



République Algérienne Démocratique et Populaire
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Université M'Hamed Bouguerra
Boumerdès
جامعة محمد بوقرة بومرداس

Faculté de Technologie
Département : Génie des Procédés Industriel
Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master
Spécialité : Hygiène et Sécurité Industriel

Thème :

**Effets dominos concepts et méthodes d'analyse
Cas du Centre Aviation A23 NAFTAL -Dar el Beida, Alger**

Préparé par :

- BOURABIA AHMED AMINE
- TARZOUT ABDERRAHMAN

Promoteur : Dr. Amine Benmokhtar MCB (ENP)

Soutenu publiquement le : .../.../....

Année universitaire : 2019 - 2020

Dédicaces

Je dédie ce travail:

*Tous mes exploits porteront t ton nom quand mon cœur portera le reflet de
ton image, à toi ma défunte mère*

*Qui n'aurait pu aboutir et voir la lumière sans
l'aide De dieu le tout puissant,*

*mes parents, qui je témoigne mon respect et ma reconnaissance pour tout ce
qu'ils ont fait pour moi que dieu les protège.*

Ma famille et tous ceux qui m'aiment et que j'aime

A tous mes enseignants.

A tous mes amis

AHMED AMINE

Dédicaces

Je dédie ce travail:

*A la femme qui a donnée son corps et son âme pour que je puisse devenir
l'homme qu'elle a tant revu que je devienne le paradis sera ton éternelle
demeure inshallah !*

*Tous mes exploits porteront ton nom quand mon cœur portera le reflet de
ton image, à toi ma défunte mère*

*Qui n'aurait pu aboutir et voir la lumière sans
l'aide De dieu le tout puissant,*

*mes parents, qui je témoigne mon respect et ma reconnaissance pour tout ce
qu'ils ont fait pour moi que dieu les protège.*

Ma famille et tous ceux qui m'aiment et que j'aime

A tous mes enseignants.

A tous mes amis

ABDERRAHMAN

Remerciement

*Nous remercions ALLAH qui nous a donné la force
et la patience pour terminer ce travail ;*

*Nous remercions notre promoteur MR. Ben
Mokhtar pour tous ses conseils, de nous avoir
guidé et orienté au long de cette étude.*

*Nous remercions les membres de jurés qui ont
accepté d'évaluer et juger le présent travail.*

ملخص

في مجال المخاطر، تعتبر الحوادث التي تسببها آثار "سلسلة الحوادث" الدومينو أكثر الحوادث تدميراً المرتبطة بالمواقع الصناعية، والتي يمكن أن تسبب عواقب وخيمة على المواقع الصناعية. إن احتمال حدوث تأثير الدومينو مرتفع بشكل متزايد بسبب تطوير المجمعات الصناعية، وقرب المنشآت الصناعية، وتخزين المواد الخطرة، وتنوع هذه العوامل أكثر أهمية لأنها ترتبط في كثير من الأحيان ظهور تهديدات جديدة تستغل الأفعال الكيدية والخطأ البشري. على الرغم من كثرة الأدبيات في العديد من الدراسات حول تأثيرات الدومينو، فمن الضروري تعميق تحليلها، وإيلاء المزيد من الاهتمام لنمذجتها. تقدم هذه المقالة الأساليب والأدوات البرمجية الرئيسية الموجودة لتحليل و نمذجة تأثيرات الدومينو. تنتهي هذه الحالة الفنية بدراسة مقارنة للطرق والأدوات الرئيسية المعروضة أعلاه، مع التركيز على الحدود التي تمت مواجهتها في تطبيق هذا النهج، كما يتم عرض خاتمة ووجهات نظر. لتوضيح وجهة نظرنا، اخترنا مركز الطيران A23 دار البيضاء وهو قطاع النشاط في تخزين وتوزيع الهيدروكربونات كمثال على عملنا.

الكلمات المفتاحية: المخاطر، تأثير الدومينو

Résumé

Dans le domaine des risques, les accidents causés par les effets domino « chaîne d'accidents » sont les accidents les plus destructifs liés aux sites industriels, ce dernier, peut causer des conséquences graves sur les sites industriels. La probabilité d'occurrence effet domino est de plus en plus élevée en raison du développement des complexes industriels, la proximité des installations industrielles, le stockage de substances dangereuses, La diversité de ces facteurs est encore plus critique qu'elles sont souvent liées à l'émergence de nouvelles menaces qui exploitent les actes de malveillance et les erreurs humaines. Bien que la littérature abonde dans plusieurs études sur les effets domino, il est nécessaire d'approfondir leur analyse, et de prêter davantage attention à leur modélisation. Cet article présente les principales méthodes existantes et des outils logiciels pour l'analyse et la modélisation des effets domino. Cet état de l'art se termine par une étude comparative des principales méthodes et outils présentés ci-dessus en mettant l'accent sur les limites rencontrées dans l'application de la présente Approches. Une conclusion et les perspectives sont également proposées. Afin d'illustrer nos propos, nous avons choisi le Centre Aviation A23 Dar el Beida qui est un Secteur d'activité dans le stockage et la distribution des hydrocarbures comme exemple de notre travail.

Les mots clés : risques, effets dominos

Abstract

In the area of risks, accidents caused by domino "chain of accidents" effects are the most destructive accidents linked to industrial sites, the latter, which can cause serious consequences on industrial sites. The probability of domino effect occurrence is increasingly high due to the development of industrial complexes, the proximity of industrial facilities, the storage of hazardous substances, The diversity of these factors is even more critical as they are often linked to the emergence of new threats that exploit malicious acts and human error. Although the literature abounds in several studies on domino effects, it is necessary to deepen their analysis, and to pay more attention to their modeling. This article presents the main existing methods and software tools for the analysis and modeling of domino effects. This state of the art ends with a comparative study of the main methods and tools presented above, emphasizing the limits encountered in the application of this Approach. A conclusion and perspectives are also offered. To illustrate our point, we have chosen the A23 Aviation Center Dar el Beida which is an activity sector in the storage and distribution of hydrocarbons as an example of our work.

The key words: risks, dominos effects

Liste des matières

Tableau des matières

Liste d'abréviation

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I .1. L'Entreprise NAFTAL

I .2. Présentation De La Division Aviation Marine

I .2.1. Mission et organisation de BC/AVM aviation marine

I .2.1.1. Les Missions de BC/AVM

I .2.2. L'organisation de la BC /AVM

I .2.3. Les produits commercialisés

I .2.4. Moyens de la BC/ AVM

I .2.4.1. Moyens humains

I .2-4-2. Moyens matériels

I .3. Présentation de l'entreprise

I.4. Fiche technique du centre A23

I.5. Produits stockés

I.5.1. JET A-1

I.5.1.1. Fiche technique du Jet A-1

I.5.2. AVGAS 100LL (Low lead)

I.5.2.1. Fiche Technique de l'AVGAS

I.6. Description Des Infrastructures Installées

I.6.1. Description des différentes structures du centre

I.6.1. Aire de stockage de carburant

I.6.2. Poste de chargement

I.6.3. Gare racleur

I.6.4. Canalisations de transport produit

Liste des matières

I.6.5. Station de pompage produit (déchargement par camion-citerne)

I.6.6. Réseaux d'eaux polluées et station de relevage

I.6.6.1. Réseaux d'eaux polluées

I.6.6.2. La station de relevage

I.6.6.3. Séparateur eau/hydrocarbure

I.6.7. Installations Électriques

I.6.8. Infrastructures

I.6.9. Banc d'essai de régulation et essais métrologiques

I.6.10. Pompes

I. 6.11. Matériels roulants

I .6.12. Grand explosion ayant une relation avec les effets dominos

I .6.12.1. Base des données (ARIA)

I.8. Problématique

I.9. Méthodologie

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

II.1. Nation de base

II.1.1. Définition

II.1.2. Effets dominos

II.1.2.1. Définitions

II.1.2.2. Législation française : aperçu historique

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

III.1. Méthodes et outils d'évaluation des effets dominos

III.2. Les méthodologies

III.2.1. Méthodologie d'analyse d'effet domino (DEA)

III.2.2. Méthodologie MCAS

III.2.3. Méthodologie SCAP

III.2.4. Méthodologie ORA

III.2.5. Méthodologie ARAMIS

Liste des matières

III.2.6. Modèle de propagation de la panique

III.2.7. Méthode d'évaluation quantitative des risques sismiques

III.2.8. Méthode d'évaluation quantitative des risques générés par la foudre

III.2.9. Méthodologie SIGALEA

III.2.10. Méthodologie HAZWIM

III.2.11. Algorithme FREEDOM (FREquency Estimation of DOMino accidents)

III.2.12. Méthode d'évaluation l'effet des projectiles

III.3. Les outils automatisés et logiciels

Liste d'abréviation

ARIA	Analyse. Recherche et Information sur les accidents
A23	Numéro du centre d'aviation
ADF	Antidéflagrant(e)
AM	Autorisation ministérielle
APAPC	Autorisation de président de l'annexe APC
API pétrole)	American Petrolatum Institute (l'institut américain du
APR	Analyse préliminaire des risques
Avgas	Essence d'aviation
AVM A23	Centre Aviation Marine A23
AW	Autorisation de Wilaya
BOCM	Boil-Over en couche mince
BTS	Basse teneur en soufre
C	Criticité
CR	Camion Citernes
DDAE	Dossier de Demande d'autorisation d'Exploiter
DOD	Fuel Oil dom vb estique
EDD	Étude de dangers
EP	Électro pompe
ERC	Évènement redouté centrale
FRS	Fire un flash de feu soudain
HB	Aéroport Houari Boumediene
HSE	Hygiène, Sécurité, Environnement

Liste d'abréviation

HSEQ	Hygiène, Sécurité, Environnement, Qualité
ICPE	Installation classée pour la protection de l'environnement
Jet A1	Carburant de type kérosène
Km	Kilomètre
KPa	Kilo Pascal
KVA	kilo volt ampère
Low Lead	Faible plomb
OPE	Opérationnel
%Vol	Pourcentage volumique
°C	Degré Celsius
Jet A1	Kérosène pour les avions a turbos-réacteurs
G	Gravité
g/cm²	Gramme par centimètre carré
GRA	Gare racleur
H	heure
Hab	Habitants
Hab/km²	Habitants par kilomètre carré
Kg/m²	Kilogramme par mètre carré
Kg/m².s	Kilogramme par mètre carré par seconde
m	Mètre
min	Minute
m/s	Mètre par seconde
m²	Mètre carré

Liste d'abréviation

m³

Mètre cube

SONATRACH

Société national pour la recherche, la production, la transport, la transformation et la commercialisation des hydrocarbures.

ERDP : Entreprise national de raffinage et distribution des produits pétroliers

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 01 : La branche carburants / dispose d'effectifs.....	05
Tableau 02 : Fiche technique du centre A23.....	08
Tableau 03 : Fiche technique du Jet A-1.....	08
Tableau 04 : Fiche technique de L'AVGAS.....	09
Tableau 05 : Bacs de stockage Jet A1.....	10
Tableau 06 : Fiche technique des bacs de stockage de Jet A1	11
Tableau 07 : cuvettes de rétention des bacs de stockage de jet AL.....	13
Tableau 08 : Les cuves de stockage d'Avgas au niveau du centre A23.....	13
Tableau 09 : Les installations électriques du centre A23.....	17
Tableau 10 : Liste des Pompes installées au centre A23.....	18
Tableau 11 : Liste du matériel roulant du centre A23.....	19
Tableau 12 : Définitions de l'Effet Domino proposées dans la littérature	27
Tableau 13 : Catégorisations de l'effet domino (adaptees de Reniers, 2010).....	29

Liste des figures

Liste des figures

Figure 01: Température et précipitation de la ville de Dar El Beida (1986-2016).....	06
Figure 02 : Plan de masse du centre A23.....	07
Figure 03 : Schéma d'un bac à toit fixe (Google Arth).....	12
Figure 04 : schéma du merlon de la cuvette de rétention.....	13
Figure 05 : Photo du gare racleur (Arrivé raffinerie).....	15
Figure 06 : Schéma du séparateur Eaux /hydrocarbures	17
Figure 07 : Composantes du risque (adaptée de Debray et al., 2006).....	24

Introduction

Introduction

Dans le domaine des risques potentiels, « les effets dominos » sont reconnus depuis 1947, la probabilité d'occurrence d'effet domino est de plus en plus élevée en raison du développement de produit dans les installations industrielles, la proximité entre ces établissements, leurs stockages des substances dangereuses, l'erreur humaine, les actes de malveillance, et les catastrophes naturelles en raison du changement climatique. Malgré ça, les effets dominos /chaines en cascades, restent relativement peu étudiés, peu d'études qui fédèrent les différentes approches et méthodes disponibles dans la littérature.

