

**RUPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE**

UNIVERSITE DE SAAD DAHLAB BLIDA
FACULTE DES SCIENCES
DÉPARTEMENT INFORMATIQUE



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention

D'un Diplôme de Master en Informatique

Option : ingénierie de logiciel

THÈME

Maintenance préventive de l'éclairage
public

M^{elle}. HECHCHAD GHALIA

M^{elle}. TEMDJA AHLAM

Soutenu le 08/11 / 2020 devant les jurys composés de :

M^{me}. ARKAM MERIEM

Présidente

M^{me}. AROUSSI SANAA

Examinatrice

M^{me}. BOUTOUMI BACHIRA

Promotrice

M^{me}. BELKACEMI NOURELHOUDA

Encadreuse

Année universitaire 2019-2020

Résumé :

Dans le cadre de la révolution technologique et des innovations connues ces dernières années dans la majorité des domaines, et tenons compte l'encouragement de l'économie numérique et la technologie d'information par le gouvernement de notre pays en pensant à construire la nouvelle Algérie basée sur une infrastructure intelligente.

L'objectif de ce travail est de créer un système de gestion de l'éclairage public qui permet à faire la prédiction de ses pannes, Pour atteindre notre but, nous avons collecté quelques concepts intéressants liés à notre étude, puis nous avons étudié l'apprentissage automatique et nous avons terminé par choisir le réseau bayésien comme l'idéale méthode. Nous avons créé une application web qui permet la gestion de l'éclairage public et qui aide à prédire des pannes de l'éclairage public, Les expériences menées sur la solution proposées ont achevés des résultats satisfaisants.

Mots clés : l'éclairage public, maintenance préventive, l'apprentissage automatique, réseau bayésien.

Abstract:

In the context of the technological revolution and the innovations known in recent years in most fields, and take into account the encouragement of the digital economy and information technology by the government of our country by thinking of building the new Algeria based on intelligent infrastructure.

The objective of this work is to create a system of management of public lighting which allows to do the prediction of its breakdowns, To reach our goal, we collected some interesting concepts related to our study, then we studied the machine learning and we ended up choosing the Bayesian network as the ideal method. We have created a web application which allows the management of public lighting and which helps to predict public lighting failures. The experiments carried out on the proposed solution have achieved satisfactory results.

Keywords: public lighting, preventive maintenance, machine learning, Bayesian network.

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant, de nous avoir donné de la volonté, la force et la foi d'arriver à la finalité de ce travail.

Nous réservons lignes en signe de reconnaissance à toute personne qui a contribué directement ou indirectement à la réalisation de ce mémoire.

Nous remercions plus sincèrement nos parents qui nous ont beaucoup soutenus pendant toutes la vie.

Nous exprimons notre grande reconnaissance et remerciement à notre encadreuse Mme. Belkacemi Nourelhouda pour son aide, ses conseils et de nous avoir orienté et mis à notre disposition tous les moyens nécessaires durant notre travail.

Nous exprimons également notre gratitude à Mme. Zahra pour leurs aides, disponibilité et leurs conseils ainsi qu'à l'ensemble de nos jurys pour avoir accepté d'analyser ce travail.

Enfin, que nos chers familles et amis, trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères et les plus profonds en reconnaissance de leurs sacrifice, aide, soutiens et encouragements pour atteindre nos buts.

Dédicace

*C'est avec profonde gratitude et sincères mots, Que nous dédions
ce modeste travail de fin d'étude :*

*À nos chers parents, qui ont sacrifié leur vie pour notre réussite,
c'est grâce à vous et pour vous qu'on a fait notre mémoire.*

*Aucun mot sur cette page ne saurait exprimer ce que nous vous
dois, ni combien nous vous aimons. Nous espérons qu'un jour, nous
pourrions rendre un peu de ce qu'ils ont fait pour nous, que
dieu leur prête bonheur et longue vie.*

À nos chers frères et sœurs.

À nos familles.

À toutes nos amies.

Table des matière

Introduction générale :	1
chapitre 1 : Eclairage public et maintenance	3
1 Introduction :	4
2 L'éclairage public :	4
2.1 Définition d'éclairage public :	5
2.2 Les types d'éclairage public :	5
2.2.1 L'éclairage fonctionnel :	5
2.2.2 L'éclairage décoratif :	6
2.2.3 L'éclairage d'accentuation :	6
2.2.4 Les illuminations festives :	6
2.3 Panne d'éclairage public :	6
2.3.1 Les types de panne l'éclairage public :	6
3 La maintenance :	7
3.1 Définition de la maintenance :	7
3.2 Les types de maintenance :	7
3.2.1 La maintenance corrective :	7
3.2.2 La maintenance préventive :	8
3.3 Les avantages de la maintenance préventive par rapport à la maintenance corrective :	10
4 Conclusion :	11
chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien.....	12
1 Introduction :	13
2 L'apprentissage automatique :	13
2.1 Définition de l'apprentissage automatique :	13
2.2 Types d'apprentissage :	14
2.2.1 Apprentissage supervisé :	14
2.2.2 Apprentissage non supervisé :	15
2.2.3 Apprentissage semi supervisé :	16
2.3 La comparaison entre les trois types :	16
2.5 Les algorithmes de l'apprentissage supervisé :	17
2.5.1 La régression logistique :	18

2.5.2	L'analyse discriminante linéaire :	19
2.5.3	Le support vecteur machine :	19
2.5.4	Les arbres de décision :	20
2.5.5	Le classifieur Naïve de bayes :	21
3	Réseau bayésien :	22
3.1	Définition :	22
3.2	Domaines d'application des réseaux bayésiens :	23
3.3	Construction d'un réseau bayésien :	24
3.4	Les inférences dans les réseaux bayésiens :	25
3.4.1	Inférence exacte	26
3.4.2	Inférence approximative :	26
3.5	Apprentissage des Réseaux bayésiens :	27
3.5.1	Apprentissage des paramètres des réseaux bayésiennes :	28
3.5.2	Apprentissage de la structure des réseaux bayésiens :	29
3.6	Les avantages et les inconvénients des réseaux bayésiens :	33
4	Conclusion :	34
chapitre 3	: Etude conceptuelle	35
1	Introduction	36
2	Les diagrammes de notre application :	36
2.1	Les diagrammes de cas d'utilisation :	36
3.2	Le Diagramme de séquence :	45
3.3	Diagramme d'activité :	49
2.4	Diagramme de classe :	50
3	Création de réseau bayésien :	52
3.1	L'apprentissage de la structure :	53
3.2	La modélisation des paramètres :	54
3.3	Inférence :	56
4	Conclusion :	56
chapitre 4	: Mise en œuvre et réalisation	57
1	Introduction :	58
2	Les logiciels utilisés :	58

2.1 NetBeans :	58
2.2 MySQL Workbench :	58
2.3 WampServer :	58
2.4 GeNle :	59
2.5 Jsmile :	59
3 Le langage d'implémentation :	60
3.1 JAVA :	60
3.2 JAVA SERVER FACES :	60
4 Les langages de manipulation de bases de données :	60
4.1 SQL :	61
4.2 HQL :	61
5 Implémentation et tests :	61
5.1 Interfaces :	61
6 Conclusion :	66
Bibliographie.....	68

Liste des figures

Figure 1: la hiérarchie des différents types de la maintenance. (Llaurens, 2011)	10
Figure 2 : La position de l'apprentissage automatique par rapport à d'autres disciplines. (Denoeux, 2018)	14
Figure 3 : la séquence des étapes de construction d'un réseau bayésien. (Naïm, Wullemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)	25
Figure 4 : représentation graphique de la causalité.	31
Figure 5: Diagramme de cas d'utilisation en générale.....	37
Figure 6:Diagramme de cas d'utilisation de Gestion des régions	38
Figure 7: Diagramme de cas d'utilisation de gestion d'objet	39
Figure 8: Diagramme de cas d'utilisation d'opération de maintenance	40
Figure 9: Diagramme de cas d'utilisation de gestion des types objets	41
Figure 10: Diagramme de cas d'utilisation de gestion des pannes	43
Figure 11: Diagramme de cas d'utilisation gestion des techniciens	44
Figure 12: Diagramme de séquence authentification	45
Figure 13: Diagramme de séquence ajouter objet	46
Figure 14: Diagramme de séquence ajouter type objet	46
Figure 15: Diagramme de séquence changer état de technicien.....	47
Figure 16: Diagramme de séquence ajouter panne.....	47
Figure 17: Diagramme de séquence ajouter cause	48
Figure 18: Diagramme de séquence de prédiction des pannes.....	48
Figure 19: Diagramme de séquence opération de maintenance	49
Figure 20:Diagramme d'activité prédiction des pannes.....	49
Figure 21: Diagramme d'activité d'opération de maintenance	50
Figure 22: diagramme de classe	51
Figure 23: la structure de réseaux bayésien des pannes d'éclairage public	53
Figure 24: Paramètre de tempête par expert.....	55
Figure 25: paramètre de lampe clignotante	55
Figure 26: paramètre de nœud coupure de câble.....	55
Figure 27: la modélisation des paramètres de RB des pannes d'éclairage public	56
Figure 28: Interface authentification	61
Figure 29: Interface d'accueil	62
Figure 30: Interface ajouter objet	62

Figure 31: Interface ajouter objet	63
Figure 32: gestion des pannes.....	63
Figure 33: Consulter panne.....	64
Figure 34: Interface opération de maintenance	64
Figure 35: interface ajouter opération de maintenance	65
Figure 36: Interface prédiction des pannes.....	65

