23]

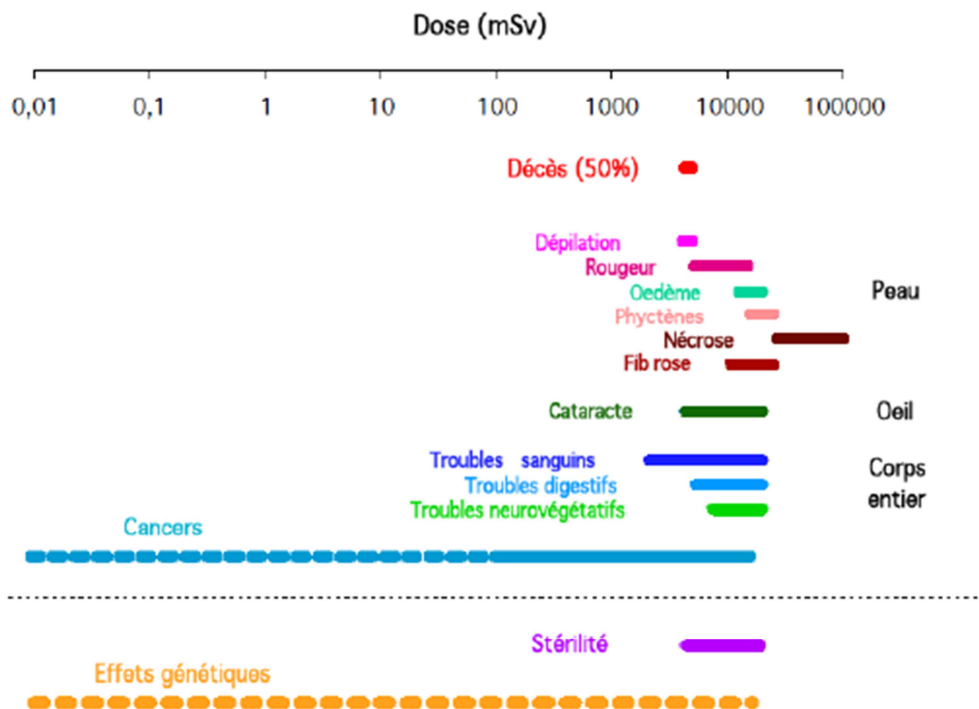


Figure 4.2 : Effets sanitaires supposés (faibles doses) et connus de l'exposition à des substances radioactives

c) Grandes crises nucléaires

• Accident de Three Mile Island

Les Etats-Unis possèdent le plus grand parc nucléaire mondial avec 65 centrales dont 34 à la date du 28 mars 1979. La centrale de Three Miles Island, construite en 1974, possède deux réacteurs à eau pressurisée. Dans ce type de réacteur, l'eau du circuit primaire (partie radioactive) est maintenue à une pression telle qu'elle ne bout pas (même au-delà de 300°C). Cette eau surchauffée va passer par un générateur de vapeur où elle va transmettre sa chaleur au circuit secondaire (non radioactif). L'eau du circuit secondaire ainsi transformée en vapeur va permettre de faire tourner des turbines générant de l'électricité.

Cet échange permet également de refroidir le circuit primaire. [24]

Le mercredi 28 mars 1979, l'alimentation en eau des générateurs de vapeur de la centrale de Three Mile Island tombe en panne. Les pompes de secours se mettent en marche mais dans le vide. En effet, les vannes permettant la circulation de l'eau n'ont pas été rouvertes après des essais réglementaires faits auparavant (erreur humaine). Elles sont ouvertes manuellement 8 minutes plus tard. Dans cet intervalle, le circuit primaire n'est donc plus refroidi et la température et la pression augmentent déclenchant l'ouverture de la vanne de décharge du

pressurisateur. La réaction nucléaire est immédiatement arrêtée par injection de barres de commande dans le cœur (qui absorbent les neutrons, bloquant la réaction en chaîne). Bien que les réacteurs soient arrêtés, le combustible continue à émettre de la chaleur. Il s'agit de puissance résiduelle, c'est-à-dire la chaleur qui continue à se dégager, de

1,5% au bout d'une heure, 0,5% au bout d'un jour, et qui peut facilement faire monter la température à plus de 1000°C. Il est donc indispensable de continuer à refroidir le réacteur.

La vanne du pressurisation aurait dû se refermer dès la pression descendue mais ce ne fut pas le cas. Les opérateurs ne peuvent pas alors s'apercevoir du problème car les voyants affichent l'ordre de fermeture de la vanne mais pas son état physique réel (erreur de conception). Pour eux, elle est donc fermée. L'eau du circuit primaire s'échappe par cette brèche, déclenchant les pompes de secours d'alimentation en eau.

Avec la baisse de pression, l'eau commence à se transformer en vapeur perturbant le pressurisateur qui finit par se remplir d'eau. L'opérateur pense alors que tout le circuit est plein et stoppe les pompes de secours. La vanne toujours ouverte, l'excès de vapeur et d'eau est évacué vers un réservoir qui finit par déborder directement dans l'enceinte de confinement. Il aura alors fallu attendre plus de deux heures et le déclenchement de l'alarme de radioactivité élevée dans l'enceinte pour que la vanne soit fermée.