L'effet domino est responsable de plusieurs accidents catastrophiques dans les industries chimiques et les zones de stockages. On peut noter aussi que les accidents causés par les effets dominos sont parmi les accidents les plus graves relatifs aux sites industriels. Par conséquent, le risque potentiel de ces scénarios d'accidents est largement reconnu dans la législation depuis la première directive « Seveso I » [1], cette dernière exige l'évaluation des effets domino dans l'analyse de la sécurité industrielle. En outre, la deuxième directive «Seveso II» [2] a étendu ses exigences à l'évaluation des effets dominos non seulement à l'intérieur du site industriel, mais aussi à proximité de ce dernier.

En France, la base de données ARIA [3], a identifié 18 469 accidents de Janvier 1992 à Décembre 2008 et 1073 autres de Janvier 2008 à Décembre 2018, montre que, les incendies et les rejets de matières dangereuses sont les événements plus fréquents avec respectivement 60 % et 44 % en 2018. Ajoutant à cela, les explosions et la projection de fragments (missiles) sont les grands événements qui peuvent générer des effets domino dans les sites industriels, d'où la nécessité de prévenir et d'atténuer ces événements.

L'analyse statistique des accidents dominos [4], montrent que la fréquence des accidents dominos est élevée dans les usines des procédés chimiques et de transport. Récemment, l'analyse historique des accidents domino [5] où ils ont étudié 261 accidents impliquant les effets dominos, montre que, en plus des causes de défaillances mécaniques et les événements externes, la fréquence des accidents dominos causés par facteur humain est relativement élevée, d'où l'importance d'intégrer les facteurs humains et organisationnels dans l'étude des chaînes en cascades.

Malgré cela, des catastrophes en cascade restent relativement peu étudiés, peu d'attention portée sur l'étude des vecteurs d'intensification des effets domino, les méthodes disponibles dans la littérature sont limitées dans leur capacité à gérer la complexité de ce phénomène [6]

Chapitre I:
Mise en contexte,
problématique et méthodologie

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

L'hydrocarbure est une ressource énergétiques qui présenter des avantages pour l'économie d'un pays, et dans ce domaine il y'a des nombreux accidents majeur mondiaux, nous choisisit quelques accident pour illustré les effets dominos :

- **1^{er} accident**

FRANCE - 13 - CHATEAUNEUF-LES-MARTIGUES C19.20 en 31/10/2008 : Raffinage du pétrole A 14h45 (ARIA 35349).

Un feu se déclare dans le calorifuge d'une ligne vapeur sur un cheminement de canalisations à l'intérieur d'une cuvette ne contenant pas de bac de stockage. Suite à un épisode de fortes précipitations, le calorifuge s'était imprégné d'hydrocarbures lourds véhiculés par les eaux de pluies. Le service de sécurité intervient rapidement et éteint le feu qui a occasionné un panache de fumées pendant plusieurs minutes. La fin d'alerte est déclenchée à 15h00. L'exploitant rédige un communiqué de presse le jour même.

- **2^{ème} accident**

INDE - 00 - BOMBAY C19.20 en 09/11/1988: Raffinage du pétrole Dans un stockage d'hydrocarbures liquides (ARIA 480).

Un bac de naphta déborde. Le produit s'enflamme et l'incendie se propage à un pipeline situé à proximité qui explose. L'incendie s'étend à 6 autres réservoirs de naphta (440 t) et de benzène, qui explosent à leur tour (toit arraché). Les secours mettront plus de 12h pour venir à bout du sinistre. On déplore 35 morts, 16 blessés et des dommages matériels importants. Les victimes sont pour la plupart des chauffeurs venus charger leur camion. La cause de l'accident serait due à la défaillance d'une jauge de niveau, les vapeurs issues de la fuite ayant été enflammées par une étincelle due à l'électricité statique.

- **3^{ème} accident**

ÉTATS-UNIS - 00 - NCG46.71 en 20/06/1987: Commerce de gros de combustibles et de produits annexes Dans un parc de stockage d'hydrocarbures liquides (ARIA 27990)

Un incendie se déclare sur un bac à toit flottant (hauteur : 12 m) contenant 9 300 m³ d'essence sans plomb (rempli aux $\frac{3}{4}$). La foudre est à l'origine de l'accident. Le réservoir ne disposant pas d'équipement de lutte contre l'incendie, l'équipe de sécurité attaque le feu à la lance à main depuis le raidisseur du haut de la robe du bac : l'incendie couvre environ 20% de la circonférence mais ne peut être contenu par les pompiers du site qui redescendent. Le feu s'étend à la totalité du toit qui coule. Le bac est détruit. Les dégâts sont estimés à 10 M\$

- **4^{ème} accident**

ALLEMAGNE - 00 - HAMBURG (HAMBURG) C19.20 en 06/07/1986 (ARIA 8903) : Raffinage du pétrole Un bac de stockage à toit flottant contenant 1 000 m³ de résidus pétroliers liquides explose à la suite de la surchauffe de ces d'hydrocarbures par le rayonnement solaire. Il en résulte une inflammation immédiate à cause d'une poudre de fer, présente dans le bac sous forme de dépôt.

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Dans ce qui suite nous avons présenté dans premier temps l'entreprise NAFTAL, ensuite nous avons à présenter le centre aviation de dar el Beida, le lieu de notre projet de fin d'étude.



I .1.L'Entreprise NAFTAL

Issu de Société nationale pour la recherche, la production, le transport, la transformation, et la commercialisation des hydrocarbures (**SONTRACH**), l'entreprise **ERDP** a été créé par le décret N 80 /101 du 06 avril 1980.

Entrée en activité le 1 er janvier 1982, elle est chargée du raffinage et de la distribution des Produits pétroliers.

En 1987, l'activité raffinage est séparée de l'activité distribution et dévolue à une nouvelle entité **NAFTAC**.

NAFTAL est désormais chargée uniquement de la commercialisation et de la distribution des produits pétroliers et dérivés, en 1998 elle change de statut et devient société par action filiale à 100 % de **SONTRACH**.

NAFTAL a pour mission principal, la distribution et la commercialisation des produits pétroliers sur le marché national, elle intervient dans les domaines :

- De l'enfutage des GPL
- De la formulation de bitumes
- De la distribution, stockage et commercialisation du carburant, GPL lubrifiants, bitumes, pneumatiques et produits spéciaux
- Du transport des produits pétroliers

I .2. Présentation De La Division Aviation Marine

I .2.1. Mission et organisation de BC/AVM aviation marine

I .2.1.1 Les Missions de BC/AVM

La branche carburant dans ses activités aviation et marine assure la satisfaction des besoins en produits aviation et marine, de la clientèle nationale (compagnies Étrangères)

Les directions opérationnels de la division marine ont pour charge de :

- Superviser, coordonner et contrôler les activités d'approvisionnement, stockage, ravitaillement et de transport des produits aviation et marine sur les aéroports et ports où la BC/AVM dispose d'installation :
- Assure la prévention de la conformité du produits jusqu'à la livraison de celui-ci et conformément aux exigences du client,
- Assure la maintenance des installations et des moyens de distribution ;
- Assurer une qualité de service répondant aux attentes de la clientèle et veiller au maintien de l'image de marque de l'entreprise.

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I .2.2 L'organisation de la BC /AVM

L'organisation de la BC/AVM se compose des structures opérationnelles et fonctionnelles suivantes :

- Le laboratoire central
- Le groupe informatique
- Le groupe juridique
- La direction hygiène, sécurité, environnement et qualité (H.S.E.Q)
- La direction des ressources humaines
- La direction de l'administration & moyens
- La direction finances & comptabilité
- La direction des études, prévision & planification
- La direction marine à laquelle sont rattachés les centres marine
- La direction aviation à laquelle sont rattachés les centres et dépôts aviation
- La direction commercialisation

I .2.3. Les produits commercialisés

I .2.3.1. Activité aviation

- Le carburéacteur destiné aux avions turboréacteurs
- L'essence Avgas-100LL, consommée par les moteurs d'aviation.
- Les lubrifiants aviations
- Les produits spéciaux

I .2.3.2. Activité marine

- Le fuel- oil bunker c de haute viscosité, issu des importations et destiné aux navires de gros tonnages
- Le fuel-oil BTS (basse teneur en soufre), issu du pétrole algérien et provenant des raffineries algériennes, destiné aux moteurs semi rapides.
- Les inters fuel- oil de différentes viscosités, issus de mélanges fuel-oil (Bunker C et /ou BTS) et de gas-oil
- Le gasoil, utilisé dans les navires à moteurs rapides et destiné aux besoins domestiques de bord (éclairage, cuisines, chauffage)
- Les lubrifiants marins

I .2.4. Moyens de la BC/ AVM

I .2.4.1. Moyens humains

La branche carburants / dispose d'effectifs toutes catégories confondues, répartis comme suit

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Tableau 01 : La branche carburants / dispose d'effectifs

Effectifs	Année 2016 (%)	Année 2017 (%)
Exécution	30	30
Cadre et Cadre supérieures	11.4	11.4
Maitrise	28	29
Agent techniques	19.6	19

I .2.4.2. Moyens matériels

-Activité aviation

Les opérations d'approvisionnement et de ravitaillement des centres et dépôts sont réalisés au moyen de :

-Tracteurs routiers

-Semi-remorque citernes

-Les opérations d'avitaillement (livraison des aviations) sont réalisées au moyen de :

-Camion avitailleurs

-Système hydrant (livraison par pipe oléo serveurs)

-Activité marine

Les opérations de sautage (livraison des navires) sont réalisées au moyen de :

- Barges d'avitaillement de 200 t
- Barge d'avitaillement de 1000 t
- Vedettes de servitude

-Capacité de stockage

Les capacités totales disponibles sont

- Carburant Aviation : 49.226 m³
- Carburant Marine : 99.000 m³

Infrastructures Aviation et Marine

- Direction Aviation : 26 Centres et Dépôts Opérationnels

- Direction Marine : 06 centres opérationnels

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I.3. Présentation de l'entreprise

Le centre aviation de Dar El Beida est mis en service en 1963 et maintes fois rénové depuis .Il a pour activités principales : Réception, stockage et distribution des carburants : Jet A1 et AVGAS.

Le centre se trouve a l'enceinte de l'aéroport Houari Boumediene et il occupe une superficie de 541133m². L'approvisionnement du Centre en produits s'effectue par pipeline venant principalement de la raffinerie d'Alger (Sidi Rezine-RA1G) pour le Jet A1, et par camion citernes de l'entrepôt d'El Harrach. La moyenne des quantités de produits mouvementés est d'environ de 500 m³/jours du kérosène (Jet A1) (entrant et sortant en moyenne)

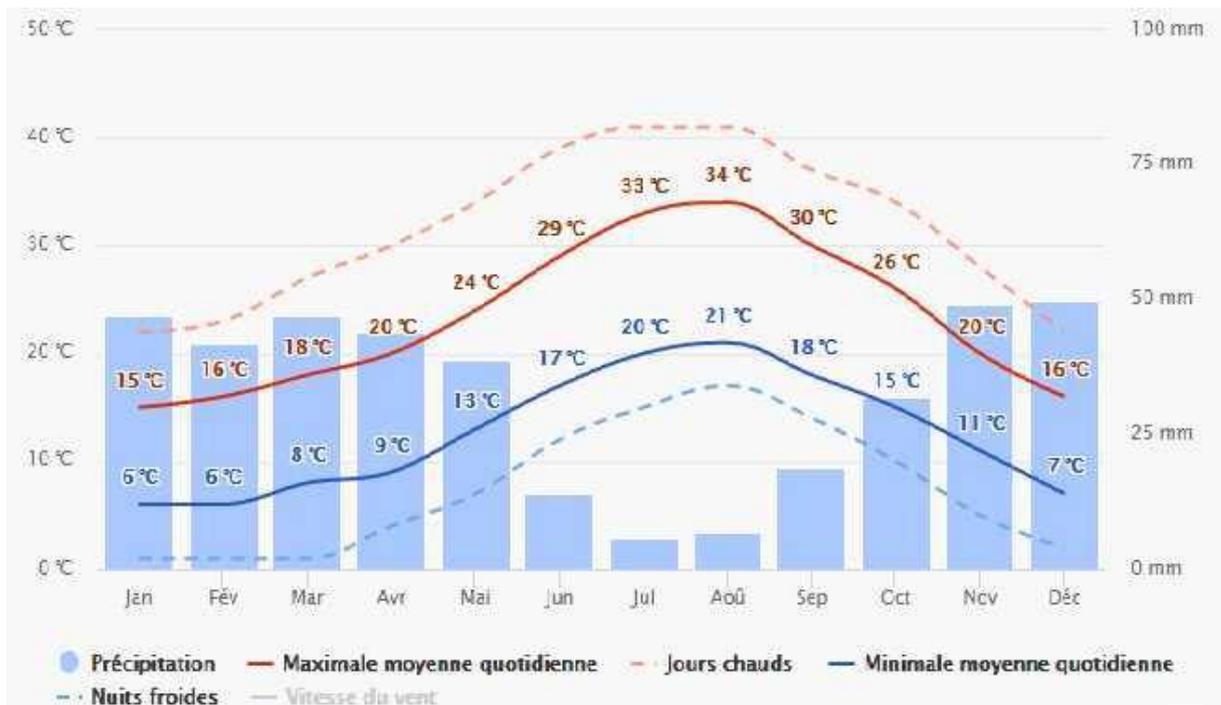


Figure 1 : Température et précipitation de la ville de Dar El Beida (1986-2016)