Liste des tableaux

Tableau 1.Comparaison entre apprentissage supervisé, non supervisé et semi supervisé	17
Tableau 2: Acteur de notre système	37
Tableau 3: Description de cas d'utilisation gestion des régions	39
Tableau 4: Description de cas d'utilisation gestion des objets	40
Tableau 5: Description de cas d'utilisation opération de maintenance.....	41
Tableau 6: Description de cas d'utilisation gestion de type objet.....	42
Tableau 7: Description de cas d'utilisation gestion des pannes	44
Tableau 8:description de cas d'utilisation gestion des techniciens	45
Tableau 9:Description des classes de diagramme de classe	52
Tableau 10: présentation des nœuds.....	54

Liste des équations

Équation 1: Equation généralisée de réseau bayésien	22
Équation 2: Equation de calcul de probabilité.....	23
Équation 3: Equation de calcul des probabilités de paramètres.....	28
Équation 4: Equation estimée la probabilité d'un évènement	28
Équation 5: Equation de maximum a posteriori.....	29
Équation 6: Equation d'espérance a posteriori.....	29

Introduction générale :

L'éclairage public est nécessaire à la vie nocturne dans les villes et villages. Il est considéré comme un facteur de sécurité très important, de plus il permet la décoration des espaces. C'est aussi un service source d'activité économique. La puissance et l'apparence de l'éclairage signalent la prospérité et le degré de développement économique, de cette importance, l'éclairage public prend vraiment un poids dominant sur la facture des collectivités.

En Algérie l'illumination publique dépense 80% d'énergie de la capitale (Algérie Presse Service, 2018), dépense 56% d'énergie national avec une mesure de 14 milliards de dinars par an si on collecte les énormes parties du budget d'éclairage public estimé pour chaque commune négligent les frais de maintenance. La maintenance préventive permet à réduire le taux de défaillance des équipements ainsi qu'elle assure la continuité du travail de ce service, il existe plusieurs approches qui permettent la prévention. A la base des problèmes de l'éclairage public algérien c'est qu'environ 80% des composants d'éclairage disponibles sur le marché national ne respectent pas les mesures de la performance énergétique (Khadach, 2019), on remarque des retards et parfois des absences des maintenances à cause de l'incompréhension des sources des pannes, ce qui prouve des mauvaises stratégies et une mauvaise gestion.

Les technologies ont un rôle principal pour un meilleur développement. Comme l'informatique qui est la source des technologies intelligentes, parmi ces technologies : l'éclairage urbain intelligent qui a besoin des systèmes informatiques dans sa création, planification, organisation, et pour une bonne réalisation afin d'assurer la continuité de fonctionnement de ce service.

Dans le cadre de cette mémoire, nous avons tenté de proposer un système efficace de gestion d'éclairage public pris en charge la maintenance préventive, basé sur un apprentissage supervisé, nous appliquons une nouvelle approche utilisant la modélisation par raisonnement mathématique (statistique et probabiliste) focalisée sur le formalisme de la théorie de Bayes, particulièrement les réseaux bayésiens. Notre but est de prévoir les pannes et leurs structures causales liées aux équipements, et ainsi aider à solutionner les problèmes de fiabilité de ce service.

Notre objectif principal consiste à faire la conception et le développement d'une application pour la gestion d'éclairage public après une bonne compréhension du domaine et une étude approfondie sur l'apprentissage machine. Cette application doit

assurer la prédiction des pannes qui peuvent atteindre les différents composants d'éclairage public, réduire le temps d'intervention devant une incidence, gérer la consommation d'énergie, suivre la disponibilité des ressources humains pour limiter les couts et le temps des maintenances.

Pour mener à bien notre étude, nous avons organisé notre travail comme suite :

- Chapitre1 : Le contenu dans ce chapitre est présenté et définit d'une manière détaillé l'éclairage public et ses types ainsi que ses pannes les plus fréquentes puis donné une vue sur la maintenance et ses différents types.
- Chapitre2 : Dans ce chapitre nous avons présenté l'apprentissage automatique, décrirons ses types et les algorithmes de l'apprentissage supervisé, détaillons par la suite les réseaux bayésiens.
- Chapitre3 : Résume la conception de notre projet, présentée avec le langage de modélisation unifié UML et présente les processus pour construire un réseau bayésien.
- Chapitre4 : Nous verrons l'implémentation en utilisant le langage orienté objet JAVA sous Netbeans utilisant les framework Java Server Faces et Hibernante, En citons les différents outils utilisés dans la mise en œuvre de notre application et expose sa réalisation avec quelques interfaces.

Nous terminons cette mémoire par une conclusion générale, Nous abordons aussi les perspectives de notre travail.

chapitre 1 : Eclairage public et maintenance

1 Introduction :

La lumière est un élément fondamental dans la vie d'un être humain, que ce soit naturelle ou artificielle qui est utilisée pour éclairer pendant la nuit. Actuellement, l'éclairage public est devenu plus qu'un moyen d'obtenir de la lumière, il représente un élément indispensable de la vie humaine en général et en milieu urbain en particulier, qui a été mise en place pendant des décennies afin d'améliorer les facteurs de sécurité et de fournir une visibilité. Les statistiques ont montré que les routes éclairées sont moins des accidents de circulation et des crimes graves. (Daoudi & ICP, 2018)

N'importe qu'elle système technologique puisse être exposée à des erreurs, perturbations, dysfonctionnements, erreurs, pannes. En raison d'importance d'éclairage public, son activité doit être toujours maintenue et préservée avec des actions de dépannage et de réparation de ses équipements endommagés en en raison de l'utilisation ou du vieillissement. Pour assurer la continuité de travail et un minimum économique de temps d'arrêt on signale a un point très important malgré il a été toujours conçu comme une fonction secondaire qui cause des pertes pour les sociétés et les entreprises, qui est la maintenance.

Le dysfonctionnement ou l'arrêt des équipements cause des couts insupportables, on ne peut plus attendre la défaillance des équipements pour les réparer, on doit suivre des procédures pour y voir prédire et éviter les pannes, donc, la maintenance de nos jours n'est pas seulement la réparation du matériel mais aussi la prévention des défaillances et les évitera ce qui implique de passés d'une « maintenance curative » à une « maintenance préventive ». (Noureddine, 2008).

Dans ce chapitre, pour une bonne compréhension et un bon traitement de la problématique de notre recherche on s'intéresse aux plus essentiels concepts qui englobent notre thème, l'éclairage public, ses types, et ses pannes usuelles. Par la suite, on s'adresse à la maintenance et ses types, on focalise sur la maintenance préventive.

2 L'éclairage public :

L'éclairage public a été mise en place pendant des décennies, il est constitué d'un éclairage constant tout au long de la nuit, Ce sont des routes équipées de lampes le long du chemin pour éclairer la nuit ou quand le soleil est disparu.

2.1 Définition d'éclairage public :

L'éclairage public est la mise en place d'un ensemble des équipements dans les places publiques afin d'éclairer ces espaces, il est considéré comme un enjeu majeur dans la vie, il est considéré comme un besoin très important dans la vie quotidienne, qui se forme dans plusieurs formes, comme il a des objectifs et des utilisations différentes.

« Dans de nombreuses communes, l'énergie consommée par l'éclairage public représente la plus grande proportion de leur facture d'électricité annuelle. » (Smail, 2013)

Dans le cas des pannes dans ces systèmes ça pourra influencer sur la consommation de l'énergie, ce qui cause des couts supplémentaires au niveau des communes. Cela affecte négativement son budget. (Smail, 2013)

L'éclairage public est composé de plusieurs éléments :

1. Système optique (réflecteur, diffuseur, ...).
2. Support de lampe.
3. Corps ou carénage (aluminium moulé, ...).
4. Une fixation du luminaire sur son support.
5. Un dispositif de réglage.
6. Un logement pour les auxiliaires d'alimentation.
7. Une vasque (méthacrylate, verre, polycarbonate) de joints de fermeture.

2.2 Les types d'éclairage public :

L'éclairage public est pour plusieurs objectifs, il n'est pas seulement pour la raison de sécurité et de guider, mais il est aussi pour décorer les espaces, il existe plusieurs types de l'éclairage public :

2.2.1 L'éclairage fonctionnel :

Son principal objectif est de sécurisé, Il est personnalisé pour éclairer les routes uniquement dans ce type L'esthétique du matériel d'éclairage et le rendu des couleurs n'ont pas une priorité, il s'agit souvent d'un éclairage uniquement routier. (Syndicat Mixte d'Action pour l'expantion de la Gâtine , 2011)

2.2.2 L'éclairage décoratif :

L'éclairage décoratif contribue de manière significative à l'esthétique urbain, ou le matériel d'éclairage doit avoir un bon rendu visuel, il permet à sécuriser les lieux tout en le donnant une belle perception et le rendant plus agréable à vivre.

L'éclairage d'agrément sera utilisé pour un éclairage routier, piétonnier ou mixte routier/piéton. (Syndicat Mixte d'Action pour l'expansion de la Gâtine , 2011)

2.2.3 L'éclairage d'accentuation :

L'éclairage d'accentuation est essentiellement utilisé afin de valoriser un site en créant une ambiance singulière. Il n'est à priori pas destiné à sécuriser un lieu. (Syndicat Mixte d'Action pour l'expansion de la Gâtine , 2011)

2.2.4 Les illuminations festives :

Ces illuminations sont généralement reliées à des événements particuliers, souvent synonyme de fête. Ils ne sont pas pour une raison de sécurité. (Syndicat Mixte d'Action pour l'expansion de la Gâtine , 2011)

2.3 Panne d'éclairage public :

Comme tout système industriel l'éclairage public peut rencontrer des problèmes de panne affectant la cible principale qui est l'éclairage.