La vapeur qui se forme de plus en plus fait trembler les pompes du circuit primaire, elles sont donc coupées par respect de procédures mises en place ; l'hypothèse étant que la convection permettrait à l'eau de continuer à circuler (erreur de formation). Une deuxième vanne, en amont de la vanne du pressurisation est alors fermée empêchant la fuite d'eau et de vapeur. Une pompe du circuit primaire est également remise en marche. Le cœur est alors presque entièrement hors de l'eau. Le combustible se dégrade rapidement. Lorsque la vanne est ré ouverte, l'eau qui recommence à fuir est alors fortement contaminée.

Comprenant que le combustible est endommagé et que l'eau ne circule plus, les opérateurs déclenchent une injection de sécurité d'eau permettant peu à peu le retour à une situation stable. [24]

Il s'agit d'une combinaison d'erreurs humaines et de mauvaise conception. D'un côté, la signalisation des problèmes aux opérateurs était mauvaise et confuse. De l'autre, les opérateurs étaient formés pour des cas précis, des procédures événementielles ce qui a détourné leur réflexion du problème général. Cet accident engendra de nombreuses améliorations dans la conception des centrales nucléaires, la formation des agents et la mise en place de plans d'urgence. Sur ce dernier point, il a été notamment décidé la création

d'équipes extérieures à la centrale susceptibles d'avoir un regard distancié sur les problèmes à surmonter.

L'eau contaminée ayant envahi l'enceinte de confinement fut transférée vers un bâtiment annexe non-étanche engendrant une contamination de l'environnement par des vapeurs radioactives. Tout au long de l'accident, des mesures de radioactivité ont été prises autour de la station. Bien que la plupart furent inférieure à 1mS, soit un tiers du rayonnement naturel aux Etats-Unis, il a été mesuré une dose de 12mS au-dessus de la cheminée d'évacuation. A la suite d'échanges confus d'informations et face au risque d'une explosion d'hydrogène, il fut donné l'ordre d'évacuation aux autorités locales. L'ordre fut annulé puis décidé de nouveau par mesure de précaution pour les personnes vulnérables telles que les femmes enceintes et les enfants de moins de 2 ans dans un rayon de 8Km. Les personnes habitant dans un rayon de 16 Km ont été invitées à rester à l'intérieur et les écoles ont été fermées pendant 2 jours. 200 000 personnes décidèrent par elles-mêmes de quitter leurs maisons notamment poussées par les informations confuses diffusées à la population.

Concernant plus précisément les mesures de radioactivité, les principales mesures prises à l'extérieure de la centrale ont été faites par 17 dosimètres à poste fixe. L'une des critiques a donc été que les mesures n'ont pas pris en compte la météo et le déplacement du nuage.

Les études faites par la suite ont cherché à modéliser le nuage radioactif grâce aux mesures internes à la centrale et à la météo, et ont confronté ce modèle aux mesures des dosimètres fixes. Enfin, il a été estimé que la dose maximale individuelle était de l'ordre de 0,8 mSv pour une moyenne de 0.09 mSv soit une irradiation très inférieure à la dose naturellement reçue durant une année (> 1 mSv). On estime également que l'exposition fut de courte durée. [24]

- **Accident nucléaire de Fukushima Dai-Ichi**

Le Japon possède 18 centrales nucléaires qui représentent 25 à 30% de la production d'électricité du pays. Le 11 mars 2011, à 14h56 (heure locale), un puissant séisme se déclenche au large de la côte Est du Japon suivi d'un tsunami atteignant plus de 15 mètres à certains endroits. Le tremblement de terre déclenche l'arrêt automatique par insertion de grappes de commande dans les cœurs des quatre plus proches centrales dont Fukushima Dai-Ichi. Il s'agit d'une centrale comportant six réacteurs à eau bouillante utilisant de l'uranium enrichi comme combustible. La différence avec les réacteurs à eau pressurisée est que l'eau est maintenue à une pression plus basse permettant la formation de vapeur dans le réacteur. Il n'y a donc plus un circuit primaire et un secondaire mais un seul et unique circuit.

La vapeur formée va passer dans des turbines afin de produire de l'électricité puis dans un condensateur où elle va être refroidie et redevenir liquide pour repartir dans le cœur. [25]

Le tremblement de terre a également comme conséquence un endommagement du réseau électrique extérieur qui alimente la centrale, des groupes électrogènes de secours se mettent alors en marche. La vague, quant à elle, endommage les groupes électrogènes de secours ainsi que la prise d'eau en mer. La centrale perd tout moyen de refroidissement.

L'eau dans le cœur se met à s'évaporer et des bouffées de vapeurs sont relarguées dans l'air pour diminuer la pression. A ce moment, la vapeur n'est pas encore très radioactive. Au fur et à mesure que l'eau s'évapore, les crayons de combustible ne sont plus immergés et se dégradent. Les vapeurs qui continuent à être relarguées sont alors hautement radioactives.

Tout ceci conduit peu à peu à la fusion du cœur des réacteurs 1 à 3. Les piscines de stockage des combustibles usés finissent par s'échauffer également. Pour éviter une trop forte évaporation, de l'eau de mer est injectée dans les cœurs et les piscines de stockage entraînant des fuites d'eau fortement contaminée vers la mer. Un système temporaire de refroidissement en circuit ouvert est mis en place puis une réparation des circuits de refroidissement des réacteurs est entreprise. La situation reste néanmoins précaire.