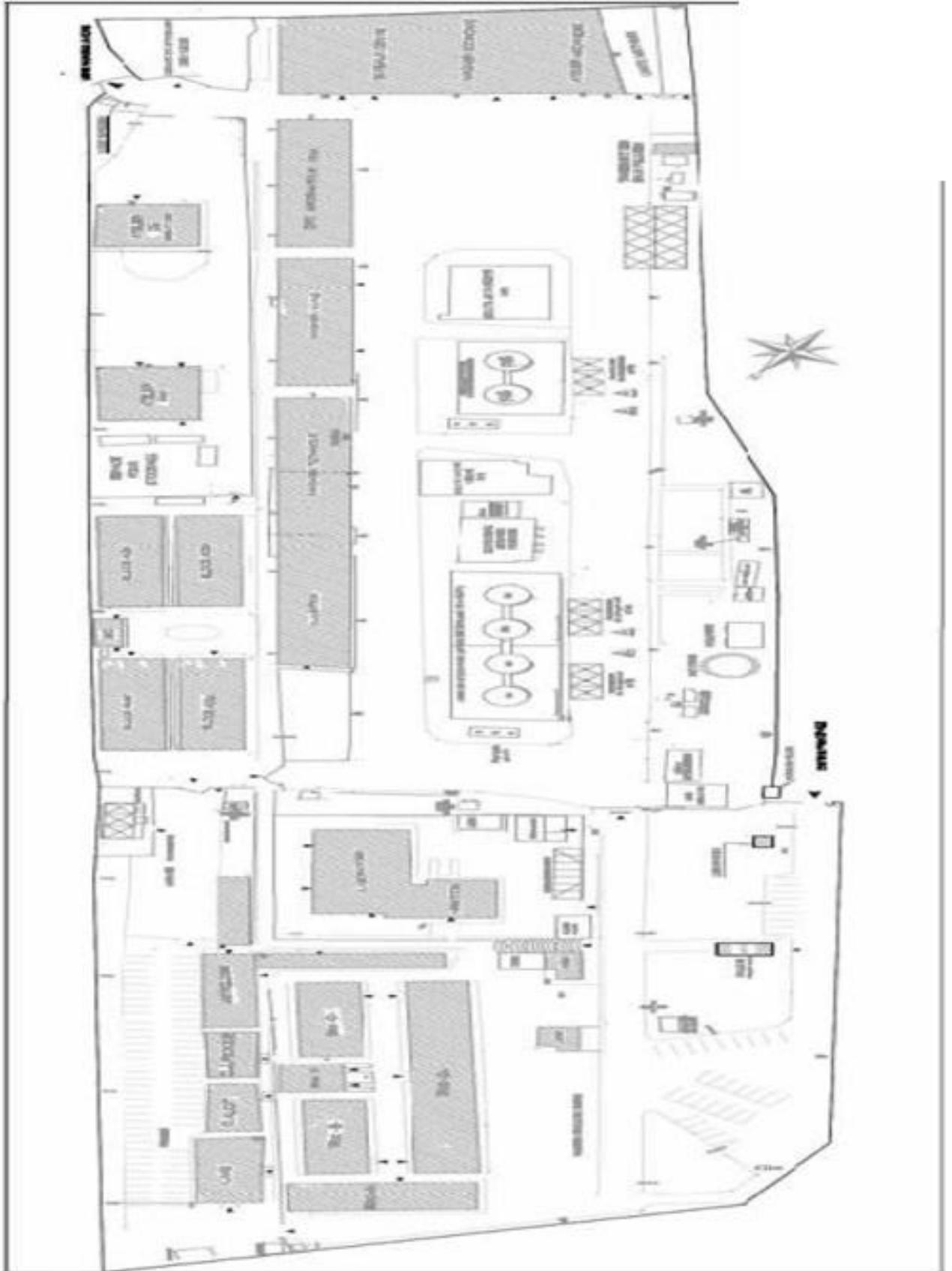


Figure 2 : Plan de masse du centre A23 (procès Naftal)

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I.4 Fiche technique du centre A23

Tableau 2 : Fiche technique du centre A23

Nom de l'établissement	Centre Aviation A23 Dar-El-Beida
Nom de l'exploitant	Société nationale de commercialisation et de distribution de produits pétroliers – NAFTAL/spa - branche carburant
Adresse de l'établissement visé par l'étude	Aéroport Houari Boumediene Dar El Beida-Alger
Secteur d'activité	Stockage et Distribution des Hydrocarbures
Activités du centre aviation A23 dar el Beida	Distribution de fuel (Jet A1 / Avgas), avitaillement avions

I.5 Produits stockés

I.5.1 JET A-1

Le Jet A-1 est le carburant habituel pour turbines. Il est également utilisé en aviation générale pour les avions à moteur diesel. Ce dernier est un carburant de type kérosène convenant à la plupart des aéronefs à réacteurs.

I.5.1.1 Fiche technique du Jet A-1

Tableau 3: Fiche technique du Jet A-1

Propriétés physico-chimiques		
État physique	Liquide	
Couleur	Claire limpide	
Odeur	Hydrocarbures	
Point d'éclair	38°	
Limites d'explosibilité	Seuil minimal	Seuil maximal
	0.7 Vol %	5 Vol %
Densité à 15°C	0.790g/cm ³	
Solubilité dans l'eau	Insoluble	

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I.5.2 AVGAS 100LL (Low lead)

C'est un carburant spécifique utilisé dans les moteurs d'avions à pistons. Elle est à très haut indice d'octane et traitée de façon à être moins volatile que l'essence ordinaire en particulier pour le vol en altitude. La plus utilisée en aviation légère. Elle est de couleur bleue.

I.5.2.1 Fiche Technique de l'AVGAS

Tableau 4 : Fiche technique de L'AVGAS

Propriétés physico-chimiques		
État physique	Liquide	
Couleur	Bleu clair	
Odeur	Odeur typique d'essence	
Point d'éclair	<1°	
Limites d'explosibilité	Seuil minimal	Seuil maximal
	1.4 Vol %	7.6 Vol %
Densité à 15°C	0.720 g/cm ³	
Solubilité dans l'eau	Insoluble	

I.6 Description Des Infrastructures Installées

I.6.1 Description des différentes structures du centre

Le centre aviation de Dar El Beida est implanté sur une superficie totale de 541133 m². Il est composé des infrastructures suivantes :

I.6.1.1 Aire de stockage de carburant

- Bacs stockage

L'aire de stockage est constituée par sept bacs

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Tableau 5 : Bacs de stockage Jet A1

Bac	Produit stocké	Capacité de stockage (m ³)
Bac N°1	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°2	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°3	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°4	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°5	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°6	Kérosène (JET A1)	500
Bac N°7	Réservoir d'eau	450

Le centre A23 dispose des bacs à toit fixe à bras flottant, dont le toit est d'une construction simple de type autoportante avec un joint de soudure souple. La robe du bac est posée directement sur le sol, il est conçue selon la norme API 650 (L'institut américain du pétrole), Chaque bac est équipé de :

- D'une couronne d'arrosage (eau + mousse)
- Lampe ADF
- Évent pour dégazage doté d'un système « stop flamme »
- Système de signalisation pour avion (lampe ADF)

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Fiche technique des bacs de stockage de Jet A1

Tableau 6: Fiche technique des bacs de stockage de Jet A1

Code réservoir	RB001 / 1A23	RB002 / 1A23	RB003 / 1A23	RB004 / 1A23	RB005 / 1A23	RB006 / 1A23
Année de mises-en service	16/07/1989	16/07/1989	16/07/1980	16/07/1980	17/04/1995	17/04/1995
Hauteur (m)	10	10	10	10	10	10
Diamètre (m)	8	8	8	8	8	8
Capacité (m ³)	500	500	500	500	500	500
Produit	Jet A1					
Épaisse tôle du fond (mm)	6	6	6	6	6	6
Épaisse Des viroles (mm)	6	6	6	6	6	6
Hauteur de la virole (m)	2	2	2	2	2	2
Quantité Impalpable (m ³)	7	7	7	7	7	7
Diamètre Tampon de jauge pouce (")	2	2	2	2	2	2
Diamètre Vanne entré prod Pouce (")	6	6	6	6	6	6
Diamètre Vanne sortie prod Pouce (")	6	6	6	6	6	6
Diamètre vanne de Vidange pouce (")	2	2	2	2	2	2



Figure 3 : Schéma d'un bac à toit fixe (Google Aarth)

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

-Cuvette de rétention

Il existe trois cuvettes de rétention avec des murets en béton ; chacune contient deux bacs de stockage (conformément aux règles d'aménagement 1998) comme suit :

Tableau7 : cuvettes de rétention des bacs de stockage de jet AL

Numéro de cuvette		Capacité m ³
Première cuvette	N°1 et N°2	500
Deuxième cuvette	N°3 et N°4	500
Troisième cuvette	N°5 et N°6	500

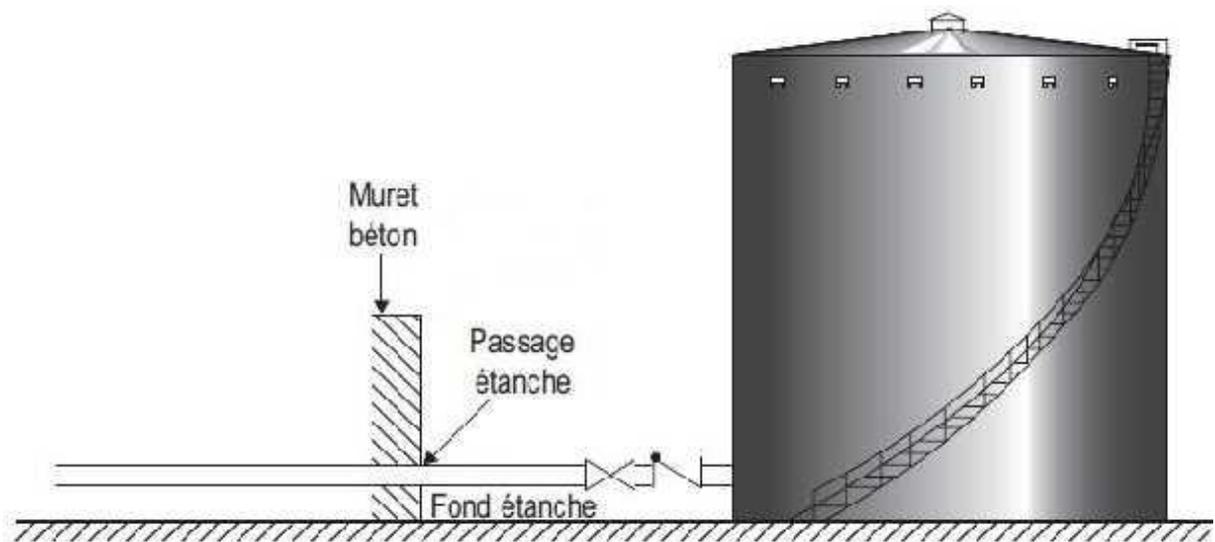


Figure 4: schéma du merlon de la cuvette de rétention

- Cuves de stockage : (conforme aux règles d'aménagement)

Le centre A23 dispose de 11 cuves enterrées dont les caractéristiques sont dans le tableau suivant :

Tableau 8 : Les cuves de stockage d'Avgas au niveau du centre A23

Cuves	Capacité de stockage par cuve	Date de mise en service	Produit stocké	Observation
De N°05 à N°09	100m ³	23/09/1974	AVGAS	Opérationnel
De N°13 à N°14	25m ³	/	GASOIL	Opérationnel
N°15	25m ³	/	ESSENCE	Opérationnel

I.6.2 Poste de chargement

Il existe 3 postes de chargement camions dont le débit de chaque poste est de 120m³/h.

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Le chargement est de type source, il se fait par aspiration flottante. Les camions citernes sont équipés d'un système de contrôle de niveau (jauge), Les postes de chargements sont équipés :

- D'une installation fixe d'extinction automatique à « eau + mousse » nommée aussi Sprinkler
- D'extincteurs à mousse
- Lampes ADF
- Système de mise à la terre

I.6.3 Gare racleur

Terminal arrivée : Dépôt AVM A23, doté d'une gare racleur arrivé (GRA), de vannes Motorisées, d'un compteur de débit et une soupape de sécurité tarée à 19,6 Bars.