Les pannes d'éclairage public Ce sont les défauts qui affectent ses composants et empêchent ainsi l'éclairage nécessaire au moment nécessaire, ce qui entraîne un impact sur la vie de l'individu et ses occupations. Il existe plusieurs types de panne qui peut s'y produit.

2.3.1 Les types de panne l'éclairage public :

L'éclairage public rencontre plusieurs types de pannes :

1. Toute la rue en panne.
2. Lampe(s) éteinte (s) en permanence.
3. Lampe clignotante.
4. Lampe cassée.

5. Un lampadaire suspendu.
6. Câbles nus montrant.
7. Réverbère de la colonne d'éclairage public.
8. Poteau d'éclairage renversé. (Daoudi & ICP, 2018)

3 La maintenance :

La fonction de maintenance est généralement pour l'objectif de la réparation des éléments et des équipements En cours d'utilisation ou obsolète.

Aujourd'hui ce que on attend de la maintenance ce n'est pas seulement la réparation du matériel mais aussi la prévention des défaillances et les évitera, la fonction de maintenance a pour rétablir le fonctionnement des outils mais de plus en plus fréquemment à prédire ses dysfonctionnements.

3.1 Définition de la maintenance :

La fonction de la maintenance est en générale un ensemble des actions de dépannage et de réparation des équipements Qui ont été endommagé en raison de l'utilisation ou du vieillissement.

La maintenance est la totalité des interventions techniques, administratives et de gestion au moment d'exécution d'une procédure d'un bien, lors d'un cas spécial, pour but de réaliser un service spécifié, qu'il s'agisse, de maintenir en prédiction en cas d'un système actif, ou de rétablir en correction en cas d'une perte dans une mission.

Bien maintenir, c'est d'assurer les différentes opérations avec un assez de crédibilité et d'efficacité. (Ivana, 2006)

3.2 Les types de maintenance :

Il existe deux principales familles de maintenance : la maintenance corrective et la maintenance préventive.

3.2.1 La maintenance corrective :

La maintenance corrective est celle où le système intervient lorsque la panne est déjà présente et qu'il faut la réparer.

Chapitre 1 : Eclairage public et maintenance

Elle est une tâche qui ne s'effectue qu'après la détection d'une panne, Il vise à restaurer un élément à son état d'où il peut effectuer le travail requis.

Elle perçue comme la forme primaire de la maintenance car l'intervention à lieu une fois la défaillance survenue.

Il existe deux types de maintenance corrective : la maintenance curative et la maintenance palliative.

➤ **La maintenance curative :**

Ce type de maintenance permet de remettre définitivement en état le système après l'apparition d'une défaillance. Elle se caractérise par la recherche des causes initiales d'une défaillance en vue de réparer l'équipement. Cette remise en état du système est une réparation durable. (Llaurens, 2011)

➤ **La maintenance palliative :**

Opération destinée à remettre un équipement dans un état provisoire de fonctionnement de manière qu'il puisse assurer une partie des fonctions requises. L'intervention a un caractère provisoire dans le sens où elle nécessitera forcément une intervention ultérieure.

La défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un ensemble à accomplir sa ou ses fonction(s) requise(s) avec les performances définies dans les spécifications techniques. (Llaurens, 2011)

3.2.2 La maintenance préventive :

L'objectif essentiel de la maintenance préventif est de limité le taux de défaillance ou la dégradation des équipements ou des biens en cours d'exploitation, Par le suit d'un mécanisme qui détermine les caractéristiques et l'état de la dégradation du bien ou du service, l'entretien préventif est basé sur le vieil adage « mieux vaut prévenir que guérir».

La maintenance préventive sert à réduire le cout des pannes par la prévention et l'intervention continue qui peut faire éviter les réformes et les immobilisations les plus coûteuses

D'où des coûts doit mettre en évidence un gain par rapport aux défaillances qu'elle permet d'éviter. (Llaurens, 2011)

Chapitre 1 : Eclairage public et maintenance

Il existe 3 types de la maintenance préventive :

➤ **La maintenance préventive systématique :**

« Maintenance préventive exécutée à des intervalles de temps préétablis ou selon un nombre défini d'unités d'usage mais sans contrôle préalable de l'état du bien. ». (AFNOR, 2001).

Ce type de maintenance est basé sur la durée de vie des équipements, il nécessite de connaître : le comportement des équipements, les usures et les modes de dégradation.

La maintenance préventive systématique est une intervention planifiée qui permet l'échange ou la réparation des équipements périodiquement sans contrôle préalable de l'équipement, elle peut être une intervention très précoce donc elle sera inutile sinon elle sera tardive donc elle affectera négativement sur le processus du système. (Llaurens, 2011)

➤ **La maintenance préventive prévisionnelle :**

« Maintenance conditionnelle exécutée en suivant les prévisions extrapolées de l'analyse et de l'évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien. ». (AFNOR, 2001)

Dépend de l'analyse de l'évolution surveillée de paramètres significatifs de la dégradation du bien, généralement une courbe d'évolution d'un défaut étant connue, qui permet de retarder et de planifier les interventions. (Llaurens, 2011)

➤ **La maintenance préventive conditionnelle « prédictive » :**

« Maintenance préventive basée sur une surveillance du fonctionnement du bien et/ou des paramètres significatifs de ce fonctionnement intégrant les actions qui en découlent. La surveillance du fonctionnement et des paramètres peut être exécutée selon un calendrier, ou à la demande, ou de façon continue. » (AFNOR, 2001)

Maintenance préventive conditionnelle s'exécute selon des critères prédéfinis, elle se traduit par des visites préventives qui consistent à suivre les paramètres significatifs de la dégradation du bien. L'intervention se fait lorsque le paramètre suivi dépasse un seuil d'alerte, ou il faut prévoir une intervention afin de rendre l'équipement à son état normal.

La maintenance préventive conditionnelle reliée à des mesures et diagnostics précis de l'état de dégradation d'un équipement, ces mesures peuvent être des mesures

de vibration, des analyses d'huile, des thermographies infrarouges... dépendent de l'équipement suivi. (Llaurens, 2011)

La figure ci-dessous montre la hiérarchie des différents types de la maintenance :

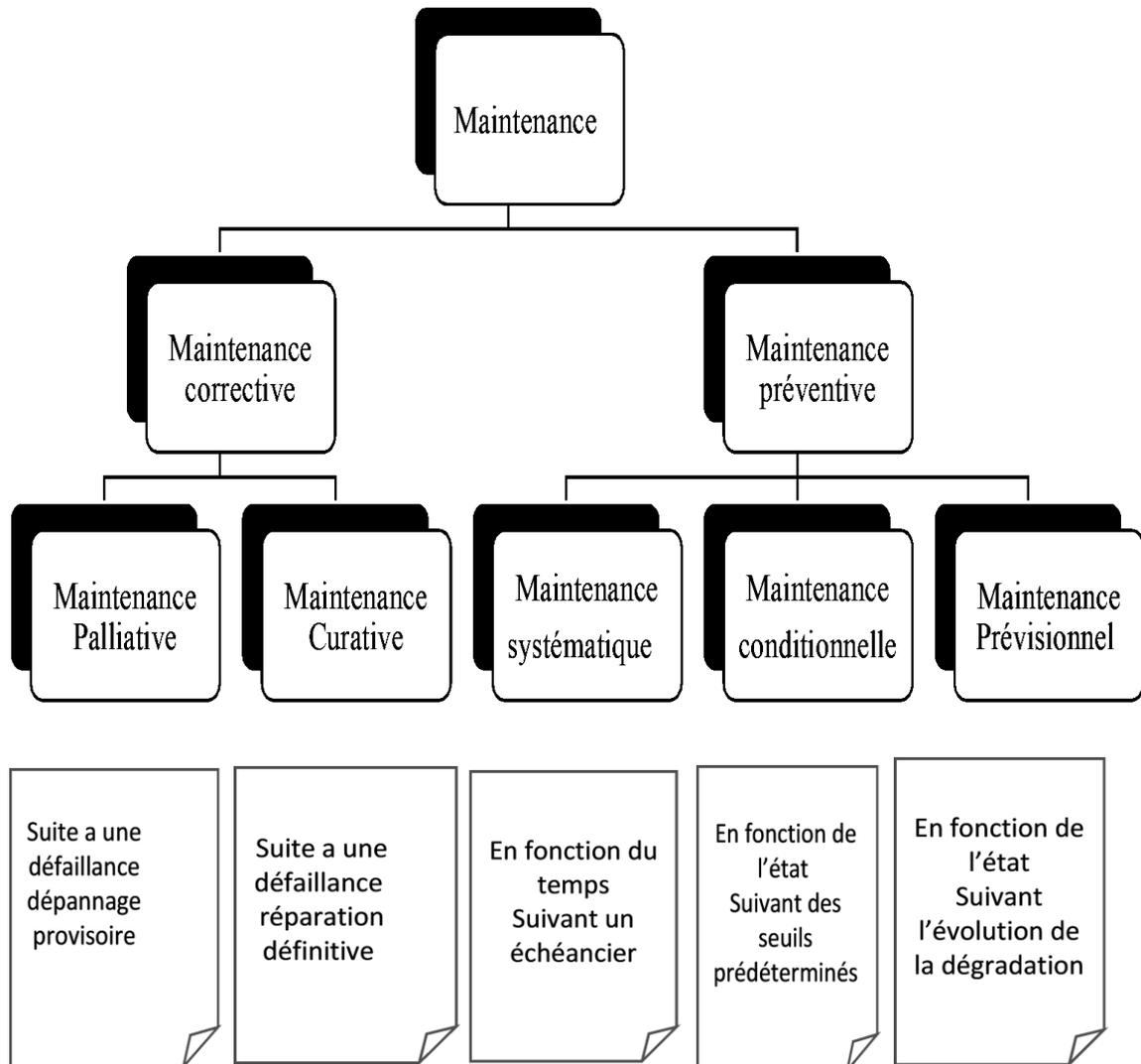


Figure 1: la hiérarchie des différents types de la maintenance. (Llaurens, 2011)