Le 11 mars 2011, à 19h03, l'état d'urgence nucléaire est déclaré par le premier ministre alors en fonction Naoto Kan. C'est un peu plus tard le même jour que la préfecture de Fukushima ordonne l'évacuation, tout d'abord des populations vivant dans un rayon de 2km puis de 3km autour de la centrale de Fukushima Dai-Ichi. Le lendemain, suite à l'explosion survenue dans le réacteur n°1, les habitants vivant à moins de 20km de la centrale sont finalement évacués. Le 15 mars, une zone de mise à l'abri est définie dans un rayon de 20 à 30 km autour du site. Ainsi environ 78 200 personnes ont été concernées par les mesures d'évacuations successives et 62 400 par les mesures de mise à l'abri. [25]

Le 16 mars 2011, les autorités japonaises auraient donné l'instruction d'utiliser des tablettes d'iodes stables au moment de l'évacuation dans le rayon de 20km autour de la centrale.

Aucun résident n'aurait cependant consommé de telles pastilles étant donné que l'évacuation était déjà terminée.

d) Conséquences sanitaires et environnementales

- **L'accident de Three Mile Island a-t-il eu des conséquences extérieures ?**

Les conséquences de l'accident de Three Mile Island ont été très peu étudiées.

Suite à l'accident, de grandes quantités d'eau légèrement contaminée (eaux usées, eaux de refroidissement, eaux de décontamination) furent relarguées dans la rivière Susquehanna.

De plus, on estime que les conditions météorologiques ont favorisé une dispersion des vapeurs en un panache étroit de haute teneur en radioactivité. Des résidents locaux ont rapporté des goûts métalliques dans la bouche, des nausées, des diarrhées, des érythèmes et une perte de cheveux ainsi que la mort d'animaux de compagnie, de ferme ou sauvages et des dommages sur les plantes. (Wingset *al.*, 1997, « Three Miles Island 1979, 30 ans après » écrite par Ellen Van Roey en 2009)

La plus connue des études faites sur l'accident de Three Miles Island est celle conduite par Mervin Susser à l'université Columbia (Hatchet *al.*, 1990). Il trouve une corrélation positive entre les doses reçues suite à l'accident et les lymphomes non-Hodgkiniens, les cancers du poumon et tous les cancers combinés (y compris la leucémie). Néanmoins, considérant le peu de données disponibles et les faibles doses mises en jeu, elle conclut que les résultats ne sont pas significatifs. D'autres remettent en causes ces conclusions ainsi que les méthodes statistiques utilisées (Wingset *al.*, 1997) considérant alors qu'il y a une vraie corrélation entre les doses reçues et l'augmentation des cancers. A cette dernière étude, l'équipe de Columbia répond que les résultats sont les mêmes pour les deux études, seule l'interprétation, qui peut être très subjective en épidémiologie, est différente (Hatchet *al.*, 1997). Ils remettent en cause les symptômes tels que la perte des cheveux ou les vomissements, indiquant qu'il paraît étonnant qu'une publication aussi importante ne se trouve qu'en Russie (et en russe). [35]

- **L'accident de Fukushima : les premiers effets mesurés**

Note : Les éléments présentés dans cette partie sont issus du Rapport IRSN/DG/2012-01 du 12 mars 2012 Fukushima, un an après.

L'accident nucléaire de Fukushima Dai-Ichi a entraîné le rejet de substances radioactives dans l'atmosphère et dans le milieu marin le 11 mars et les jours qui suivirent. L'IRSN a évalué ces rejets atmosphériques qui ont pris la forme de gaz et de particules radioactives.

Il s'agit d'une reconstitution (provisoire) des retombées de l'accident étant donné que peu de mesures d'activité radioactive dans l'air réalisées au Japon ont été rendues publiques. On estime à quinze le nombre d'épisodes de rejets dans entre le 12 et le 25 mars. La figure suivante représente l'estimation de l'IRSN du débit de rejet par réacteur pour l'ensemble des radionucléides rejetés dans l'atmosphère.

Une partie de ces radionucléides relâchés dans l'air a été déposée sur les surfaces au sol et a formé des dépôts radioactifs superficiels secs ou humides selon le mode de déposition. Les dépôts secs sont formés sur tous les types de surfaces contaminées sous l'effet de l'air. Les dépôts humides proviennent de l'entraînement des particules par les précipitations. Ces

dépôts ont contaminé de manière persistante l'environnement terrestre avec pour conséquences :

- une augmentation du débit de dose (provenant des rayonnements gamma émis par les éléments radioactifs).
 - une contamination des produits agricoles. Cette contamination agricole a particulièrement touché les légumes à feuilles et a été maximale immédiatement après la formation des dépôts.
- [25]

e) Parc mondial

- *Différents types de réacteurs*

Un réacteur nucléaire est constitué de trois principaux éléments :

- le combustible : à l'intérieur duquel va avoir lieu la réaction nucléaire ;
- le modérateur : son rôle est de ralentir les neutrons afin que ceux-ci aient la vitesse idéale pour engendrer de nouvelles fissions ;
- le caloporteur : il s'agit du liquide qui va transmettre la chaleur au circuit secondaire où se trouvent les turbines électriques.