Figure 5 : Photo du gare racleur (Arrivé raffinerie)

Le gare racleur est équipé de :

- Pompes de transfert de contaminât 60 m³/h.
- Pompes de reprise de purge 20 m³/h.
- Citerne de purge 6 m³.
- Bac de contaminât
- Tableau éclairage.
- Système de protection contre la foudre.
- Deux (02) bancs de comptage dont l'un en service et l'autre en secours.
- Un densimètre.
- Une (01) boucle de régulation de pression.
- Un circuit de récupération des purges et de décharges des soupapes.
- Système de détection incendie.
- Les purges des installations seront récupérées dans un ballon.
- Un réseau d'eau incendie et de mousse.
- Cuvette de récupération des rejets liquide
- Un toit en charpente métallique

I.6.4 Canalisations de transport produit

Le produit est acheminé par pipelines de la raffinerie d'Alger vers le Centre. Son diamètre est de 10 pouces (25.4 cm).

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Remarque : les pipes du centre A23 sont dotées d'une protection cathodique et un conducteur pour assurer la continuité des masses électriques. (Entre les différents éléments qui constituent la canalisation)

I.6.5 Station de pompage produit (déchargement par camion-citerne)

Les lieux où sont installées les pompes de produit ne sont pas abrités. Le nombre total de pompes est de trois. Le débit de chacune est de 120 m³/h

Des micros filtres séparateurs horizontaux sont installés pour assurer la qualité de produit

I.6.6 Réseaux d'eaux polluées et station de relevage

I.6.6.1 Réseaux d'eaux polluées

Il existe 3 réseaux d'eaux au niveau du centre :

Le premier est situé à l'arrivée de la raffinerie, le deuxième au niveau de la zone d'implantation des bacs de stockage, Et le 3ème appelé 1200 est situé derrière le bac de réserve d'eau, les trois réseaux sont raccordés à un réseau d'assainissement collectif.

Les 3 réseaux que dispose le centre permettent la collecte des eaux polluées provenant des différents processus.

I.6.6.2 La station de relevage

La station de relevage est nécessaire quand la pente du terrain ne permet pas un écoulement de l'eau par la gravité. Elle se place avant la fosse de décantation ou entre celle-ci et la filière de traitement. Elle est souvent utilisée avec le terte d'infiltration.

L'assainissement collectif nécessite souvent des stations de relevage qui sont dimensionnées en fonction du débit du réseau et des pentes à remonter.

L'objectif de la station de relevage est de remonter les eaux usées. En fonction des besoins, Le poste de relèvement des eaux usées peut être installé à plusieurs endroits de la filière d'assainissement.

I.6.6.3 Séparateur eau/hydrocarbure

Les séparateurs à hydrocarbures sont des ouvrages permettant de piéger, par densité les hydrocarbures présents dans les eaux usées. La loi sur l'eau et les milieux aquatiques impose leur implantation dans chaque site qui génère des eaux polluées dont les surfaces sont susceptibles de recevoir des quantités notables d'hydrocarbures. Ils sont alors situés en amont du branchement au réseau public d'assainissement. **(Voir figure 6).**

Le centre Aviation A23 est doté de 3 séparateurs répartis comme suit : le premier est localisé à l'arrivé de la raffinerie, Le deuxième est placé en face les bacs de stockage Et le 3ème séparateur se trouve à côté de l'atelier mécanique, non exploité qui contient des effluents liquides non traités nécessitants des analyses de conformité avant leur évacuation vers milieu extérieur.

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Si l'eau filtrée dépasse les 20 ppm en hydrocarbure doit avoir une deuxième filtration pour s'assurer de sa conformité.

La fosse de décantation est dotée d'un système de détection à mousse en cas d'incendie.

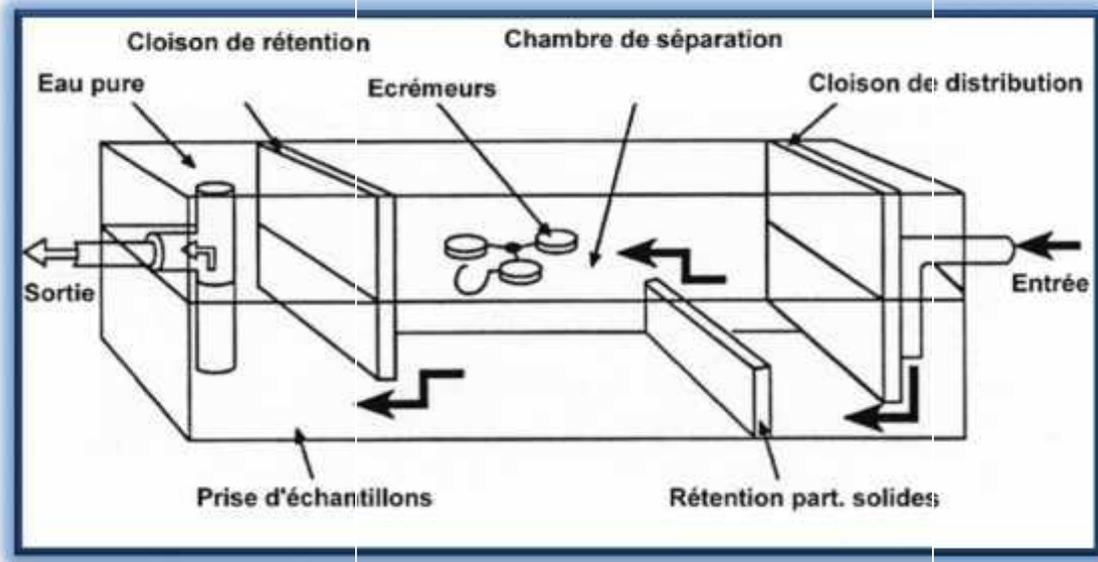


Figure 6 : séparateur Eaux /hydrocarbure (procès Naftal)

I.6.7 Installations Électriques

Tableau 9: Les installations électriques du centre A23

Équipement	Capacité (kVa)
Transformateur	630
Groupes électrogènes	250
	400
	600

I.6.8 Infrastructures

Le centre dispose de :

- 7 bureaux
- Sanitaires
- Vestiaires
- Salle d'archive
- Un hangar d'atelier mécanique
- Un hangar de stockage
- Un poste d'intervention

I.6.9 Banc d'essai de régulation et essais métrologiques

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

Le banc d'essai constitue une introduction expérimentale étendue aux principes de base de la technique de régulation à l'exemple d'une régulation de pression.

I.6.10 Pompes

Tableau 10 : Liste des Pompes installées au centre A23

Caractéristiques /pompes	Débit	Vitesse (tr/min)	Fluide pompe	Observation
EP 01	58	1430	Avgas 100ll	Ope
EP 02	63	1450	Avgas 100ll	Ope
EP 03	35	1420	Récupération	Ope
EP 04	58	1430	Avgas 100ll	Ope
EP 05	120	1470	Jet-a1	Ope
EP 06	120	1465	Jet-a1	Ope
EP 07	120	1470	Jet-a1	Ope
EP 09	35	1420	Récupération	Ope
EP 10	26 ,6	1450	Gasoil	Ope
EP 11	40	1420	Jet-a1	Ope
EP 12	120	1470	Jet-a1	Ope
EP 13	120	1470	Jet-a1	Ope
EP 14	120	1470	Jet-a1	Ope
Émulseur	7 ,2	1440	Émulseur	Ope
Banc d'essai	150	1440	Jet-a1	Ope
Banc d'essai	15	1435	Jet-a1	Ope
Banc d'essai Récupération	5	2820	Jet-a1	Ope

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I. 6.11 Matériels roulants

Tableau 11 : Liste du matériel roulant du centre A23

Type	Nombre	Code	Observation
Camions avitailleurs	09	T 064	Ope
		T 066	
		T 075	
		T 087	
		T 089	
		T094	
		T 101	
		T102	
		T103	
Camion oléo-serveurs	08	T 076	Ope
		T 077	
		T 078	
		T 079	
		T 081	
		T 082	
		T 083	
		T 085	
Attelage avitailleur	01	W024	Ope
citernes avitailleurs	07	V 014	Ope
		V 017	
		V 019	
		V 028	
		V 029	Immobilisée
		V 030	Ope
		V 031	Ope
Tracteur agricole	01	Z 1313	Ope
Véhicules utilitaires	02	Y 2159	Ope
		Y 2521	Immobilisée
Véhicule léger	01	Y 2733	Ope
	02	Y2791	Ope
		Y 2896	Ope
Véhicule léger	01	Y2914	Ope
Véhicules utilitaires	04	Y3091	Ope
		Y3482	Ope
		Y3548	Ope
		Y3593	Ope
Ambulance	01	Y 3035	Ope
Camion incendie	01	H 51	Ope

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

I.7. Grand explosion ayant une relation avec les effets dominos

I.7.1. Base des données (ARIA)

La base de données ARIA (analyse recherche et information sur les accidents) exploitée par le ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire et répertorie les incidents, accidents qui ont porté, ou auraient pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publique ou à l'environnement. Ces événements résultent :

- De l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages... classés au titre de la législation relative aux installations classées
- Du transport de matières dangereuses par rail, route, voie fluviale ou maritime
- De la distribution et de l'utilisation du gaz
- Des équipements sous pression
- Des mines et stockages souterraines
- Des digues et barrages

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

- **1^{er} explosion**

Mexique-San juan ixuhatepec en 19/11/1984 : distribution de combustibles gazeux par conduites durant la phase de remplissage d'une zone de stockage de GPL (mélange 80% butane – 20% propane) composée de 2 sphères de 2 400 m³ , 4 de 1600 m³ et 48 cylindres horizontaux (5 000m³), une canalisation 8 à 24 bar se rompt .un nuage de 150 × 200 × 2 m se forme et s'allume 5 à 10 min après sur une torchère à 120 – 150 m de la fuite. Le VCE engendre 5 min après le BLEVE de 2 petites sphères.

Une boule de feu au niveau du sol (diamètre = 600 m) Se forme .dans un rayon de 300 m la zone est détruite et la population est décimée. Par effet domino, des explosions se succèdent jusqu'à 11h.des fragments de sphères sont projetés à 600 m et 12 cigares-rockets (20 t) sont lancés (1 à 1 200).au total plus de 500 morts, 7 000 blessés, 39 000 évacués et 4 000 sauveteurs sont dénombrés.

- **2^{ème} explosion**

Petit couronne en 04/08/1990 : raffinage de pétrole

Dans une raffinerie, une fuite se produit depuis au moins 1985 sur une condition souterraine corrodée transport du supercarburant sans plomb entre un réservoir et l'appontement pétrolier.

Cette fuite provoque une pollution des eaux souterraines puis l'abandon d'un captage d'AEP.

Mais les émanations gazeuses propagées par les caniveaux technique de la ville sont à l'origine de l'explosion d'un pavillon situé à 2 km, après l'ignition du mélange a le remise en chauffe-eau de l'habitation.

Des investigations permettent d'identifier 20 jours après, un trou de quelques millimètres carrés sur la canalisation corrodées.

Plus de 15 000 m³ d'hydrocarbures ont été perdu et plus de 13 000 m³ ont été pompé dans la nappe phréatique. L'exploitant dédommage les tiers lésés en rachetant le pavillon détruit, en indemnisant le distributeur d'eau et la collectivité. Le cout total des travaux dépasse 50MF.

- **3^{ème} explosion**

Berre-l'Etang en 30/051991: fabrication d'autres produits chimiques organiques de base

Une fuite se produit sur une conduite d'éthylène de 10 pouces sous 45 b à la suite d'une corrosion électrochimique entre une portion aérienne en tranchée et une enterrée protégé par fourreau. La fermeture des vannes d'isolement (2 km) prend 20 min. malgré le périmètre de protection mis en place, un véhicule d'une entreprise extérieur circulant à proximité cale enflamme le nuage en redémarrant et allume une torche de 15 m orienté vers un rack de 6m de haut supportant 10 conduites. Une seconde canalisation d'éthylène de 6 pouces se rompt et s'enflamme. Un tronçon de cette dernière retombe près de la première conduite qui explose ; le feu se communique à un entrepôt abritant 22m³ de solvants en futs et 1 000 t de caoutchouc synthétique à 20 m. la quantité d'éthylène impliquée dans l'accident est évaluée à 32 t. on déplore 4 blessés dont un brulé grave. Les pertes de production sont évaluées à 220 MF. En

Chapitre I: Mise en contexte, problématique et méthodologie

& janvier 2004 et pour défaut d'entretien de la canalisation accidentée, l'ancien directeur du site est condamné d'éthylène à 10 mois de prison avec sursis et 8 000 Euros d'amende, un agent de maîtrise salarié de la société exploitant la conduite d'éthylène à 6 mois avec sursis et 1 000 Euros d'amende, un ingénieur de cette même société à 8 mois avec sursis et 3 000 Euros d'amende ; 5 autres personnes également poursuivies sont relaxées.