3.3 Les avantages de la maintenance préventive par rapport à la maintenance corrective :

1. moins de défaillances inattendues, donc moins d'arrêts de production, où de service.
2. planification possible des interventions donc meilleure préparation, meilleure qualité du travail, moindre coût,
3. meilleures relations entre Service production et Service maintenance,

Chapitre 1 : Eclairage public et maintenance

4. possibilité de mieux gérer le stock de pièces de rechange.
5. Augmenter la durée de vie du bien,
6. Diminuer la probabilité de défaillance,
7. Prévenir et prévoir les interventions coûteuses de maintenance,
8. Diminuer le budget alloué à la maintenance.

4 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons présenté les deux domaines concernés, « l'éclairage public », « la maintenance », avec des définitions nécessaires. Nous avons cité dans un premier temps les types d'éclairage, les différentes pannes qui peuvent lui envisager. Dans un deuxième temps nous avons mentionné les types de maintenance, en mettant l'accent sur la maintenance préventive grâce à ses avantages que nous avons déclaré.

chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

1 Introduction :

Pour réaliser un système intelligent qui permet à prévenir des pannes, nous sommes obligés d'utiliser et d'intégrer les algorithmes d'apprentissage qui sont capables d'apprendre et puissent prendre une décision satisfaisante.

Dans ce chapitre, nous commençons par définir l'apprentissage automatique avec ses trois principaux types, nous soulignons une comparaison entre eux. On concentre sur l'apprentissage supervisé, on mentionne les plus populaires de ses algorithmes avec des présentations des avantages et des inconvénients de chacune. A travers ce chapitre, nous annonçons notre utilisation d'un outil d'apprentissage automatique qui nous a aidé à choisir l'algorithme approprié pour notre domaine d'étude et pour des meilleurs résultats. Nous avons choisi le réseau bayésien qui va prendre la deuxième partie de notre chapitre où nous expliquons son fonctionnement.

2 L'apprentissage automatique :

Toute technologie suffisamment avancée ressemble à un tour de magie. L'apprentissage automatique est une branche encore jeune qui offre une nouvelle naissance à l'informatique et à l'intelligence artificielle. Pour cela, l'apprentissage automatique est considéré comme un repère lors d'extension, de développement et de l'enrichissement des systèmes, qui fonctionnent en fonction de l'environnement, l'archive et ses conséquences suivies, très schématiquement et cela est dû au fait qu'il contient des algorithmes puissants touchent l'idéal.

2.1 Définition de l'apprentissage automatique :

L'apprentissage automatique « machine Learning » est une science qui définit des algorithmes (procédures) en langage informatique qui analysent des données pour raisonner des règles d'inférence et de décision, ces algorithmes sont des moules pour une analyse prédictive, à partir des informations connues qui permettent à produire des nouvelles connaissances aide à analyser de nouvelles situations et résoudre des problèmes. (Bastien, 2020)

L'apprentissage automatique est un domaine de l'intelligence artificielle qui rend une machine capable d'apprendre sans être clairement programmée d'où le nom « machine Learning » « apprentissage machine », ce dernier utilise des outils et des

concepts de la statistique, et fait partir d'une discipline plus large appelée science des données (Denoeux, 2018) comme elle montre la figure 2.

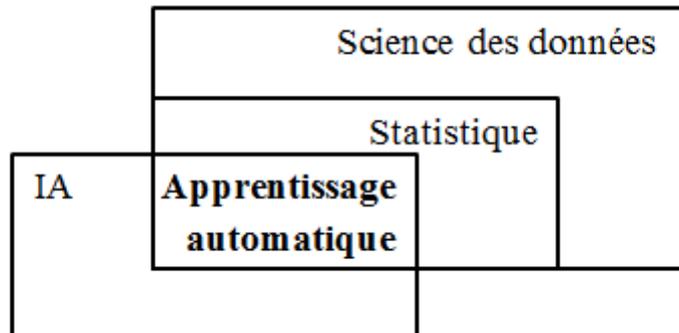


Figure 2 : La position de l'apprentissage automatique par rapport à d'autres disciplines. (Denoeux, 2018)

2.2 Types d'apprentissage :

Il existe différentes manières d'apprendre automatiquement à partir des données, les algorithmes d'apprentissage peuvent se catégoriser selon le type d'apprentissage qu'ils emploient. On distingue trois principales problématiques d'apprentissage : l'apprentissage supervisé, l'apprentissage non supervisé et l'apprentissage semi-supervisé. Nous définissons chacune d'entre elles dans cette cellule.

2.2.1 Apprentissage supervisé :

L'apprentissage supervisé (analyse discriminante) est un mode d'apprentissage machine qui réalise des formats de l'intelligence artificiel qui base sur des données d'apprentissage « étiquetées ».

Pratiquement, l'apprentissage supervisé exécute une fonction de données d'apprentissage étiquetées, il construit un ensemble d'exemples d'apprentissage (instances) où chaque exemple est un couple constitué d'une entrée en forme d'un vecteur et un signal de supervision qui représente la sortie souhaitée. Lorsque l'efficacité des algorithmes est suffisante l'apprentissage s'arrête.

A l'aide d'une fonction raisonnée, le modèle peut mapper des nouveaux exemples. Un déroulement idéal permet à l'algorithme de classer correctement les instances invisibles dans des classes prédéfinis, qui nécessitent la généralisation des algorithmes pour obtenir des situations invisibles de façon raisonnable.

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

Dans certain cas ce type d'apprentissage donne la possibilité d'associer une nouvelle donnée non pas à une classe unique, mais une probabilité d'appartenance à chacune des classes déjà définies qui dite l'apprentissage probabiliste. (Christopher, 2006)

Les problèmes d'apprentissage supervisé sont subdivisés comme suit :

- **Classification :**

Au cas où les données aient des valeurs discrètes et permettent à prédire une variable catégorielle stricte, l'apprentissage supervisé est pareillement nommée classification. C'est la situation où les nouvelles données d'entrées sont classées en fonction des données historiques qui sont déjà classé.

Une classification est dite binaire lorsque le problème a qu'une étiquette et elle est dite multiple lorsque le problème regroupe plus que deux catégories.

On applique la classification si on veut que les résultats indiquent la classe de points de données de notre jeu de données environ quelques-unes catégories explicites. (Brownlee, 2020)

- **Régression :**

Au cas où les données aient des valeurs continues, ils permettent à prédire des résultats qui ont des valeurs continues. Premièrement il faut cueillir les facteurs (des variables séparés), puis affectés leurs coefficients au but de diminuer les divergences entre les valeurs réelles et les valeurs prédites. Dernièrement on calcule la formule exploitée dans la prévention de ce qu'on veut estimer en des valeurs continues.

On applique la régression si on veut différencier plusieurs points. (Brownlee, 2020)

2.2.2 Apprentissage non supervisé :

L'apprentissage non supervisé ou le clustering est une deuxième sorte de l'apprentissage automatique, pendant le processus d'apprentissage il possède des données d'entrées non étiquetés et des classes leurs natures et effectifs qui ne sont pas déclarés. Afin de connaitre les caractères de ces données, la machine doit découvrir la structure masquée pour manipuler et exécuté des taches plus complexes de celle de l'apprentissage supervisé et aussi de manière imprévisible.

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

Cet apprentissage inclut la première étape avant l'apprentissage supervisé, donc il sert à analyser les attributs des données et les regrouper de sorte que les données les plus ressemblants forment un groupe distinct et entre chaque couple de données une fonction de distance définit le principe de la similarité.

Les algorithmes de regroupement et d'association sont deux types d'algorithmes qui bornent l'apprentissage non supervisé. (Cornuéjols, Miclet, Kodratoff, & Mitchell, 2002)

2.2.3 Apprentissage semi supervisé :

L'apprentissage semi supervisé est une autre sorte de l'apprentissage automatique qui regroupe des problèmes intermédiaires pratiqué insuffisamment des données étiquetées puisqu'ils sont longs et coûteuses, de là la mise en œuvre des données non étiquetées est dans le but d'augmentation de la justesse et l'enrichissement de l'apprentissage.

L'apprentissage semi supervisé est capable d'être un apprentissage supervisé compagnie de d'autre renseignement et qui aide à faire la classification des exemples, il est dit un apprentissage non supervisé forcé sur des lois.

En conséquence, cet apprentissage est un assemblage de l'apprentissage supervisé et l'apprentissage non supervisé qui peut avoir aussi la possibilité de la probabilité d'appartenance de chacun d'exemple à chacune des classes. (Laurent, 2006).