- *Age moyen des centrales nucléaires*

La plupart des grands programmes de construction de centrales nucléaires ont été commencés dans la fin des années 70, débuts 80. En à peine 20 ans, plus de 250 centrales nucléaires ont été construites, en majorité dans les pays « développés » de l'époque. Le vieillissement du parc nucléaire peut poser des problèmes de sécurité. En effet d'une part, avec le vieillissement des réacteurs on observe une augmentation du nombre d'incidents. D'autre part, les matériaux des réacteurs s'affaiblissent aussi dans la durée, augmentant la gravité potentielle des incidents. [26]

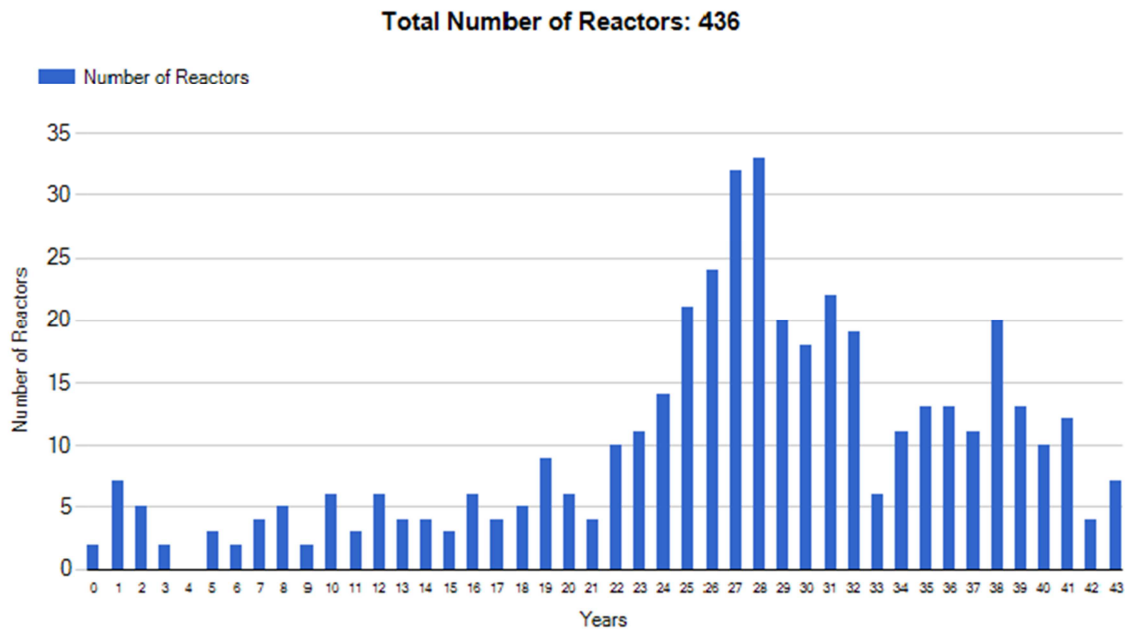


Figure 4.4 : Nombre de réacteurs en fonction de leur âge à l'échelle mondiale

f) La Sûreté Nucléaire

• *Organisme International*

L'AIEA, est une organisation internationale autonome, sous l'égide de l'ONU, son objectif est de promouvoir les usages civils des technologies nucléaires. L'AIEA exerce cette mission avec les fonctions suivantes :

- inspections des installations existantes pour s'assurer de leurs usages pacifiques ;
- liens pour la recherche d'applications et d'utilisations pacifiques des activités nucléaires ;
- informations et publications de standards pour la stabilité et la sûreté des installations nucléaires.

Les standards de sûreté, définis par l'AIEA, ne s'imposent pas aux états, chaque état peut donc décider de les appliquer de manière plus ou moins partielle. En effet, au niveau de la sûreté nucléaire, l'AIEA fonctionne principalement comme un système coopératif et bénévole. De même les évaluations de sûreté menées par l'AIEA donnent lieu à des recommandations, mais ne pointent pas d'obligations. Chaque état ayant néanmoins intérêt à avoir de bonnes évaluations car elles sont mises à disposition du public. De nombreuses

ONG dénonce justement l'ambivalence des objectifs de l'AIEA qui d'un côté promeut l'usage du nucléaire et de l'autre se veut la référence en matière de standard de sûreté nucléaire. [26]

- **Les contrôles et la sûreté en Europe**

La figure ci-dessous représente le classement des incidents et accidents nucléaires sur l'échelle INES (International Nuclear Event Scale) :