- **4^{ème} explosion**

Grenoble en 7/12/1999 : captage, traitement d'eau

A la suite de la rupture d'une grosse canalisation d'eau (diamètre 500 mm), 20 000 m³ d'eau inondent un quartier (200 × 400m) de la ville. La fuite est difficile à localiser du fait de l'important débit et n'est stoppée qu'au bout de 2h30. L'inondation provoque des courts-circuits et plusieurs départs d'incendie dans des magasins, vite maîtrisés par les pompiers. Les sociétés en charge du gaz et de l'électricité sont également sur les lieux. Une certaine clientèle d'un restaurant est évacuée. L'assèchement du quartier ne sera terminé que le lendemain vers 21h.

I.8.Problématique

Après notre visite au centre aviation de Dar El-Beida nous avons remarqué que le centre est concerné par l'effet dominos.

L'effet dominos est le responsable de plusieurs accidents catastrophiques dans les industries chimiques et les zones de stockage.

Les causes principales des accidents à effets dominos c'est les défaillances mécaniques, les événements externes, et les erreurs humaines.

Notre travail a comme objectif de définir l'effet dominos et les outils et méthode qui a une relation avec l'effet dominos ; les principales questions à poser sont les suivantes.

- Quel sont la définition de l'effet dominos ?
- Quels sont les exigences réglementaires relatives aux effets dominos ?
- Quels sont les différents méthodes qui en lien avec les effets dominos ?

I.9.Méthodologie

Après un recherche nous avons trouvons quelques informations sur les effets dominos, cela dans le but de résoudre notre problématique.

Nous nous sommes basée dans un premier temps sur la définition de l'effet dominos. Nous avons par la suite donne les exigences règlementaires relatives aux effets dominos.

Nous avons aussi présenté quelques méthodes d'analyse et identifier les effets dominos (Hazwin, Aramis, etc.).

Ce chapitre nous a permis la problématique posée dans son contexte. Une méthodologie est proposée pour l'analyse l'identification les effets dominos.

Chapitre II :
Les effets dominos, définition
et concepts

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

L'objectif de ce chapitre est de définir les effets dominos, Nous essayerons donc dans un premier temps de fixer le vocabulaire lié au risque, puis nous nous focaliserons dans un second temps sur la définition de l'effet dominos, pour terminer nous nous présentons la législation française des effets dominos.

II.1. Nation de base

II.1.1. Définition

Étant donné que le vocabulaire de management de risques souffre de certaines divergences, le recours au Guide ISO CEI 73 (Management du risque –Vocabulaire) et le glossaire de la circulaire du 10 mai 2010 est indispensable pour éviter toute ambiguïté. Par conséquent, certaines définitions sont indiquées dans le glossaire, les notions les plus importantes sont présentées dans les paragraphes qui suivent.

-Danger : cette notion définit une propriété intrinsèque à une substance (butane, chlore,...), à un système technique (mise sous pression d'un gaz,...), à une disposition (élévation d'une charge),..., à un organisme (microbes), etc., de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable » [sont ainsi rattachées à la notion de « danger » les notions d'inflammabilité ou d'explosivité, de toxicité, de caractère infectieux, etc. inhérentes à un produit et celle d'énergie disponible (pneumatique ou potentielle) qui caractérisent le danger]. (Circulaire du 10 mai 2010).

-Aléa : probabilité qu'un phénomène accidentel produise en un point donné des effets d'une intensité donnée, au cours d'une période déterminée. L'aléa est donc l'expression, pour un type d'accident donné, du couple (Probabilité d'occurrence, Intensité des effets). Il est spatialisé et peut être cartographié.

Cette notion est relativement récente dans le domaine des risques technologiques. En effet, elle est apparue dans les textes réglementaires qui ont suivi l'apparition de la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

-Risque : possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux. Dans le contexte propre au risque technologique, le risque est, pour un accident donné, la combinaison de la probabilité d'occurrence d'un événement redouté/final considéré (incident ou accident) et la gravité de ses conséquences sur des éléments vulnérables (Circulaire du 10 mai 2010).

Les composantes principales du risque sont la probabilité, l'intensité et la vulnérabilité, leur regroupement (combinaison) permet de caractériser le risque de deux façons différentes mais équivalentes. Effectivement, lorsque le regroupement des composantes est effectué, on peut dire que le risque est la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité ou de la probabilité et de la gravité des dommages, et cela revient au même.

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

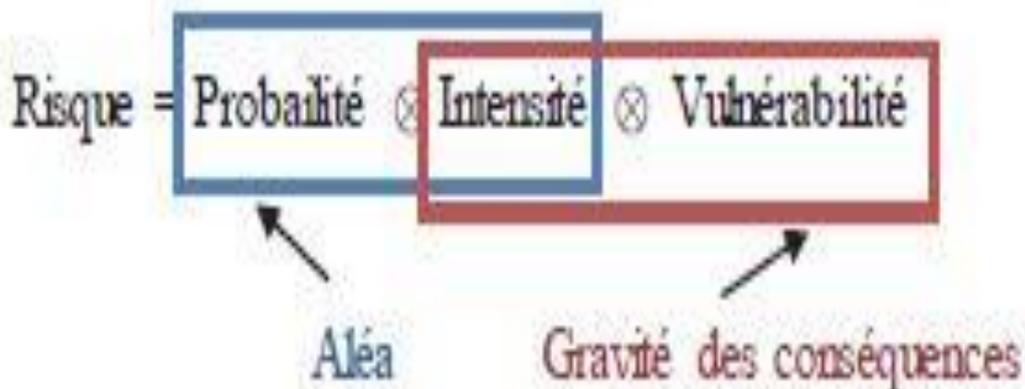


Figure 07 : Composantes du risque (adaptée de Debray et al. 2006)

La notion d'aléa est utilisée principalement dans le cadre de la maîtrise de l'urbanisation ou de l'aménagement autour des établissements à risque, et des plans de prévention des risques technologiques. Il est indispensable de connaître l'aléa afin de supprimer ou tout au moins diminuer la vulnérabilité.

-Réduction du risque : actions entreprises en vue de diminuer la probabilité, les conséquences négatives (ou dommages), associés à un risque, ou les deux (ISO/CEI Guide 73). Cela peut être réalisé au travers de chacune des trois composantes du risque, la probabilité, l'intensité et la vulnérabilité.

-Vulnérabilité (ou sensibilité) : facteur de proportionnalité entre les effets auxquels est exposé un élément vulnérable (ou cible) et les dommages qu'il subit.

-Élément vulnérable (cible) : personnes, biens ou composantes de l'environnement susceptibles, du fait de l'exposition au danger, de subir des dommages. Un élément vulnérable est aussi appelé « cible ». Dans le cadre de ce mémoire c'est le terme « cible » qui est employé.

-Probabilité d'occurrence : au sens de l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires. Attention aux confusions possibles :

- assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des cibles. L'assimilation sous-entend que les cibles sont effectivement exposées, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri.

- probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique) (circulaire du 10 mai 2010).

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

Probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux (Circulaire n° DPPR/SEI2/MM-05- 0316 du 7 octobre 2005) : cette probabilité est obtenue par agrégation des probabilités des scénarios conduisant à un même phénomène, ce qui correspond à la combinaison des probabilités de ces scénarios selon les règles logiques (ET/OU). Elle correspond à la probabilité d'avoir des effets d'une intensité donnée (et non des conséquences).

-Sécurité-Sûreté : dans le cadre des installations classées, on parle de sécurité des installations vis-à-vis des accidents et de sûreté vis-à-vis des attaques externes volontaires (type malveillance ou attentat) des intrusions malveillantes et de la malveillance interne.

Attention, en anglais, les termes utilisés sont de faux amis, inversés, puisque «safety» signifie sécurité et «security» signifie sûreté (circulaire du 10 mai 2010).

-Mesure de maîtrise des risques (ou barrière de sécurité) : ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On distingue :

- les mesures de prévention qui visent à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux ;
- les mesures de limitation qui visent à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux;
- les mesures de protection qui visent à limiter les conséquences sur les cibles potentielles par diminution de la vulnérabilité (circulaire du 10 mai 2010).

II.2. Effets dominos

II.2.1. Définitions

Le terme « Effet Domino », est utilisé dans son sens le plus simple dans plusieurs domaines, pour décrire un événement qui en cause un autre. L'origine du terme provient du jeu de renversement des dominos. Basée sur cette analogie, le terme effet domino décrit un phénomène, habituellement indésirable, qui est à l'origine de l'occurrence d'autres événements indésirables. Il est aussi communément employé par les politologues et les économistes, pour décrire l'impact d'une action qui a la propension de causer ou qui cause une crise après une autre (Abdolhamidzadeh et al. 2011). Plusieurs définitions sont disponibles dans la littérature scientifique pour décrire l'effet domino dans le contexte de l'appréciation des risques industriels. Aucune d'entre elles n'est actuellement unanimement retenue par les scientifiques pour décrire ce phénomène malgré l'intérêt d'une formalisation non polysémique. Toutefois la plupart d'entre elles se rejoignent sur le principe de base, qui est la propagation d'un accident et l'aggravation de ses conséquences.

Le tableau 12 récapitule quelques définitions, parmi les plus courantes dans la littérature, notamment en ce qui concerne l'industrie chimique. Si l'on retient la définition donnée par le Center for Chemical Process Safety (CCPS 2000) et celle de Kourniotis et al. 2000 pour une analyse approfondie, on s'aperçoit que pour Kourniotis et al. L'aggravation des conséquences causée par l'effet domino ne concerne que l'extérieur du site. Il faut remarquer que cette définition est restrictive, et que cette restriction, apparaît parfois au sein de l'union européenne, elle est due à l'article 8 de la directive européenne 96/82/CE (cette problématique est traitée au

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

chapitre suivant, Voir section 2.3). Elle entraîne une compréhension erronée du phénomène en le limitant aux accidents qui se propagent en dehors de l'établissement où l'accident initiateur a eu lieu. Tandis que le CCPS, sans évoquer les conséquences de l'effet domino, le définit comme étant une propagation d'accidents d'une unité à une autre.

On peut aussi remarquer que certaines définitions (HSE, 1984 ; Bagster et Pitblado, 1991 ; RIVM, 2003) se limitent aux accidents majeurs et cela est restrictif, puisqu'un accident initiateur non majeur peut engendrer un accident secondaire sur une installation ou un établissement voisin.

D'autres définitions proposées au sein de l'union européenne pour pallier aux limites de la définition donnée par les directives Seveso, sont rapportées au chapitre suivant. Ainsi qu'une discussion concernant les limites de cette dernière (section 2.3).

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

Tableau 12 : Définitions de l'Effet Domino proposées dans la littérature

Auteur(s)	Définitions
Health and Safety Executive (HSE, 1984)	Effets des accidents majeurs sur d'autres unités sur le site ou sur des sites voisins.
Bagster et Pitblado (1991)	Perte de confinement sur un équipement d'une installation, engendrée par un accident majeur sur une installation voisine.
Lees (1996)	Événement sur une unité qui cause un autre événement sur une autre unité.
Khan et al. (1998)	Chaîne d'accidents; une situation, où une explosion, un projectile, un incendie ou encore un nuage toxique, généré par un accident dans une unité, cause d'autres accidents plus sévères dans d'autres unités.
Kourniotis et al. (2000)	Situation, où un accident chimique devient la cause d'un ou de plusieurs autres accidents, ce qui mène à l'aggravation des conséquences en dehors du site.
Center for Chemical Process Safety (CCPS, 2000)	Accident qui survient dans une unité et qui affecte les unités voisines par effets thermiques, surpression, projectiles.
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM, 2003)	Accident majeur dans un établissement appelé « établissement cible » résultant d'un accident majeur dans un établissement appelé « établissement source ». L'effet domino est l'événement subséquent qui se produit comme conséquence d'un accident domino.
Cozzani et al. (2006a)	Séquences accidentelles ayant au moins trois caractéristiques communes : <ul style="list-style-type: none"> - un événement primaire initiateur ; - l'événement primaire se propage à cause d'un vecteur d'escalade (flux physique), qui entraîne des préjudices pour une ou plusieurs cibles secondaires ; - un ou plusieurs scénarios secondaires d'accidents, impliquant des unités similaires ou différentes se déroulent éventuellement sur le même schéma.

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

Toutes ces définitions sont correctes, car elles reposent sur des bases scientifiques et techniques, mais incomplètes. En effet, la plupart des définitions indiquées au tableau 1.2 sont complémentaires et soulignent une des caractéristiques de l'effet domino. Une définition complète, qui englobe à la fois l'aspect propagation et aggravation des conséquences, choisie par la communauté scientifique afin d'uniformiser l'effet domino, est d'une importance cruciale pour l'étude de ce phénomène.