2.3 La comparaison entre les trois types :

	Apprentissage supervisé	Apprentissage non supervisé	Apprentissage semi supervisé
Données d'entrée	Connues et étiquetées	Inconnues et non étiquetées	Certaines données sont étiquetées mais la plupart d'entre elles ne sont pas étiquetées
La sortie	Connus du système	Basée sur la collecte de perceptions	Dépend d'entrées
La difficulté	Moins complexe	Plus compliquée	Difficile, coûteux et ennuyeux à faire

Complexité informatique	Haut niveau	Moins complexe	Chaque étape a son propre niveau de complexité
L'analyse	Effectuer une analyse hors ligne	Utilise une analyse en temps réel	Analyse en temps réel
Sous-domaines	Classification et régression	Exploitation de règles de clustering et d'association	Semi-supervisé classique et semi-supervisé par regroupement
Les résultats	Plus précis et fiable	Modérés mais fiables	Dépendent directement de la qualité de la métrique utilisée.
Nombre de classes	Lancé	N'est pas présenter	
Principes	On se base sur des données annotées par un ou plusieurs humains pour pouvoir l'imiter par la suite.	C'est à l'algorithme de déterminer les critères les plus pertinents pour classer les données	Nécessite l'avis d'un expert et nécessaire d'utiliser des dispositifs spécifiques.
Les algorithmes	Les algorithmes apprennent à prédire le résultat des données d'entrée.	Les algorithmes apprennent la structure inhérente à partir des données en entrée	Mélange de techniques supervisées et non supervisées peut être utilisé

Tableau 1. Comparaison entre apprentissage supervisé, non supervisé et semi supervisé

2.5 Les algorithmes de l'apprentissage supervisé :

Le choix d'un algorithme optimal pour un problème d'apprentissage automatique dépend de différents coefficients, des caractères des données et des dimensions de la

forme et de la taille. Il faut aussi donner une importance à la précision, le temps et les attributs, de même les résultats désirent des données.

L'adoption d'un algorithme besoin une vaste étude des besoins et des propriétés. Choisir un algorithme sans essayer d'autre est risque de perte d'efficacité.

Dans ce travail nous avons étudié et mentionné les algorithmes les plus fréquemment utilisées pour le domaine de classification supervisé.

2.5.1 La régression logistique :

La régression logistique est une d'autre sorte de régression linéaire, cette dernière est une procédure d'évaluation sert à trouver des relations linéaires entre une variable et une ou plus d'autres variables. La régression logistique est nommer aussi le model logit, sert à présenter réellement des problèmes mathématiques simples.

Cette méthode base sur des coefficients associés à chaque donnée d'entrées, elle établit une fonction dite logistique avec un vecteur de variables aléatoires, a fin de prédire la sortie qui est une autre variable, la méthode peut estimer la probabilité d'un évènement ou l'appartenance à chacune des classes.

Préférentiellement, au départ de cet algorithme on néglige les caractéristiques des données qui sont approximatif et qui n'influence pas sur les résultats.

C'est la technique la plus appliqué dans la classification binaire. (Akaike, 1974)

- **Les avantages et les inconvénients de la régression logistique :**

- **Les avantages :**

- S'exerce rapidement et clairement.
- La meilleure pour les problèmes de données bornées.
- Visible.
- Possibilité d'entrées des variables de plusieurs types.

- **Les inconvénients :**

- Imprécis.
- Utilisable seulement avec des données linières.
- Ne gère pas les données complexes.
- Seulement pour la classification binaire.

2.5.2 L'analyse discriminante linéaire :

L'analyse discriminante linéaire est une technique plus large que la régression logistique, elle peut inclure n'importe quel problème de classification linéaire.

Le principe de la technique est de mettre en considération des puissances statistiques associées à chaque donnée d'entrée qui groupe une valeur moyenne et une variance estimée absolument pour toutes les classes.

En ce qui concerne la prédiction, pour chaque classe on va déterminer une valeur propre et on pose une prédiction pour la meilleure valeur. Conditionnellement, cette méthode mise en place l'abandon des valeurs aberrantes des données après les distribuer en forme d'une distribution gaussienne (les valeurs des bordures une courbe). (Kamalesh, et al., 2019)

- **Les avantages et les inconvénients de l'analyse discriminante :**

- **Les avantages :**

- Augmente l'éparpillement interclasses.
- Faiblit l'éparpillement intraclasses.
- N'a pas des effets cachés.
- Idéal par rapport aux gaussiennes.

- **Les inconvénients :**

- Lente.
- Prend beaucoup d'espace mémoire.
- Ne gère pas les grandes quantités de données.
- Incertitude des résultats.
- Les valeurs qui ne forment pas la marge ont le même impact.

2.5.3 Le support vecteur machine :

SVM est une collection d'algorithmes d'apprentissage automatique supervisé, gère les problèmes mathématiques et d'ingénierie qui ont besoin de classification sur tout ou de la régression.

Typiquement, lors d'avoir un ensemble de données, chacune des données appartient à une classe précise, l'objectif est de produire une formule trace un hyperplan de multi dimension (dépend du nombre de caractéristique) qui découpe efficacement

cette masse des données en laissant chacune des données de la même classe dans sa plage. (Hilali, 2009)

- **Les avantages et les inconvénients des supports vecteurs machines :**

- **Les avantages :**

- Solides garanties théoriques.
- Ses étapes sont claires
- Extensible, peut gérer des types de données plus complexe.
- On peut l'utiliser comme un outil de séparation des variables.
- Peut gérer une grande base de données.
- Contrôler l'ajustement entre la complexité de classifier et l'erreur.
- Il n'est y a pas d'optimum local.

- **Les inconvénients :**

- Initialement sont construits pour la classification binaire.
- Calcul long.
- Difficile de manipuler les données liées et les données empiriques.
- Nécessite des données contradictoires.
- Besoin d'une fonction efficace.
- L'instabilité des calculs associés aux certains problèmes quadratiques.
- La phase de test prend beaucoup de temps pour trouver les meilleurs paramètres.

2.5.4 Les arbres de décision :

L'arbre de décision est une forme graphique d'un algorithme de classification selon plusieurs indications. C'est une méthode utile d'apprentissage supervisé présente une collection des règles de classification, après mettre au courant un ensemble de données à grouper les plus semblables afin de sortir avec une prédiction d'une variable.

Cette technique organise les données de manière arborescente, les nœuds internes sont les tests, leurs résultats sont les arcs de l'arbre, finalement, les feuilles expérimentent les décisions d'appartenance à une classe après l'examinassions de tous les tests antécédents. (Darlea, 2010)

- **Les avantages et les inconvénients des arbres de décision :**

- **Avantage :**

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

- Facilement d'interpréter.
- Classification rapide.
- Extensible, on peut ajouter des nouvelles options.
- Participante avec d'autres moyens de prise de décision.
- Très prisée, parmi les différentes options, elle sélectionne la plus appropriée.
- Capable de gérer tous les types des variables.

➤ **Inconvénients :**

- Nécessite un expert.
- L'arbre de classification optimal est de np-complet.
- La complexité, créer un mauvais apprentissage (imparfait).
- L'arbre de classification optimal est de np-complet.
- Ne gère pas tous les concepts (xor par exemple)
- N'a pas de collaboration avec la programmation logique inductive.
- L'ordre des variables choisies est fortement influence sur la classification ce qui capable d'endommager le modèle.
- Sensible au changement de données.
- Détection difficile lors d'interaction des données.

2.5.5 Le classifieur Naïve de bayes :

Naïve de bayes, connu sous le nom simple Bayes ou Bayes d'indépendance est un ensemble d'algorithmes de classification exploitent le théorème de Bayes qui ont la même norme, il classe chaque valeur individuellement séparée de toutes différentes valeurs, de cette raison il est dit naïve.

A l'aide des propriétés des attributs et de la probabilité cette méthode doit prédire une sortie, elle considère que chaque caractéristique de classes est indépendante des autres.

Bayes d'indépendance exerce efficacement dans l'apprentissage supervisé grâce au modèle probabiliste et sa simplicité d'implémentation. (Issarane, 2019)

• **Les avantages et les inconvénients de naïve de bayes :**

➤ **Les avantages :**

- Facile à comprendre et à traiter et rapide.
- Organiser sans difficulté.

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

- Insensible avec les données et les attributs non pertinents.
- Donne des bons résultats.

➤ Les inconvénients :

- Suppose l'indépendance des fonctionnalités.
- Les performances sont limitées quand il s'agit d'une grande quantité de lexiques à traiter.

3 Réseau bayésien :

Un modèle graphique est un ensemble de nœuds qui représente des variables aléatoires et des relations de dépendances entre ces variables nommées des arcs, un modèle graphique est composé de deux formes de modèles, un modèle non orienté par exemple les chaînes de Markov et un modèle orienté qui représente les réseaux bayésiens. (Becker & Naim, 1999)

Les réseaux Bayésiens sont actuellement une des techniques les plus intéressantes de l'intelligence artificielle, En effet ils permettent de visualiser la structure et les propriétés de dépendance conditionnelles du modèle probabiliste correspondant. Cependant les réseaux bayésiens sont la fusion entre la théorie de graphe et la théorie de probabilité.

Ils sont utilisés dans plusieurs domaines afin de prévoir, contrôler et simuler le comportement d'un système, à diagnostiquer les causes d'un phénomène observé, à analyser des données et à prendre des décisions.