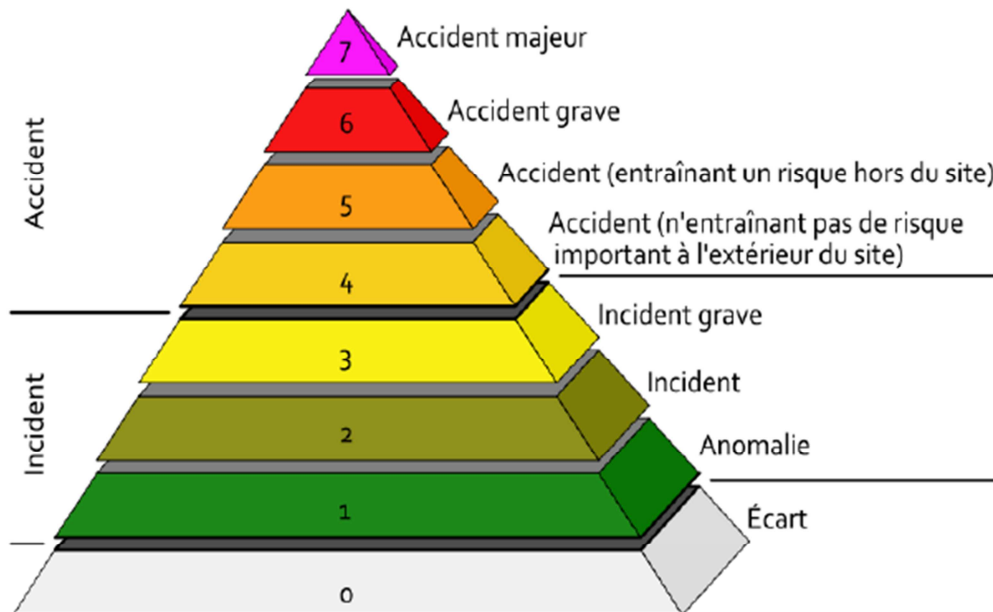


Figure 4.5 : Les différents degrés d'accidents nucléaires

L'échelle est logarithmique (un niveau correspondant à un facteur 10). Ainsi si deux événements comparables sont classés de niveaux 5 et 6, l'accident de niveau 6 correspondra à des rejets radioactifs 10 fois plus importants que dans le cas de l'accident de niveau 5.

Néanmoins, l'échelle est plafonnée à 7. Ainsi même si le rejet de contaminants dans l'environnement lors de la catastrophe de Tchernobyl en 1986 a atteint 100 fois le seuil de déclenchement du niveau 7, l'échelle n'a pas été étendue au niveau 9.

En France, les exploitants des centrales nucléaires doivent reporter tous les incidents nucléaires à l'ASN. Durant l'année 2010, 1107 incidents nucléaires (sur les centrales nucléaires, lors du transport de matières radioactives, ou pour la médecine nucléaire) ont été classés par l'ASN. Une centaine est classée au niveau 1 de l'échelle INES et 3 ont été classés au niveau 2 (Rapport Annuel 2010 de l'ASN), le reste étant classé au niveau 0. Si l'on remonte à 1980, le nombre d'incidents nucléaires en France de niveau 2 sur l'échelle INES s'élève à 9, 3 incidents de niveau 3, et un seul incident de niveau 4. Aucun incident n'a été classé au niveau 5 ou plus en France.

En plus de ce classement des incidents nucléaires, l'ASN contrôle aussi le bon fonctionnement des centrales nucléaires. Ces contrôles peuvent soit être prévus, soit inopinés, ils peuvent aussi bien concerner le fonctionnement général de la centrale ou bien des points plus

spécifiques. Enfin certains contrôles sont réalisés en simulation de situation d'urgence. En 2011, 749 inspections ont été menées, dont 157 à caractère inopiné sur les installations nucléaires.

g) Gestion de crise

- ***Les plans d'Urgence***

Pour chaque installation nucléaire, deux plans d'urgence doivent être élaborés : un Plan d'Urgence Interne (PUI) et un Plan Particulier d'Intervention (PPI).

Le PUI est un document qui recense l'ensemble des moyens humains et techniques de l'exploitant en prévision d'une gestion de crise. Le PUI est élaboré par l'exploitant de la centrale et doit prévoir les dispositifs permettant :

- de maîtriser l'accident,
- d'en évaluer et d'en limiter les conséquences,
- de protéger les personnes sur le site,
- d'alerter et d'informer régulièrement les autorités publiques.

Le PPI est élaboré par le préfet, afin de prévoir les mesures nécessaires pour assurer la protection de la population et des biens menacés par un accident nucléaire. Le préfet est responsable de la coordination des moyens engagés dans le PPI, moyens publics et privés, matériels et humains. Il veille à l'information des populations et des élus.

Le PUI est déclenché par l'exploitant de la centrale. Le PPI peut lui être soit déclenché par le préfet, sous conseil de l'ASN, soit directement par l'exploitant en cas d'incident rapide. [36]

- ***Organisation***

Lors d'une crise nucléaire, les organismes impliqués dans la gestion de la crise vont être les mêmes que ceux cités précédemment. Nous schématisons dans le dessin ci-dessous les relations entre ces organismes lors de la gestion de la crise.