La complexité de ce phénomène affecte fortement sa définition et sa caractérisation, d'autant plus que l'analyse des accidents passés, montre que l'effet domino peut surgir sous plusieurs formes différentes.

En effet, on s'aperçoit que la propagation de l'accident peut être simple (uniquement d'une installation à une autre), en chaîne (se développe au-delà de la deuxième unité), en parallèle (plusieurs installations sont touchées par un même accident). Il peut même y avoir interaction des événements (effet de synergie qui peut engendrer l'endommagement d'une installation suite à deux effets cumulés, émanant de deux accidents ayant lieu sur deux installations différentes).

De même pour l'aggravation des conséquences, selon la nature des séquences accidentelles, on distingue deux types de processus : (i) la séquence peut être initiée par un accident mineur (feu de nappe/jet enflammé mineur) qui s'aggraverait au fur et à mesure de sa propagation ; (ii)

L'accident initiateur peut être grave au départ (explosion/feu de nappe), ce qui mènera à une propagation dans l'espace et causera d'autres accidents graves.

Reniers (2010) a également fait le constat de l'absence d'une définition largement acceptée et a proposé de catégoriser l'effet domino, en quatre catégories, chacune comptant deux sous-catégories, comme indiqué dans le tableau 13.

Un concept, nommé « effet domino local », a été proposé par Abdolhamidzadeh et al. (2011), pour désigner plusieurs accidents distincts, séparés par un intervalle de temps, d'une minute ou plus, au sein d'une même unité.

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

Tableau 13: Catégorisations de l'effet domino (adaptées de Reniers, 2010)

Catégorie	Sous-catégorie	Définitions
1	Interne	Début et fin de l'escalade caractérisant l'effet domino, au sein d'un même établissement.
	Externe	L'effet domino se propage au-delà des frontières de l'établissement où a eu lieu l'événement initiateur.
2	Direct	L'événement domino apparaît comme conséquence directe de l'événement domino précédent.
	Indirect	L'événement domino se produit comme une conséquence indirecte d'un événement domino antérieur, n'étant pas le précédent.
3	Temporel	L'événement domino se produit au sein de la même zone que l'événement précédent, mais avec un retard (propagation dans le temps).
	Spatiale	L'événement domino se produit en dehors de la zone où l'événement précédent a eu lieu (propagation dans l'espace).
4	En série	L'événement domino survient comme une conséquence d'une chaîne d'accident unique causée par l'événement précède.
	Parallèle	L'événement domino apparaît comme l'une des nombreuses conséquences qui découlent simultanément des chaînes d'accidents causés par l'événement précédent

Une définition a été récemment proposée par Reniers et Cozzani (2013), elle est présentée au chapitre suivant (section 2.3) vu qu'elle fait partie des définitions proposées au sein de l'Union Européenne pour remédier aux limites de la définition donnée par les directives Seveso. Cette dernière est actuellement la plus compétente, car elle englobe tous les aspects spécifiques trouvés dans la plupart des définitions, y compris les quatre catégories citées ci-dessus (Reniers, 2010) et le concept d'effet domino local (Abdolhamidzadeh et al. 2011).

II.1.2.2 Législation française : aperçu historique

En France, les exigences réglementaires relatives aux effets dominos sont bien antérieures à la directive Seveso II (directive 96/82/CE). La nécessité d'identifier et de prévenir la propagation des accidents par effets dominos remonte à 1976 avec la loi n° 76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées. En effet, il a été précisé dans son décret d'application (décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977) que les exploitants des installations classées doivent fournir : « Une étude de dangers qui, d'une part, expose les dangers que peut présenter l'installation en

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

cas d'accident, en présentant une description des accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, et en décrivant la nature et l'extension des conséquences que peut avoir un accident éventuel, d'autre part, justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident, déterminées sous la responsabilité du demandeur » (Article 3, paragraphe 5° du décret n° 77-1133 du 21 septembre 1977).

Après l'entrée en vigueur en juin 2001 de la directive 96/82/CE du 9 décembre 1996 (Seveso II) qui a clairement insisté sur la nécessité d'analyser les interactions entre les établissements voisins, celle-ci a été transposée en droit français via notamment l'arrêté du 10 mai 2000. Ce dernier précise que les exploitants sont tenus d'informer les exploitants des installations classées voisines des conséquences des accidents majeurs qui peuvent les impacter :

« l'exploitant tient les exploitants d'installations classées voisines informés des risques d'accidents majeurs identifiés dans l'étude des dangers définie à l'article 3-5 du décret du 21 septembre 1977 susvisé, dès lors que les conséquences de ces accidents majeurs sont susceptibles d'affecter les dites installations. Il transmet une copie de cette information au préfet. » (Article 5 de l'arrêté du 10 mai 2000).

La circulaire du 10 mai 2000 a aussi abordé le problème des effets dominos en précisant que les interactions entre les établissements proches et les interactions entre installations d'un même établissement doivent être étudiées. Toutefois, comme il s'agit de la transcription de la directive Seveso II, le terme « effets dominos » a été réservé aux interactions entre établissements voisins : « Les interactions entre établissements proches (effets "dominos"), les interactions entre installations d'un même établissement : les interactions entre les installations d'un même établissement, action d'un premier phénomène (émission de débris par explosion, par exemple) qui pourrait en déclencher un second (fuite d'un réservoir perforé par un équipement, par exemple), ainsi que le caractère approprié d'une mesure de sécurité dans le cas où plusieurs phénomènes se conjuguent, doivent également faire l'objet d'un examen. Il en est de même en ce qui concerne l'examen des possibilités d'interactions entre les établissements proches (examen des effets dominos).» (Paragraphe III.2.3 de la circulaire du 10 mai 2000).

Les seuils réglementaires à partir desquels les effets dominos doivent être examinés dans le cadre des études de dangers sont précisés par la circulaire du 29 septembre 2005. Ces derniers ainsi que les seuils utilisés dans d'autres États membres de l'Union Européenne sont expliqués dans le chapitre suivant.

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, définit l'effet domino comme suit : « Effets dominos : action d'un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement qui pourrait déclencher un autre phénomène sur une installation ou un établissement voisin, conduisant à une aggravation générale des effets du premier phénomène. [Effet domino = " accident " initié par un " accident "]. Ex. : explosion d'une bouteille de gaz suite à un incendie d'entrepôt de papier ».

Chapitre II : Les effets dominos, définition et concepts

Actuellement, la transposition de la directive 2012/18/UE du parlement européen et du conseil du 4 juillet 2012 (directive Seveso III) est portée par la loi DDADUE (Dispositions D'Adaptation de la législation au Droit de l'Union Européenne dans le domaine du développement durable) du 16 juillet 2013 au niveau des articles 10 et 11 [articles L515-32 à L515-42 du code de l'environnement (partie L comme législative)]. Le décret n° 2014-284 du 3 mars 2014 transpose en droit Français les dispositions de niveau réglementaire de la directive SEVESO III (modifiant le titre I du livre V du code de l'environnement).

L'arrêté du 26 mai 2014 complète la transposition de la directive Seveso III et abroge l'arrêté du 10 mai 2000. Il précise les modalités d'application des dispositions du Code de l'environnement relatives à la prévention des accidents majeurs et éclaircit celles concernant le contenu des études de dangers. Il indique que l'exploitant qui n'a pas remis une étude de dangers et qui ne la remettrait pas simultanément à la notification de recensement, doit préciser : « ... par ailleurs par écrit au préfet la description sommaire de l'environnement immédiat du site, en particulier les éléments susceptibles d'être à l'origine ou d'aggraver un accident majeur par effet domino, ainsi que les informations disponibles sur les sites industriels et établissements voisins, zones et aménagements pouvant être impliqués dans de tels effets domino. » (Article 3, Arrêté du 26 mai 2014 relatif à la prévention des accidents majeurs dans les installations classées mentionnées à la section 9, chapitre V, titre Ier du livre V du code de l'environnement).

Chapitre III :
Les méthodes d'analyse de
risque en liens avec les effets
dominos

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

III.1 Méthodes et outils d'évaluation des effets dominos

Pour résoudre le problème posé par l'évaluation et / ou l'analyse des effets domino dans les sites industriels, plusieurs méthodes et outils logiciels ont été développés sur le marché. Généralement, chaque méthode traite un cas spécifique d'effet domino.

III.2 Les méthodologies

III.2.1 Méthodologie d'analyse d'effet domino (DEA)

La procédure d'analyse d'effet domino (DEA) proposée par [07], cette méthode comprend deux niveaux d'étude. Le niveau « I » est une analyse détaillée afin d'identifier les unités qui peuvent être considérées comme des cibles d'effets domino. Pour cela les valeurs seuils des différents effets physiques sur les équipements (cibles) sont utilisées (surpression de 0,7 atm, charge thermique de 37 kW/m², et une vitesse de fragment supérieure à 75 m / s à condition qu'il rentre en collision avec une cible). Si les valeurs estimées de ces paramètres sont plus élevées que les valeurs seuils, une deuxième étude (niveau II) est nécessaire. A ce niveau « II », une analyse détaillée doit être faite pour vérifier l'existence d'effet domino, en utilisant les dommages potentiels de l'événement primaire et les caractéristiques de l'unité secondaire. Les caractéristiques à prendre en considération sont :

- la forme et le matériau de construction de l'unité cible
- le procédé industriel et les conditions opératoires
- propriétés et quantités des substances chimiques utilisées
- la localisation de l'unité cible en termes de distance et le degré de liaison
- la météorologie et surtout la direction dominante du vent

III.2.2 Méthodologie MCAS

La méthodologie MCAS (Maximum-Credible Accident Scenarios), développée par [08] permet d'évaluer tous les scénarios d'accidents crédibles dans une unité industrielle. La première étape de cette méthodologie est de développer tous les scénarios d'accident possibles. Dans la deuxième étape, les rayons de dommage sont calculés pour chaque scénario, pour cela on peut utiliser les indices proposés par les auteurs [09,10]; indice de dommage d'explosion et d'incendie (FEDI, Fire and Explosion Damage Index) pour les substances inflammables, et indice de dommage toxique (TDI, Toxic Damage Index) pour les substances toxiques. Dans l'étape suivante, la probabilité de chaque scénario est estimée, cela peut être réalisé en utilisant les données industrielles spécifiques (taux de défaillance des différents composants (équipements) utilisés dans l'unité concernée ou les données disponibles dans la littérature (fréquence d'occurrence de même événement dans des conditions similaires). Si l'accident est jugé crédible, une estimation plus précise de sa probabilité d'occurrence doit être faite dans les étapes qui suivent.

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

III.2.3 Méthodologie SCAP

La méthodologie « SCAP » (Safety, Credible Accidents, and PFTA (Probabilistic Fault Tree Analysis)) est le fruit d'une combinaison de deux approches [11,12]; la méthode MCAA (Maximum Credible Accident Analysis) et la méthode PFTA dans le but de développer une nouvelle méthodologie pour une approche plus réaliste et plus fiable pour l'évaluation efficace des mesures sécurité et de contrôle des risques. Les caractéristiques de chacune des étapes de l'algorithme SCAP sont :

- l'identification des dangers en utilisant les indices; FEDI (Fire and Explosion Damage Index) et TDI (Toxic Damage Index),
- l'évaluation quantitative des risques: MCAA et MAXCRED, et - l'analyse probabiliste par arbre de défaillance et l'outil automatisé PROFAT.

III.2.4 Méthodologie ORA

Pour l'analyse des risques dans les industries pétrochimiques, les auteurs [13] ont proposé une méthode d'analyse optimale de risques ORA « Optimal Risk Analysis », elle comporte 4 étapes principales :

- identification et sélection des dangers
- évaluation des risques (qualitative et probabiliste)
- quantification des risques / l'analyse des conséquences
- estimation des risques

Pour maîtriser les risques dans les unités industrielles cette procédure (ORA) exige :

- l'utilisation des réservoirs de petite capacité dans le stockage des substances chimiques
- l'inspection régulière et approfondie des équipements, et des installations
- un espace suffisant devant être maintenu entre les réservoirs de stockage (distance de sécurité), et installés dans les locaux de stockage et les zones sensibles.

III.2.5 Méthodologie ARAMIS

La modélisation des dommages causés par les explosions et les incendies aux équipements industriels en raison des différents vecteurs d'intensification (radiation thermique, surpression et la projection des fragments) et les modèles spécifiques de vulnérabilité issus de plusieurs catégories d'équipements de procédés ont été utilisés dans la méthodologie ARAMIS [14, 15] pour l'analyse d'effets dominos.