(Olivier & Julien, 2006)

3.1 Définition :

Un réseau bayésien est un modèle qui représente un graphe orienté qui ne possède pas de circuit appelé un graphe acyclique basé sur le théorème de Bayés à partir de connaissances incertaines. Exprimé par la formule (1). (Olivier & Julien, 2006)

$$P(A/B) = \frac{P(B/A).P(B)}{P(A)}$$

Équation 1: Équation généralisée de réseau bayésien

Il est formé d'un ensemble de variables et d'un ensemble d'arcs entre les variables. Chaque variable correspond à un nœud du réseau. (Naïm, Wuillemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)

Un réseau bayésien est une machine à calculer la probabilité d'un évènement sachant qu'un à autre évènement événement a eu lieu, en informatique il est considéré comme une base aide à la décision pour les décideurs des entreprises.

Un réseau bayésien est un outil qui serve à la manipulation des connaissances d'où il permet à évaluer, prévoir, prédire, diagnostiquer, ou optimiser des décisions. Les réseaux bayésiens se divise en deux partis une partie quantitative et une partie qualitative, la partie quantitative des réseaux bayésiens représente les probabilités conditionnelles associées à chaque nœud du graphe relativement au parent.

La partie qualitative exprime des indépendances conditionnelles entre variables et des liens de causalités et ce grâce à un graphe orienté acyclique dont les nœuds correspondent à des variables aléatoires.

Un réseau bayésien B tel que $B = \{G, P\}$ ou Le graphe est sans circuit $G = (X, E)$:

X : est l'ensemble des nœuds (ou sommets)

E : est l'ensemble des arcs.

L'espace probabiliste est défini par (Ω, P) où Ω est l'univers des probabilités et P l'ensemble de variables aléatoires $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ associées aux nœuds du graphe et tel que :

$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i / Pa(X_i))$$

Équation 2: Equation de calcule de probabilité.

Les modèles probabilistes sont alors utiles pour l'extraction de connaissance probabiliste, le diagnostic, la prédiction et la classification. (Naïm, Wuillemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)

3.2 Domaines d'application des réseaux bayésiens :

Un réseau bayésien est un outil de représentation des données et des connaissances d'un système, en buts de :

1. Administrer, assurer la démarche du système.
2. Simuler la procédure du système.
3. Analyser les données associées au système.
4. Diagnostiquer, déterminer les causes d'un résultat noté par le système.

5. Prédire la démarche d'un système.
6. Extraire des décisions à propos du système.

Ces buts ont été atteints dans plusieurs domaines grâce au développement d'algorithmes d'inférence efficaces, on a choisi les plus populaires pour les citer : (Naïm, Wuillemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)

- La santé : présente l'un des principales applications d'un réseau bayésien, car ils sont capables d'intégrer des connaissances hétérogènes et aussi à cause de leurs capacités d'aborder des requêtes complexes.
- La robotique : on trouve des modèles des robots basés sur les réseaux bayésiens puisque ils sont capables d'intégrer des diversités des sources d'informations.
- L'industrie : les réseaux bayésiens définit la meilleure méthode d'intelligence artificielle qui élabore ce domaine grâce à ses avantages de contrôler et réagir à certains types d'évènements, modéliser les risques et prédire les failles.
- L'informatique : les réseaux bayésiens gèrent certains problèmes d'informatique à l'aide des types d'inférence et les systèmes de planifications associés.
- La défense : les réseaux bayésiens peuvent fusionner les données, manipuler les données incomplètes, interagir avec les données incertaines, piloter la recherche et vérifier les informations du système, ce qui représente un bénéfice pour renforcer le domaine de défense. (Bouaziz, 2012)

En outre, les réseaux bayésiens ont été récemment mis en applications dans les calculs de la fiabilité, la surveillance de réseaux de télécommunication, la classification automatique de documents structurés ou encore l'analyse d'images.

3.3 Construction d'un réseau bayésien :

Afin de construire un réseau bayésien, commençant par la définition de la structure du modèle qui est le graphe puis passant à la définition des paramètres le complément de la structure qui représente des tables de probabilité des variables, ces deux éléments les paramètres et la structure sont fournis par des experts ou calculé à partir des données, généralement la définition de la structure est faite par un expert et les paramètres sont calculés par des données expérimentales.

La structure est considérée comme est un problème très difficile, en particulier à cause de la taille de l'espace de recherche.

Les étapes de la construction d'un réseau bayésien :

La construction d'un réseau bayésien passe par trois étapes :

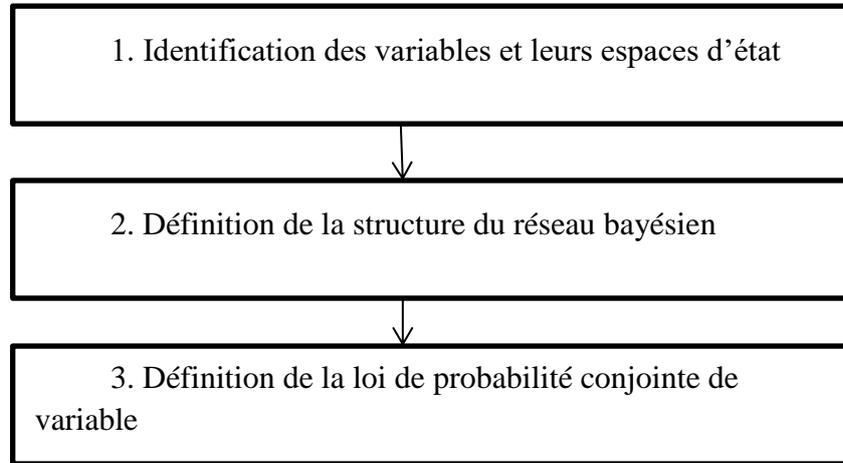


Figure 3 : la séquence des étapes de construction d'un réseau bayésien. (Naïm, Wuillemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)

1. Étape qualitative : concerne la définition de l'ensemble des variables de système, avec précision de l'espace d'états de chaque variable.

2. Étape probabiliste : en plus du choix d'une structure compatible pour les variables, elle introduit l'idée de distribution jointe définie sur les variables a généré la base d'observations

3. Étape quantitative : elle consiste en l'évaluation numérique des distributions de probabilités conditionnelles. (Naïm, Wuillemin, Leray, Pourret, & Becker, 2002)

3.4 Les inférences dans les réseaux bayésiens :

Afin d'utiliser un réseau bayésien pour définir les probabilités correspondantes à certains événements, certaines questions où certaines dépendances, l'inférence permet à calculer la probabilité a posteriori des variables qui sont reliée les uns des autres qui prennent en compte de l'information sur des variables d'observation.

L'inférence bayésienne assise sur l'exploitation des variables probabilistes qui sont généralement définis par des experts étudiant un système puis on utilise un algorithme d'inférence pour calculer la probabilité a postérieure des autres variables. (Ben Mrad, 2015)

L'inférence se décompose en deux grandes familles d'algorithmes, les algorithmes d'inférence exacte et les algorithmes d'inférence approximative.

3.4.1 Inférence exacte

Il existe une équivalence entre la structure graphique et la structure probabiliste ce qui sert à la transformation des problèmes des graphes. (Giovani, 2003)

L'inférence probabiliste sur les réseaux bayésiens est une tâche intense et difficile. L'inférence dans un réseau bayésien s'agit d'un calcul de probabilité a posteriori. Connaissant les états de certaines variables (variables d'observation), on détermine les probabilités des états de certaines autres variables (variables cible) conditionnellement aux observations. (Giovani, 2003)

Il existe différentes méthodes et algorithmes qui permettent d'effectuer ce calcul tel que :

Arbre de jonction : Appeler aussi JLO (Jensen, Lauritzen, Olesen) elle est basée sur une architecture à passage de messages limités aux arbres, dans cette technique, à chaque nœud est associé un processeur qui peut envoyer des messages de façon asynchrone à ses voisins jusqu'à ce qu'un équilibre soit atteint, en un nombre fini d'étapes. Cette méthode est divisée en cinq étapes :

- Moralisation du graphe : elle est composée en deux étapes, la première sert à coupler les nœuds qui possèdent plusieurs parents avec des arcs supplémentaires, la deuxième étape est la récupération du squelette du graphe obtenons un graphe non dirigé dit graphe moral.
- Triangulation du graphe moral : extraire des groupes de nœuds, qui sont des sous-graphes complets, ces groupes forment les nœuds de l'arbre de jonction utilisés pour l'inférence.
- Construction de l'arbre de jonction.
- Inférence dans l'arbre de jonction en utilisant l'algorithme des messages locaux.
- Transformation des potentiels de clique conditionnelles mise à jour. (Madsen & Jensen, 1999)

3.4.2 Inférence approximative :

L'inférence peut être interprétée comme la propagation de certaines observations dans le réseau.

Dans des cas où le nombre des échantillons devient très large l'inférence exacte devient difficile à manipuler cette difficulté peut conduire à un temps de calcul énorme à manipulé.

L'inférence approximative a été mise en place à cause de la difficulté de calculer directement la loi de probabilité d'un nœud ou d'effectuer une inférence plus complexe. Les algorithmes d'approximation sont capables de trouver des solutions approchées de l'optimum en un temps raisonnable, leur but est l'estimation de la distribution de probabilité complète pour un réseau.

Il existe trois méthodes pour réaliser des inférences approchées, faire comme si le graphe était un arbre « loopy belief propagation », Monte Carlo (MCMC), l'algorithme variationnelle.(Olivier & Julien, 2006)

3.5 Apprentissage des Réseaux bayésiens :

La probabilité conditionnelle attachée à une représentation graphique claire forme un excellent outil pour modéliser des problèmes de l'incertain. Les Réseaux bayésiens approuvent une application plus rationnelle possible à des connaissances au fond des différentes situations grâce à ses représentations probabilistes.