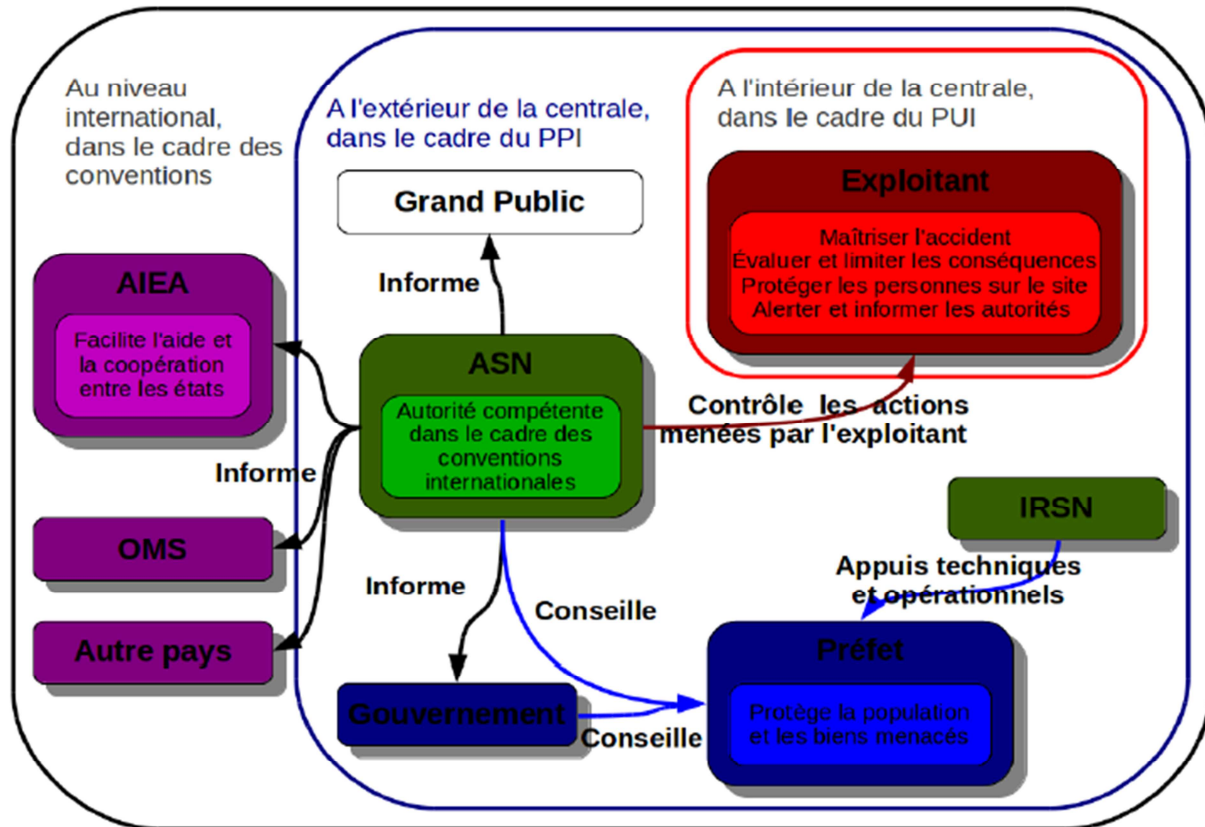


Figure 4.6: Gestion d'une crise nucléaire

Exemple d'un PPI

Enfin, nous proposons dans cette partie de comparer un PPI et quelques mesures envisagées, avec les mesures prises lors de l'accident de Fukushima.

- **Évacuation des populations :**

Le PPI de Gravelines prévoit deux scénarios d'incidents : un incident à « cinématique rapide », qui est susceptible de produire des rejets dans les 6 heures ou moins, et un incident à « cinématique lente » dont les rejets se feront dans un délai de plus de 6 heures.

- Dans le cas de la cinématique rapide, le plan prévoit une mise à l'abri dans un rayon de 2km autour de la centrale. Le plan justifie cette décision par le fait qu'il n'y aurait pas assez de temps pour évacuer la population sans risque d'exposition. Dans le cas d'une cinématique rapide le plan ne prévoit rien pour les populations plus éloignées.

- Dans le cas de la cinématique lente, le temps écoulé entre le déclenchement du plan et les rejets prévus est assez important pour envisager des évacuations. La population comprise dans les 5 km autour de la centrale est donc évacuée, une mise à l'abri est conseillée pour la population comprise entre 5 et 10 km de la centrale.

A Fukushima, la zone d'évacuation était initialement une zone d'un rayon de 2 km autour de la centrale. Par la suite en moins de 24 heures (durant la journée du 12 mars) la zone d'évacuation a été étendue, en plusieurs fois, à 20km de rayon. Tandis qu'une zone de mise à l'abri a été installée dans un rayon de 30km, autour de la centrale (Communiqué de la NISA du 12 mars 2011, « Seismic Damage Information 16th Release »).

Il faut garder en tête que le 12 mars 2011, l'accident de Fukushima n'est encore considéré que comme un accident de niveau 4, soit « un accident n'entraînant pas de risques à l'extérieur » par l'AIEA (AIAE événements, « abnormalrise of radioactive dosage value at site boundary (INES Level 4) », datée du 12 mars 2011). La zone d'évacuation définie dans le PPI apparaît comme beaucoup trop petite pour un accident de niveau 4 ou plus. [26]

- **Météorologie :**

Le PPI de Gravelines analyse brièvement les vents dominants sur le site. Néanmoins les résultats de cette analyse ne sont pas pris en compte lors de la délimitation des zones à risques : ces zones sont de simples cercles. Or l'accident de Fukushima a bien montré que les risques sont très dépendants de la météorologie (direction et vitesse des vents, pluviométrie, etc.).

Ces exemples illustrent la difficulté de préparer un PPI. Il permet néanmoins de préciser le rôle de chaque organe, dans la mise en place de l'information et des mesures d'urgence.

h) Conclusion

Ainsi, il apparaît clairement à l'issue de cet exposé l'importante implantation du nucléaire à travers le monde. Ce moyen de production d'électricité s'est d'ailleurs doté d'un certain nombre d'organismes de surveillance. On peut toutefois noter une certaine hétérogénéité dans la répartition et l'indépendance de ces organismes.