ARAMIS permet l'identification des risques d'accidents majeurs. Elle est fondée principalement sur l'utilisation de diagramme «nœud papillon» composé d'un arbre de défaillance et d'un arbre d'événement. L'apport majeur d'ARAMIS est de définir en précisant la structure de nœud papillon: la liste des équipements, les événements potentiels critiques et leurs conséquences. Les événements critiques ont été définis soit par une perte de confinement pour les fluides ou une perte d'intégrité physique pour les matières solides et la description du site industriel, y compris les substances chimiques utilisées, produites ou stockées.

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

III.2.6 Modèle de propagation de la panique

L'auteur dans [16] a étudié le module de la panique des automobilistes lors d'une inondation comme « effet de dominos ».

Pour modéliser la diffusion de la panique à l'intérieur d'une population, il a inspiré son modèle de celui de W. Kermack et de A. Mc Kendrick. Ce modèle créé en 1927 permet d'étudier la propagation d'une maladie infectieuse à l'intérieur d'une population. Et il est possible d'établir une série de points de rapprochement entre les deux phénomènes d'épidémie et de panique :

- chacun est susceptible de contracter et propager la maladie (la panique)
- il y a une nécessité de contact entre un malade (émetteur de la panique) et un individu sain (récepteur)
- chaque individu a des chances de contact identiques.

Le modèle de base de W. Kermack et de A. Mc Kendrick se compose de deux stocks, la population susceptible d'être infectée (S_p) et la population infectée (I), variant l'un l'autre selon un taux de contact. Le flux de contagion représente la population qui est atteinte par la maladie. Cette population quitte le stock S_p pour alimenter le stock I . L'épidémie se développe par effet de contact. Il en va de même de la panique. D'où ce choix initial.

III.2.7 Méthode d'évaluation quantitative des risques sismiques

La méthodologie analytique pour l'évaluation quantitative des risques industriels dus aux accidents générés par les événements sismiques a été développée par [17]. Le point de départ de la procédure est l'utilisation des données disponibles pour l'évaluation de la fréquence et la magnitude des événements sismiques. Les modèles de probabilité de défaillance des équipements disponibles (courbes de vulnérabilité ou de fragilité) ont été aussi utilisés pour évaluer la probabilité de dommages causés aux équipements.

Après avoir identifié les événements sismiques crédibles et les équipements critiques, qui sont susceptibles de causer des accidents majeurs comme conséquences causées par le tremblement de terre, les scénarios de références doivent être associés à chaque équipement critique. En se basant sur les scénarios de référence identifiés pour chaque équipement, une procédure spécifique doit être appliquée pour l'identification de tous les scénarios possibles. Afin de tenir compte du fait que plus d'un scénario de référence peut avoir lieu simultanément en raison des dommages de plus d'une unité, l'évaluation des conséquences des scénarios résultants doit être effectuée en combinant les conséquences de chacun des événements accidentels identifiés. Enfin, une procédure de recombinaison classique des risques peut être appliquée pour calculer la contribution des scénarios accidentels induits par les événements sismiques sur le risque individuel et social.

L'objectif de cette procédure est de :

- Identifier les scénarios d'accident (événement secondaire) qui peuvent suivre l'événement sismique
- Évaluer la crédibilité des événements accidentels

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

- Évaluer les conséquences des scénarios possibles

La procédure a été implémentée sur le logiciel GIS (Geographic Information System), pour faciliter l'évaluation des séquences d'événements qui sont susceptibles d'être générées par les dégâts d'un événement sismique dans une installation industrielle. Le logiciel permet également le calcul et la représentation des courbes de risque individuel et social dû aux accidents industriels déclenchés par un événement sismique.

III.2.8 Méthode d'évaluation quantitative des risques générés par la foudre

Cette procédure est développée par [18], les auteurs ont proposé une approche sous forme d'un organigramme pour l'évaluation quantitative des scénarios d'accidents générés par la foudre sur les sites industriels. La foudre peut causer des dommages sur les sites industriels causés par la libération de grandes quantités de composés dangereux. Le risque dû à la foudre semble être en augmentation à cause de changement climatique causant une augmentation de la fréquence des orages violents.

Les principales étapes de la méthodologie est :

- la caractérisation des événements externes (fréquence et gravité)
- l'identification des équipements cibles, et les scénarios de référence
- l'estimation de la probabilité des dommages, et évaluation des conséquences pour les événements
- évaluation de la fréquence / probabilité pour chaque combinaison d'événements.

III.2.9 Méthodologie SIGALEA

L'INERIS [19,20] a développé un outil de cartographie des risques, SIGALEA (Outil d'analyse cartographique des risques), qui permet à l'inspection des Installations Classées (DRIRE et STIIC) de cartographier les aléas technologiques dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT). Cet outil permet :

- de réaliser la cartographie des zones d'effets des phénomènes dangereux, que doit comporter réglementairement l'Étude De Dangers (EDD)
- d'évaluer l'impact d'une installation ou d'un établissement sur la cartographie des aléas d'un site PPRT.

SIGALEA est une application SIG « Système d'Information Géographique » qui permet de géo-localiser des phénomènes dangereux, d'analyser et de cartographier leurs zones d'effets et les aléas technologiques. Ce logiciel est mis à la disposition de l'administration depuis 2005. La version 2 (novembre 2006) de SIGALEA intègre le retour d'expérience des premiers utilisateurs.

Le logiciel SIGALEA contient deux modules principaux :

- Module de géolocalisation des phénomènes dangereux: permet de localiser géographiquement les phénomènes dangereux sur une base de données en associant pour chacun d'eux le un type d'effet (thermique, toxique ou surpression), les distances d'effets selon les seuils réglementaires associés, un niveau de probabilité, et la cinétique.

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

- Module d'analyses spatiales et de cartographie, ce deuxième module permet d'élaborer grâce à des analyses spatiales, les cartographies des phénomènes dangereux avec les zones d'effets et les aléas technologiques intégrant les dimensions probabilistes dont les résultats sont ; la cartographie des effets des phénomènes dangereux, et la cartographie des aléas technologiques.

III.2.10 Méthodologie HAZWIM

La combinaison de l'analyse HAZOP, What-If et Risque Matrix dans le cadre Hazwim [21,22] permet de constituer un outil de méta-technique pour optimiser l'organisation des performances d'analyse des dangers dans les sites industriels. Ce dernier vise à concevoir un système de prévention des accidents dominos externe (External Domino Accident Prevention, EDAP)

L'objectif de ce dernier (cadre de prévention des accidents domino externes) est de faciliter la structuration de la coopération pour prévenir les effets dominos hors site entre les installations industrielles et / ou de stockage de substances dangereuses. Le cadre devrait inclure une solide analyse des risques externes d'effet domino constitué de deux étapes fournissant des informations clés sur la gestion de risque domino externes:

- Identification des dangers externes
- Évaluation des risques dominos externes

III.2.11 Algorithme FREEDOM (FREquency Estimation of Dominos accidents)

FREEDOM est une nouvelle méthodologie pour évaluation de la fréquence d'effet domino développé par [06]. Pour simuler le comportement réel des systèmes multi-unités qui peuvent subir des effets dominos, ce dernier, repose sur plusieurs expériences hypothétiques. Dans ce contexte, le système est défini comme la combinaison des équipements présents dans une unité d'un site industriel qui peuvent influencer sur la défaillance les uns et des autres.

L'algorithme examine la défaillance ou non de chaque équipement, cet algorithme se compose de deux boucles interne et externe, la boucle interne représente la durée de vie moyenne des équipements, qui est sélectionnée en se basant sur les taux de défaillance des équipements. L'ordre de la durée de vie de simulation pour l'équipement est choisi en fonction du temps moyen entre les défaillances MTBF (Inverse du taux de défaillance). La boucle externe qui représente le nombre d'itérations (expériences) qui sont effectuées.

III.2.12 Méthode d'évaluation l'effet des projectiles

Les auteurs [23-24] ont étudié l'effet de la portée des projectiles engendrés après l'explosion d'un réservoir cylindrique. Les caractéristiques des projectiles sont considérées comme aléatoires. Ils ont proposé un modèle qui permet de décrire le mouvement de projectile en considérant sa forme et sa taille. Ceci permet d'évaluer la probabilité d'impact entre un projectile et une cible. Ils ont adopté un modèle mécanique afin d'estimer la profondeur de pénétration de la cible impactée, puis parvenir à l'estimation du risque global. Cette méthodologie permet de dégager une vue globale de l'effet domino. Elle se compose de trois étapes principales :

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

- Modélisation probabiliste des termes source: probabilité d'occurrence de la première explosion et donc le nombre, la masse, la vitesse, les angles de départ, la forme géométrique, les dimensions et les propriétés des matériaux de construction sont décrits avec des distributions probabilistes.
- Modélisation probabiliste de la cible (d'abord des cibles touchées): nombre de projectiles (nombre de projectiles qui affectent la cible), vitesse, les angles, l'énergie au moment de l'impact, les matériaux de construction, les dimensions des cibles touchées et les profondeurs de pénétration des projectiles dans les cibles sont aussi décrits avec des distributions probabilistes.
- Évaluation des risques de deuxième scénario d'explosion qui peut avoir lieu dans les cibles affectées.

Les auteurs ont démontré que i) la réduction d'énergie cinétique pendant le mouvement dépend à la fois de la distance entre la source des fragments et la cible, et la forme de fragment, ii) la probabilité d'impact dépend à la fois de la distance entre la source des fragments et la cible, et la taille des fragments, iii) le type de fragment qui peut impacter et / ou causer la défaillance de la cible dépend de l'angle entre les axes de la source d'explosion et la cible, mais elle ne dépend pas de la distance entre la source et la cible.

III.3 Les outils automatisés et logiciels

Certains outils automatisés ont été développés pour l'analyse des effets dominos et l'évaluation des risques d'accidents dans les industries de traitement chimique et les complexes industriels.

Pour l'évaluation rapide des risques (RRA, Rapid Risk Assessment) dans les industries de transformation chimique les auteurs [25] ont développé un logiciel MAXCRED (MAXimum CREDdible accident analysis). MAXCRED est un logiciel développé par (Risk Assessment Division of Centre for Pollution Control and Bio-Waste Energy, 1994). Ce dernier permet la simulation des accidents et l'estimation de leurs dommages potentiels. Il a été développé pour effectuer une analyse quantitative des risques. Cet outil génère différents scénarios d'accident crédibles et quantifie les dommages qu'ils peuvent causer. Cette information peut alors être utilisée dans le développement des stratégies pour la prévention des accidents et d'atténuation leurs effets d'impacts.

Le logiciel comprend quatre modules principaux :

- Module de génération de scénarios : Il permet le développement de scénarios d'accidents en fonction des propriétés de produits chimiques, les conditions de fonctionnement et les façons probables des dysfonctionnements qui pourraient provoquer des rejets accidentels,
- Module d'analyse des conséquences : Il utilise les scénarios d'accidents développés précédemment (premier module) et des modèles avancés de la thermodynamique, transfert de chaleur et la dynamique des fluides pour prévoir la nature des accidents et leurs potentiels de causer des dommages. Ce module permet également l'estimation des rayons de dommages et les probabilités de degré de dommages,

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

- Le module « fichier » : Permet à l'utilisateur de gérer facilement les informations entrée / sortie et les graphiques, et 4) Le module graphique : Il génère des scénarios visuels des accidents.

Les mêmes auteurs [26] ont proposé une nouvelle version MAXCRED-II (version améliorée du logiciel MAXCRED). Le logiciel est constitué de quatre modules principaux : les données, génération des scénarios, l'analyse des conséquences et le traitement des dossiers. L'option de données gère les informations générales relatives aux propriétés des différentes substances chimiques, les opérations et leur environnement nécessaire à l'exécution des différents modèles.

Comme ce dernier ne prend pas en considération les effets dominos, ils ont (Khan et Abbasi, 1998) [27,28] développé un outil automatisé « DOMIno eFFECT », qui succède MAXCRED. Le logiciel DOMIFFECT est codé en C++. Il se compose de six modules principaux : module des données d'entrée, scénario d'accident, module d'analyse, module de domino, graphiques et l'interface utilisateur. Chaque module est constitué de plusieurs sous-modules et des fonctions. Cet outil permet d'estimer :

- les risques d'incendie, d'explosion, intoxication et la combinaison de ces derniers,
- la probabilité d'un deuxième accident qui peut être déclenché par un accident primaire, et
- les scénarios de deuxième accident, leurs dommages potentiels et la probabilité de causer un troisième accident.

Une dernière version du logiciel MAXCRED-III, proposé par les mêmes auteurs [29], a été développée dans le but de fournir une approche plus souple et un outil précis pour l'évaluation rapide des risques. Cet outil est plus sophistiqué, il a des capacités nettement supérieures par rapport aux versions précédentes, il prend en considération l'effet domino (cascade d'événements). MAXCRED-III a cinq modules essentiels :

- Module de génération des scénarios,
- Module d'analyse des conséquences,
- Module de domino
- Module de documentation
- Module graphique

Pour évaluer les conséquences des événements accidentels qui peuvent se produire dans des sites de stockage, un logiciel ATLANTIDE [30] a été développé. L'application d'ATLANTIDE est appropriée pour le stockage de GPL et les informations géographiques. Une méthodologie est proposée pour prendre en compte l'effet domino selon les valeurs seuil.