Les connaissances sont des liens entre les variables adoptables avec n'importe quelle situation, les informations sont les faits donnant une situation précise. L'inférence vue au paravent est un moyen de passage d'une situation à une déduction.

Dans un Réseaux bayésien l'apprentissage est la définition d'un modèle de connaissance à l'aide des méthodes déjà étudié. L'apprentissage d'un réseau bayésien doit inclure les réponses des deux questions :

- Comment mesurer les lois de probabilité conditionnelle ?
- Comment trouver les structures de réseau bayésien ?

Les réponses à des questions nécessitent le découpage de problème en deux phases :

- L'apprentissage de paramètre :

La structure du réseau est supposé fixée, on doit estimer la probabilité conditionnelle de tous les nœuds du réseau et mesuré leur état qui est lié à l'état de ses parents.

« Représentation quantitative de la connaissance ».

- L'apprentissage de la structure, « Représentation qualitative de la connaissance », c'est la recherche de meilleur graphe d'une tâche à traiter qui forme la structure graphique de réseau.

3.5.1 Apprentissage des paramètres des réseaux bayésiennes :

- **Principe :**

D est un ensemble de données associées à une structure de RBG, le but d'un algorithme d'apprentissage est d'estimer les divisions de probabilité (paramètres) $\theta = \{\theta_i\}$ avec

$$\theta_i = P(x_i/Pa(x_i)).$$

Équation 3: Equation de calcul des probabilités de paramètres.

Les valeurs $\theta_{ijk} = P(X_i=x_k/Pa(x_i)=x_j)$ forment la table de probabilité conditionnel à partir d'un échantillonnage, la technique de calcul change selon la nature des données (complètes ou incomplètes).

- **Apprentissage de données complètes :**

Idéalement, quand toutes les variables des expériences sont disponibles, l'apprentissage suit une approche très simple d'apprentissage statistique, estimant la probabilité d'un évènement à travers sa fréquence dans l'ensemble des données disponible.

C'est l'approche fréquentiste qui dite aussi l'approche par maximum de vraisemblance.

$$P(X_i = x_k | p_a(x_i) = x_j) = \theta_{ijk}^{MV} = \frac{N_{ijk}}{\sum_k N_{ijk}}$$

Équation 4: Equation estimé la probabilité d'un évènement

Avec N_{ijk} la fréquence de la valeur k pour X_i au moment où ses parents sont dans la configuration x_j .

La méthode précédente gère difficilement les situations quand le nombre de paramètres est élevé comparant au nombre des données d'entraînement. Aussi, cette méthode donne une probabilité nulle à des évènements qui n'appartiennent pas à notre base de données, ce qui est réellement insuffisant et faux.

En vue d'arranger ces problèmes, on appelle l'approche bayésienne qui est une distribution a priori des paramètres. Parmi ses méthodes, la plus connue est la méthode de maximum a posteriori.

$$\theta_{ijk}^{MAP} = \frac{N_{ijk} + a_{ijk} - 1}{\sum_k N_{ijk} + a_{ijk} - 1}$$

Équation 5: Equation de maximum a posteriori.

Où a_{ijk} sont les paramètres de la distribution de Dirichlet de la loi $p(\theta)$.

L'approche bayésienne a un deuxième plan qui est l'espérance a posteriori (EAP). (Prestat, 2010)

$$\theta_{ijk}^{MAP} = \frac{N_{ijk} + a_{ijk}}{\sum_k N_{ijk} + a_{ijk}}$$

Équation 6. : Equation d'espérance a posteriori.

- **Apprentissage de données incomplètes :**

Dans certaines situations, les données sont partiellement disponibles et observées, le principe d'apprentissage des paramètres est d'être attaché à l'état d'aléatoire des données absentes, qui sont différencier selon le mécanisme qui les génèrent qui sont :

- Indépendantes de la base de données (parfaitement aléatoires).
- Dépendantes de la base de données (pseudo aléatoires).

Où on trouve un bénéfice pour estimer une distribution de données manquantes.

- Non aléatoires, ou on est obligé d'accorder plus d'informations ou des renseignements.

L'apprentissage des données incomplètes touche des différentes approches, la plus connue est fondée sur l'algorithme itératif EM (Expectation_ Maximisation). Son but est d'estimer la log-vraisemblance des valeurs manquantes utilisant l'ensemble de variables observées. (Zaobot, 2012)

3.5.2 Apprentissage de la structure des réseaux bayésiens :

- **Principe :**

Après l'arrangement des données, on doit définir les relations entre les variables, c'est les liens qui joint un couple (i,j) dès que la présence, la valeur ou l'état d'une

variable X_i influence sur une variable X_j . Selon la majorité des applications, la structure des réseaux bayésien s'effectue à partir des informations d'un expert, où on est besoin des répétitions jusqu'à obtenir un rapport idéal sur les interdépendances des différentes variables X_i .

Dans d'autres cas, la structure d'un réseau bayésien est identifié à partir des renseignements et nos données disponible (données complètes ou incomplètes), cette étude à besoins des méthodes complexes, dépend de la taille de la base de données qui est illimité, En représentant un problème NP-difficile qui regroupe plusieurs approches d'apprentissage pour des optimales structures.

Pour étude plus fidèle et exacte, on pense dans un premier temps à perfectionner notre recherche en limitant l'espace de recherche ou fusant une bonne tactique pour optimiser notre recherche. (Nguyen, 2012).

- **La détermination de la structure par un expert :**

La structure du réseau bayésien définit par un expert passe par trois étapes nécessaires :

1^{ère} Etape : déterminer les variables et spécifier leurs intervalles.

Avec l'aide des gens qui appartiennent au domaine étudié, les chercheurs identifier les variables X_i . Après l'identification, il faut spécifier le champ des valeurs possibles pour toutes les variables.

2^{ème} Etape : Formation de la structure de réseau bayésien.

C'est le point pour définir les liens de causalité entre les variables, sélectionner les binômes (i,j) de sorte que la variable X_i influence la variable X_j .

Ordonner les variables X_1, \dots, X_n , à condition que chaque variable puisse influencer sur une autre variable X_i doit être avant X_i , (A donc B), le cas d'une causalité linéaire.

Il est possible de présenter la structure comme un modèle ou une formalisation des éléments causaux. Alors, une modélisation est une causalité exactement linéaire avec une claire formalisation.

Dans l'approche de probabilité, on ne considère pas toutes les corrélations comme une causalité. Inversement, on peut considérer une causalité directe comme une corrélation.

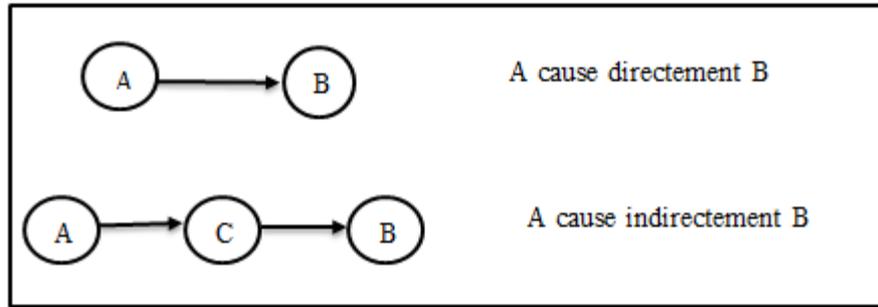


Figure 4 : représentation graphique de la causalité.

Nous rappelons, les boucles ne sont pas autorisées, la structure d'un réseau n'admet pas des circuits.

3^{ème} Etape : identifier la loi de probabilité des variables.

La position de chaque variable dans le réseau détermine les tables de probabilité de toute variable x_i . De là, on distingue deux chemins d'estimation :

1. L'expert estime directement la loi marginale de variable qui ne dispose pas des variables parentes.
2. A l'aide de la probabilité conditionnel ou d'une équation déterministe, si une variable connaît des variables parentes l'expert extrait la dépendance de cette variable en charge de ses variables parentes.

On va concentrer sur la deuxième situation. Où cas d'un nouvel événement, les experts rencontrent une difficulté pour trouver sa probabilité, ceci aboutit à une estimation qualitative.

Les experts disposent d'une table qui transforme les estimations qualitatives en probabilités. (L'échelle de Liechtenstein et Newman par exemple) lors d'un événement nettement spécifier.

En cas où la loi de probabilité d'une variable est indéterminée, il est nécessaire de présenter la variable avec une des lois de probabilité absolu (la loi uniforme). Afin d'organiser le réseau, il est nécessaire de s'intéresser à la sensibilité du modèle à cette loi et voir s'il y a un besoin de d'autres informations pour étudier cette variable. Si on a un manque des données, il est mieux d'associer à chaque variable une loi de probabilité uniforme, depuis la 1^{ère} étape. (Patrick , Pierre-Henri , Philippe , Olivier , & Anna, 2004).

- **Détermination de la structure à partir de données :**

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

La structure d'un réseau bayésien à partir des données est mesurée par l'analyse faite sur ces données et des déductions des connaissances fournées dans la base, pour les afficher comme un modèle d'un graphe orienté sans circuits, figurant la structure du réseau bayésien. Pour attendre un meilleur objectif dans ce cas, le domaine permet la manipulation des plusieurs approches comprenant une diversité d'algorithmes.