Cependant, les catastrophes de Three Mile Island, Tchernobyl et Fukushima ont montré que les exigences en matière de sécurité ont toujours été trop faibles par le passé. Les conséquences sanitaires globales de ces trois catastrophes se sont révélées désastreuses en ce qui concerne les populations qui y ont été exposées : surmortalité se chiffrant en dizaines de milliers de morts directes, autant en terme de morts indirectes (cancers, ...), augmentation du nombre d'individus atteints de diverses pathologies. Les conséquences environnementales, écologiques et économiques ne sont pas non plus négligeables : zones inhabitables, zones sous surveillance, coût de l'ordre d'une centaine de milliards de dollars dans le cas de Tchernobyl, ...

Ces catastrophes doivent nous amener à repenser notre vision du nucléaire : la question n'est pas de savoir si le nucléaire est dangereux mais dans quelles conditions il l'est. Il apparaît en effet évident que des centrales ne possédant pas d'enceinte de confinement (réacteurs RBMK) ne devraient plus avoir l'autorisation de continuer de fonctionner dans le futur. Il apparaît de même pour le moins logique que les plus vieilles centrales ayant connu un certain nombre d'avaries doivent être arrêtées dans les plus brefs délais.

Au final, quelque soit le nombre de centrales nucléaires utilisées à travers le monde, il nous apparaît que l'unique préoccupation qui doit nous guider est la sécurité des installations passées, présentes et futures. L'absence de futures catastrophes nucléaires en dépend.

Conclusion générale

L'étude de dangers est légalement obligatoire pour la grande majorité des installations industrielles et notamment pour les Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises à autorisation, les canalisations de transport et de distribution ou encore les principales infrastructures de transport de matières dangereuses.

C'est la pierre angulaire de la politique de prévention du risque technologique. L'étude de dangers constitue le "rapport de sécurité" prévu par la directive SEVESO pour les installations présentant des risques d'accident majeur.

L'étude de dangers implique un état des lieux, fait pour une installation donnée et une période donnée, au regard de son environnement technologique, naturel et humain.

Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents et démontre la compatibilité entre l'installation, ses risques accidentels et l'environnement du site.

L'étude de dangers justifie par ailleurs, pour les ICPE classées "SEVESO seuil haut" la mise en place d'une organisation permettant :

de maîtriser les risques liés à l'installation : le système de gestion de la sécurité (SGS),

de gérer des situations incidentelles ou accidentelles : le plan d'opération interne (POI).

Référence bibliographique

- [1] Energie électrique, *Traite d'électricité. V. XII. M. Aguet et al., 1990.*
- [2] Turbomoteurs à Combustion Interne, Gicquel Renaud, Extrait de "Systèmes Energétiques, tome 2", Presses de l'Ecole des Mines de Paris.
- [3] Énergie, électricité et nucléaire, Gilbert NAUDET et Paul REUSS, *Institut National Des Sciences Et Techniques Nucléaires, EDP Sciences 2008, 17, avenue du Hoggar Parc d'activités de Courtaboeuf, BP 112, 91944 Les Ulis Cedex A, France.*
- [4] Énergie Éolienne, Principes et Études de cas, *Marc Rapin Jean-Marc Noël, Editions Dunod Paris, 2010.*
- [5] Cellules solaires, Les bases de l'énergie photovoltaïque par *Anne Labouret, Pascal Cumunel, Jean-Paul Braun Et Benjamin Faraggi. 5^e édition Editions Dunod Paris, 2010.*
- [6] Electrotechnique, *Théodore Wildi Avec la collaboration de Gilbert Sybille, 3^e édition, Editions de Boeck Université, Rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles.*
- [7] Cours d'hygiène sécurité environnement préparé par ait Ahmed Ourida
- [8] Rapport INERIS "Méthode d'estimation de la gravité des conséquences environnementales d'un accident industriel"
- [9] BARPI (Retour d'expériences sur accidents technologiques) : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr> [en ligne] (page consultée le 02/09/2020).
- [10] Mémoire fin d'étude «étude et analyse du risque industriel » présenté par : Bennedjai Nouh Douahi Oussama abd elghafour [page 59].
- [11] EAT-DRA-76 - Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques majeurs. Étude de dangers d'une installation classée oméga-9
- [12] Inspection des Installations Classées : <http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr> [en ligne] (page consultée le 04/09/2020).
- [13] Décret exécutif n° 15-09 du 23 Rabie El Aouel 1436 correspondant au 14 janvier 2015 fixant les modalités d'approbation des études de dangers spécifiques au secteur des hydrocarbures et leur contenu.
- [14] Incident à Seveso (Français) Broché – 9 mars 2006
- [15] Règlement (CE) No. 1272/2008 du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les Directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) No. 1907/2006 (JOUE n°L353 du 31 décembre 2008).
- [16] Règlement n° 987/2008 du 08/10/08 modifiant les annexes IV et V du règlement (CE) n°1907/2006 du Parlement européen et du Conseil concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH) (JOUE n° L268 du 9 octobre 2008).

[17] Code de l'Environnement (parties législative et réglementaire) - Livre V « Prévention des pollutions, des risques et des nuisances » - Titre I « Installations classées pour la Protection de l'Environnement

[18] Note technique du 22 juin 2015 relative aux études de dangers remises en application de l'article L. 551-2 du Code de l'Environnement et au porter-à-connaissance concernant les gares de triage (BO MEDDE – MLETR n° 2015/12 du 10 juillet 2015).