STARS Domino (Software Toolkit for Advanced Reliability and Safety analysis Domino) développé par [31], ce dernier se compose de quatre modules: la base de données, modèle du système, l'arbre de défaillance et l'arbre d'événements. Dans le module arbre d'événements, il existe des outils disponibles pour créer un arbre d'événements et exécuter des modèles de calcul

Chapitre III : Les méthodes d'analyse de risque en liens avec les effets dominos

externes, ce dernier, est utilisé pour construire les scénarios accidentels et de simuler les événements phénoménologique.

Le logiciel MiniFFECT (MINImization of domino eFFECT) est un développé par [32], qui permet de déterminer la position des unités ou / et installations chimiques et la position optimale afin de minimiser le l'effet domino dans les installations industrielles en utilisant des approches de programmation non linéaire. Le logiciel MiniFFECT montre la position de chaque unité en coordonnées cartésiennes. Lorsque les unités explosives sont placées dans la première étape, les n unités explosives peuvent être répartir de telle manière à minimiser les effets dominos en tenant compte de taille arbitraire du site. Cette méthode prend en compte trois principaux facteurs d'effet domino: thermique, surpression effet des missiles.

Également un logiciel (GIS, geographical information system) a été développé par (Valerio Cozzani et al, 2006) pour l'évaluation quantitative d'effet domino en se basant sur les valeurs seuils disponibles dans la littérature[33], le modèle Probit et les catégories des équipements. Cette procédure est basée sur une méthodologie systémique pour l'identification des scénarios dominos, l'évaluation des conséquences et les fréquences probables des événements d'intensification. Cette méthodologie permet :

- une analyse quantitative des scénarios dominos
- l'évaluation du risque individuel et social
- l'identification des cibles dominos possibles par le calcul des effets physiques ayant une influence sur les équipements de site industriel et la comparaison avec des valeurs seuils.

Pour déterminer par ordre de priorité les effets dominos dans une zone industrielle, sur un seul ou bien plusieurs niveaux dans le site, les auteurs [34] ont proposé un outil informatique automatisé DomPrevPlanning, qui se base sur trois documents principaux : Instrument Domino Effects (IDE), the Manual for failure frequency figures et Guidelines for quantitative risk assessment. Cette stratégie permet :

- l'analyse des risques dominos
- la comparaison des installations d'une zone industrielle
- la classification des d'installations chimiques qui sont susceptibles de provoquer les effets d'intensification cette classification peut être alors utilisée pour prendre des décisions dans les zones complexes d'effets dominos et la hiérarchisation des risques.

Conclusion

Conclusion

Dans ce travail, nous avons identifié les principales méthodes existantes et les outils logiciels utilisés pour l'étude et l'analyse des effets dominos (chaînes en cascade). La revue de la littérature montre, qu'il existe quatre vecteurs par lesquels un effet domino peut se propager d'une unité (ou d'un site) à un autre. Ces vecteurs sont l'incendie, l'explosion, le rejet de matières toxiques et les autres rejets dangereux.

Malgré de nombreuses études dans la littérature, les méthodes disponibles sont en général basées sur des techniques d'analyse qui sont limitées dans leur capacité à gérer la complexité du phénomène d'effets dominos. Ces modèles sont, en général, très simplifiés et très spécifiques pour certains types de vecteurs d'intensification. En effet, à ce jour, il n'existe pas de modèle générique qui prend en compte les effets des accidents dominos en raison de leurs complexités associées à leur caractère émergent. Nous pouvons également remarquer qu'il n'existe pas de méthodologies qui prennent en compte les risques des catastrophes naturelles (risque inondation, sismique, et foudre...) qui peuvent générer une chaîne d'accidents en dépit de leur danger potentiel sur les sites industriels, les populations, les infrastructures et les écosystèmes. Les outils logiciels ne fournissent pas de réponses homogènes aux problèmes des accidents dominos dans les complexes industriels. Ainsi, les efforts supplémentaires sont nécessaires pour déterminer les causes des effets dominos et comment prévenir et atténuer leurs conséquences.

Une caractéristique importante de nombreux systèmes industriels est leurs aspects dynamiques dus aux changements qu'ils supportent en fonction du temps en raison des interactions entre leurs composants et/ou avec leur environnement. Chaque comportement donné du système est défini par les lois physiques propres et le passage par un mode dû aux conditions atmosphériques, à une intervention humaine, à l'action de l'organe de contrôle, etc.

Par conséquent, ces phénomènes peuvent être modélisés comme des systèmes dynamiques qui, en plus des vecteurs d'intensification, doivent prendre en compte, les facteurs humains et organisationnels comme des paramètres qui peuvent initier, influencer ou aggraver le phénomène, ainsi que la logistique, et l'intervention en temps réel (matérielles et humaines). Pour remédier à cela, on peut utiliser des modèles qui prennent en compte les aspects déterministes et probabilistes, ou le couplage des deux.

Le but de ce travail est de présenter les principales méthodes existantes et des outils logiciels pour l'analyse des effets dominos, ce travail consiste à trois chapitres :

- Le premier chapitre est contienne à la présentation de l'entreprise NAFTAL et le centre Aviation Marine de Dar El-Beida
- Le deuxième chapitre est consacrée à la définition des effets dominos et ces principales caractéristiques.
- Le troisième chapitre est dédiée à la modélisation des effets dominos et la classification des différentes méthodologies et des outils logiciels.

Référence bibliographique

- Journal officiel de la république algérienne « N° 4 du 29 janvier 2015 » / <http://www.joradp.dz/>
- Site de la société algérienne NAFTAL www.naftal.dz
- Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail / <http://www.csst.qc.ca>
- Fiches de données de sécurité des produits JET A1 et AVGAZ / <http://recherche.quickfds.com>
- Prévisions météo. <http://meteoblue.com>
- Base de donnée des accidents technologique « ARIA » / <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>
- Centre Algérien de recherche en astronomie, astrophysique et géophysique / <http://www.craag.dz/>
- Le livre « Gestion des risques » de Bernard BARTHÉLEMY et Philippe COURRÈGES

[01] European community directive (82/501/ EEC).

[02] Council directive 96/82/ec on the control of major-accident hazards involving dangerous substances.

[03] Ministre de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire. « Inventaire 2009 des accidents technologiques », 19 pages, 2009.

[04] B. Abdolhamidzadeh, D. Rashtchian, M. Morshedi, Statistical survey of domino past accidents, in: 8th world congress of chemical engineering, Montreal 317, 6 pages, 2009.

[05] F. Clini, R. M. Darbra, J. Casal, Historical analysis of accidents involving domino effect, in: Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria delle Tecnologie Ambientali. Universit di Bologna. Via Terracini, 28. 40126. Bologna

(Italy). Centre d'Estudis del Risc Tecnològic (CERTEC). Department of Chemical Engineering. Universitat Politècnica de Catalunya. Diagonal 647, 08028-Barcelona. Spain, 2009.

[06] A. Bahman, A. Tasneem, D. Rashtchian, S. Abbasi, A new method for assessing domino effect in chemical process industry, Journal of Hazardous Materials 182 (2010)416-426.

[07] F. I. Kha Abbasi, An assessment of the likelihood of occurrence, and the damage potential of domino effect (chain of accidents) in a typical cluster of industries, Journal of Loss Prevention in the Process Industries 14 (2001) 283- 306.

[08] F. I. Khan, Use Maximum-Credible Accident Scenarios for realistic and reliable risk assessment, Cefmagazine.org (2001) 50-63.

[09] F. Khan, S. Abbasi, Hazard identification and ranking (HIRA): A multiattribute technique for hazard identification, Proc. Safety Progress 17 (3) (1998) 16.

[10] F. Khan, S. Abbasi, Techniques for risk analysis of chemical process industries, J. of Prevention in Proc. Ind 11(2) (1998) 91.

-
- [11] F. I. Khan, I. Asad, N. Ramesh, S. A. Abbasi, SCAP: a new methodology for safety management based on feedback from credible accident probabilistic fault tree analysis system, *Journal of Hazardous Materials A87* (2001) 23-56.
- [12] F. I. Khan, T. Husain, S. A. Abbasi, Design and evaluation of safety measures using a newly proposed methodology "SCAP", *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2002) 129-146.
- [13] S. A. Abbasi, Faisal I. Khan, Risk analysis of a typical chemical industry using ORA procedure. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 14 (2001) 43–59.
- [14] S. Olivier, D. Bruno, A global view on ARAMIS, a risk assessment methodology for industries in the frame work of the Seveso-II directive, *Journal of Hazardous Materials* 130 (2006) 187-199.
- [15] D. Christian, F. Cécile, P. Aurore, D. Bruno, ARAMIS Project: A comprehensive methodology for the identification of reference accident scenarios in process industries, *Journal of Hazardous Materials* 130 (2006) 200-219.
- [16] P. Damienne, Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines, Tech. rep., Cybergeog : *European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 328, mis en ligne le : 29 novembre 2005.
- [17] G. Antonioni, G. Spadoni, V. Cozzani, A methodology for the quantitative risk assessment of major accidents triggered by seismic events, *Journal of Hazardous Materials* 147 (2007) 48-59.
- [18] E. Renni, G. Antonioni, S. Bonvicini, S. Gigliola, C. Valerio, A novel framework for the quantitative assessment of risk due to major accidents triggered by lightning, *Chemical Engineering Transactions* 17 (2009) 311-316.
- [19] Ministère de l'écologie, du développement et de l'aménagement. Le plan de prévention des risques technologiques (PPRT), Guide méthodologique, 160 pages.
- [20] <http://www.ineris.fr/fr/ressources/recherche/sigalea>.
- [21] G. Reniers, W. Dullaert, K. Soudan, B. Ale, The use of current risk analysis tools evaluated towards preventing external domino accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 18 (2005) 119-126.
- [22] G. Reniers, W. Dullaert, B. Ale, K. Soudan, Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 15 (2005) 127-138.
- [23] Q. Nguyen, Fiabilité des installations industrielles sous impacts de fragments de structures-effet domino, Ph.D. thesis, Université de Paris-Est Laboratoire MSME (FRE3160 CNRS). Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (2009).
- [24] Q. Nguyen, A. Mebarki, R. Ami Saada, F. Mercier, M. Reimeringer, Integrated probabilistic framework for domino effect and risk analysis, *Advances in Engineering Software* 40 (2009) 892-901.

-
- [25] F. I. Khan, S. A. Abbasi, Maxcred: A software package for quantitative risk analysis, report n cpce/r&d 519k, Tech. rep., Pondicherry University, Pondicherry (1994): Environmental software (1996). trajectory and probability of impact, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 22 (2009) 417-425.
- [26] F. I. Khan, S. A. Abbasi, MAXCRED-II: An advanced version of MAXCRED," report n. cpce/r&d 14/96, Tech. rep., Pondicherry University, Pondicherry (1996).
- [27] Q. Nguyen, Fiabilité des installations industrielles sous impacts de fragments de structures-effet domino, Ph.D. thesis, Université de Paris-Est Laboratoire MSME (FRE3160 CNRS). Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (2009).
- [28] F. I. Khan, S. A. Abbasi, DOMIno eFFECT (domino effect): A new software for domino effect analysis in chemical process industries, *Environment Modelling and Software* 13 (1998) 163-177.
- [29] F. I. Khan, A. Iqbal, S. A. Abbasi, Rapid risk assessment of a fertilizer industry using recently developed computer automated tool torap, *J. Loss Prevention* 14 (2001) 413-427.
- [30] D. Sabatino, C. Massimiliano, M. Gianluca, S. Simberto, Consequence analysis in LPG installation using an integrated computer package, *Journal of Hazardous Materials* 71 (2000) 159-177.
- [31] G. Balloco, A. Carpignano, G. Di. Figlia, J.-P. Nordvik, L. Rizzuti, Development of new tools for the consequence assessment of major accidents, Joint Research Centre of the European Communities, Ispra (Italy), 2000.
- [32] J. Y. Lee, J. W. Lee, J. Ko, En Sup Yoon, Optimization for allocating the explosive facilities in order to minimize the domino effect using nonlinear programming, *Korean J. Chem. Eng* 22(5) (2005) 649-656.
- [33] V. Cozzani, G. Antonioni, G. Spadoni, Quantitative assessment of domino scenarios by a GIS-based software tool, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* 19 (2006) 463-477.
- [34] G. L. L. Reniers, W. Dullaert, Dompok planning : User-friendly software for planning domino effects prevention, *Safety Science* 45 (2007) 1060-1081.