[19] Evaluation des études de dangers dans le secteur de la chimie fine – Recueil de bonnes pratiques à l'attention des inspecteurs des installations classées (09/2007).

[20] « L'étude de dangers » Notions de base et éléments de réglementation INERIS

[21] Cédric Denis-Remis. Approche de la maîtrise des risques par la formation des acteurs. domain_stic.soci. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007. Français.

[22] A. Christian ET S. Dominique. « Prévention des accidents électriques - Présentation général » Les Techniques de l'ingénieur, Génie électrique. Référence D5101. Date de publication: 10 Nov. 2012.

[23] AIEA world database [en ligne]. <<http://pris.iaea.org/Public/WorldStatistics>> (consulté le 15/11/2020).

[24] World Nuclear Association, Three Mile Island Accident [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.world-nuclear.org/info/inf36.html>> (Consulté le 16/11/2020).

[25] ASN, Accident de la centrale de Fukushima [en ligne]. Disponible sur : <<http://japon.asn.fr/index.php/Japon/Accident-de-la-centrale-de-Fukushima>> (Consulté le 16/11/2020).

[26] ASN, Dossier ASN et le nucléaire [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.asn.fr/index.php/Sinformer/Dossiers>> (consulté le 16/11/2020).

Annexe réglementation

La législation relative à la prévention et la sécurité au travail

La législation relative à la prévention et la sécurité au travail fait appliquer le droit de l'homme à la santé au travail.

En Algérie, la santé au travail pour tous les travailleurs est un droit législatif. Nous citerons les textes les plus importants] :

- Loi 83-13 du 2 juillet 1983 relative aux accidents de travail et aux maladies professionnelles -N° JORA 28du 05/07/83.

TITRE 5 : Prévention.

Article73, 74 et75.

- Loi 85-05 du 16 Février 1985 relative à la protection et à la promotion de la santé.
- Loi 88-07 du 26 janvier 1988 relative à l'hygiène, sécurité et à la médecine de travail.

N° JORA 04 du 27/01/88.

La présente loi a pour objet de définir les voies et les moyens ayant pour but d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions en matières d'hygiènes, de sécurité et de médecine du travail, et de désigner les personnes responsables et organismes employeurs chargés de l'exécution des mesures prescrites.

- Loi 06-23 du 20 décembre 2006 modifiant et complétant l'ordonnance N°66156 du 8 juin 1966 portant code pénal.
- Décret exécutif N°91-05 du 19/01/1991 relatif aux prescriptions générales de protection applicables en matière d'hygiènes et de sécurité en milieu de travail.
- Décret exécutif N°96-209 du 05/06/1996 fixant la composition, l'organisation et le fonctionnement du conseil national d'hygiène de sécurité et de médecine du travail.
- Décret exécutif N°97-424 du11/11/1997 fixant les conditions d'applications du titres Vde la loi 83-13 du 02/07/83 relatif à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles par la CNAS.
- Décret exécutif N°01-342 du 28octobres 2001relatif aux prescriptions particulières de protection et de sécurité des travailleurs contre les risques électriques au sein des organismes employeur.

Tous les textes règlementaires ont pour objet de définir tous les moyennes applicables à tout organisme employeur afin d'assurer aux travailleurs les meilleures conditions en matières d'hygiène et sécurité.

Contexte législative et réglementaire concernant l'étude de danger

La présente étude de danger, relative à l'exploitation, sur le territoire algérien d'établissements classés pour la protection de l'environnement s'inscrit dans le respect des textes suivants :

- Loi n° 03-10 du 19 Ouadda El Oulla 1424 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable
- Loi n° 04-20 du 13 Dou El Kadada 1425 correspondant au 25 décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable.
- Décret exécutif n° 98-339 du 13 Raja 1419 correspondant au 3 novembre 1998 définissant la réglementation applicable aux installations classées et fixant leur nomenclature.
- Articles 12 – 13 et 14 de la section 3 chapitre 2 du Décret exécutif n 06-198 du 4 Joumada El Oula 1427 correspondant au 31 mai 2006 définissant la réglementation applicable aux Etablissements classés pour la protection de l'environnement.
- Décret exécutif n° 06-141 du 20 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 19 avril 2006 définissant les valeurs limites des rejets d'effluents liquides industriels.
- Loi n° 05-12 du 28 Joumada Ethania 1426 correspondant au 4 août 2005 relative à l'eau.
- Décret exécutif n 06-138 du 16 Rabie El Aouel 1427 correspondant au 15 avril 2006 réglementant l'émission dans l'atmosphère de gaz, fumés, vapeurs, particules liquides ou solides, ainsi que les conditions dans lesquelles s'exerce leur contrôle.
- Décret exécutif n° 06-02 du 7 Dhou El Hidja 1426 correspondant au 7 janvier 2006 définissant les valeurs limites, les seuils d'alerte et les objectifs de qualité de L'air en cas de pollution atmosphérique.
- Loi n° 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et l'élimination des déchets.

- Décret exécutif n° 03-451 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 définissant les règles de sécurité applicables aux activités portant sur les matières et produits chimiques dangereux ainsi que les récipients de gaz sous pression.
- Décret exécutif n° 03-452 du 7 Chaoual 1424 correspondant au 1er décembre 2003 fixant les conditions particulières relatives au transport routier de matières dangereuses.