L'apprentissage de structure à partir des données nécessite la connaissance d'une masse d'information sur les données disponibles. Comme la nature des données, l'existence de variable(s) latente(s), les connaissances a priori, la nature de la base d'exemples, et d'autres.

➤ **Détermination de la structure à partir des données complètes :**

D'après une base de données mettait en service pour résoudre notre problématique, l'objectif est non seulement de paramétrer une structure, mais le plus important est d'inférer cette structure avec un jeu d'apprentissage. On mentionne trois classes d'approches utilisé lors de construction de la structure d'un réseau bayésien à partir des données (Uffe B. Kjaerulff & Anders L. Madsenv, 2008) :

1- Les méthodes basées sur des contraintes :

Représentent un apprentissage de la causalité, construire une table d'indépendances conditionnelles, en suite exécuter des tests d'indépendance entre toutes les paires de variables, afin de former la structure recherchée.

2- Les méthodes de recherches et de score :

C'est la recherche d'une bonne structure, parcourir tous les graphes possibles avec une fonction de score, puis de sélectionner le graphe ayant l'optimal score optimiser.

3- Les méthodes mixtes :

Des méthodes fusionnent les deux principales méthodes précédentes, pour un meilleur résultat à partir de garder et profiter des avantages définit dans chacune des méthodologies.

➤ **Détermination de la structure à partir des données incomplètes :**

Le cas où les données disponibles sont insuffisantes ou notre base de données est incomplète, on rencontre un major problème à résoudre, appartient au calcul de probabilités, touche le score et son optimisation pour une structure fixe.

L'algorithme EM est le plus utilisé, il gère les bases d'exemples manquantes sans ajouter des variables non mesurées. Au début, on sélectionne une structure primaire pour estimer la diffusion de probabilité des variables manquantes, puis, estimer un score attaché à ses variables manquantes, afin d'adopter la structure suivante.

Le principe de l'algorithme est d'exécuté un couple des étapes (de recherche dans les paramètres et les structures) avec une répétition s'arrête lors d'une convergence. (Patrick , Pierre-Henri , Philippe , Olivier , & Anna, 2004)

3.6 Les avantages et les inconvénients des réseaux bayésiens :

➤ **Les avantages :**

-L'intégration de l'approche probabiliste ajoute des degrés d'efficacité même dans des situations incertaines.

-La négligence de la représentation structurelle en cas des petites datasets car il est possible de modéliser le réseau manuellement.

-Aussi bien que la prédiction, il est possible de déduire les valeurs de toutes les variables du réseau.

-La robustesse face aux données mixtes ou manquante.

-Une représentation peut réaliser plusieurs types d'inférence (diagnostique, analyse de sensibilité ...).

-La schématisation de connaissance par liens entre les causes et les effets est plus simple, logique et honnête par rapport aux règles de production.

-Facile à comprendre et utiliser grâce à sa représentation graphique qui montre clairement les dépendances conditionnelles du modèle, ce qui permet de l'évaluer et le réviser simplement.

-Des bons calculs probabilistes basés sur des efficaces algorithmes d'inférences spécifiées automatiquement à partir des structures initiales du modèle graphique.

-Les réseaux bayésiens utilise des requêtes élaborées, utile économiquement.

➤ **Les inconvénients :**

Chapitre 2 : Apprentissage automatique et réseau bayésien

-L'incertitude d'assez de temps nécessaire qui prend les experts pour une conception manuelle complète du modèle, et ceux-ci capables de se tromper.

-Dans certaines situations, l'inférence bayésienne connaît une complexité dans ses étapes, parfois il est impossible d'arriver à des résultats.

-Les domaines des données continues doivent être discrétisés.

-Pour un raisonnement probabiliste démonstratif, fonctionnel et satisfait, les réseaux bayésiens nécessitent des extensions.

-L'expertise seulement n'est pas fiable, l'affectation des probabilités par des experts pose des problématiques dans des différents domaines.(Olivier & Julien, 2006)

4 Conclusion :

A la fin de ce chapitre nous avons vu la passerelle du quelle on est passé du l'abstrait à la production de notre système, qui est l'apprentissage automatique. Nous venons de présenter l'apprentissage automatique ainsi que ses types, en s'intéressant particulièrement sur l'apprentissage supervisé. Nous avons consacré à présenter le réseau bayésien en détaillons l'apprentissage et l'inférence des réseaux bayésiens. Pour plus généraliser le classifieur naïf de bayes qui permet la prédiction et comme nous n'avons pas pu avoir une grande dataset, le réseau bayésien est la meilleur solution pour faire la prédiction avec un petit ensemble de donnés.

chapitre 3 : Etude conceptuelle

1 Introduction

Le développement d'un logiciel nécessite l'adoption d'un modèle pour assurer une bonne séquence des étapes de travail, nous avons adopté le modèle en cascade comme un cycle de vie de notre projet. Ce modèle base sur la phase de conception.

Pour arriver à des résultats justes et fiables basés sur un réseau bayésien, il faut respecter ses normes et l'ordonnement de ses étapes de création.

Dans ce chapitre nous présenterons brièvement et globalement le fonctionnement et but de notre application, en modélisant le système via les diagrammes d'UML par les diagrammes de cas d'utilisation, le diagramme de séquence le diagramme de classe et le diagramme d'activité. Puis focalisant sur la tâche prédiction des pannes, nous allons expliquer comment nous avons créé notre réseau bayésien avec les différents outils de manipulation.

2 Les diagrammes de notre application :

Dans ce chapitre, nous allons exposer notre solution à partir les plus connus et les plus visibles des diagrammes, donnant une différente vision du notre projet. Dans notre travail, nous avons utilisé les diagrammes de cas d'utilisation, de classe, d'activité et de séquence.

2.1 Les diagrammes de cas d'utilisation :

Le diagramme de cas d'utilisation décrit les fonctionnalités d'un system d'un point de vue d'utilisateur, sous la forme d'action et réactions, l'ensemble des fonctionnalités est déterminé en examinant les besoins fonctionnels de tous utilisateurs potentiels. Un cas d'utilisation décrit un ensemble d'actions réalisées par le système qui produit un résultat observable pour un acteur.

- **Identification des actions et des rôles :**

Un acteur est une personne qui a un rôle bien déterminé dans notre application nous avons pu identifier un seule acteur.

Acteur	Rôle
	<ul style="list-style-type: none">- S'authentification- Créer, modifier, supprimer,

Administrateur	<p>consulter objet.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ajouter, modifier, supprimer, consulter type objet ainsi que ses spécification. - Ajouter, modifier, supprimer, consulter région ainsi que ses voies. - Créer opération de maintenance. - Calculer la prédiction des pannes. - Gérer le technicien et changer l'état d'un technicien - Ajouter, modifier, supprimer, consulter les panne ainsi que leurs causes et conditions.
----------------	---

Tableau 2: Acteur de notre système

• **Diagramme de cas d'utilisation globale :**

Le diagramme de cas d'utilisation globale décrit les principales fonctionnalités du système en spécifiant les actions effectuées par les acteurs, ci-dessous représente le diagramme :

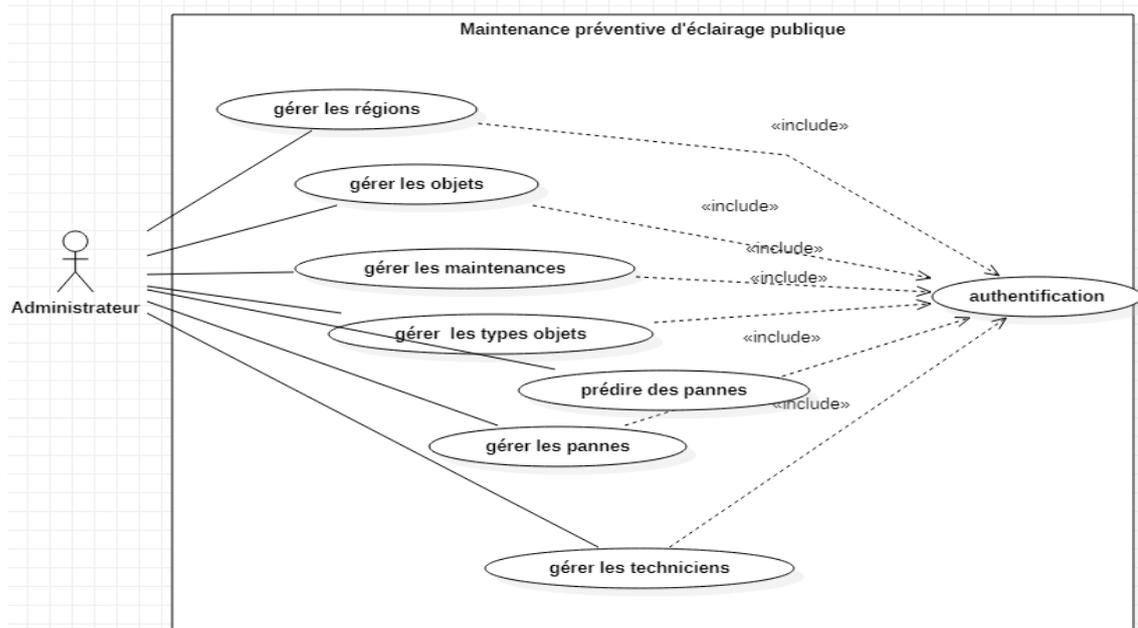


Figure 5: Diagramme de cas d'utilisation en générale.

• **Diagramme de cas d'utilisation de gestion des régions :**

Ce diagramme décrit les actions que l'utilisateur peut effectuer sur le cas de gestion des régions.

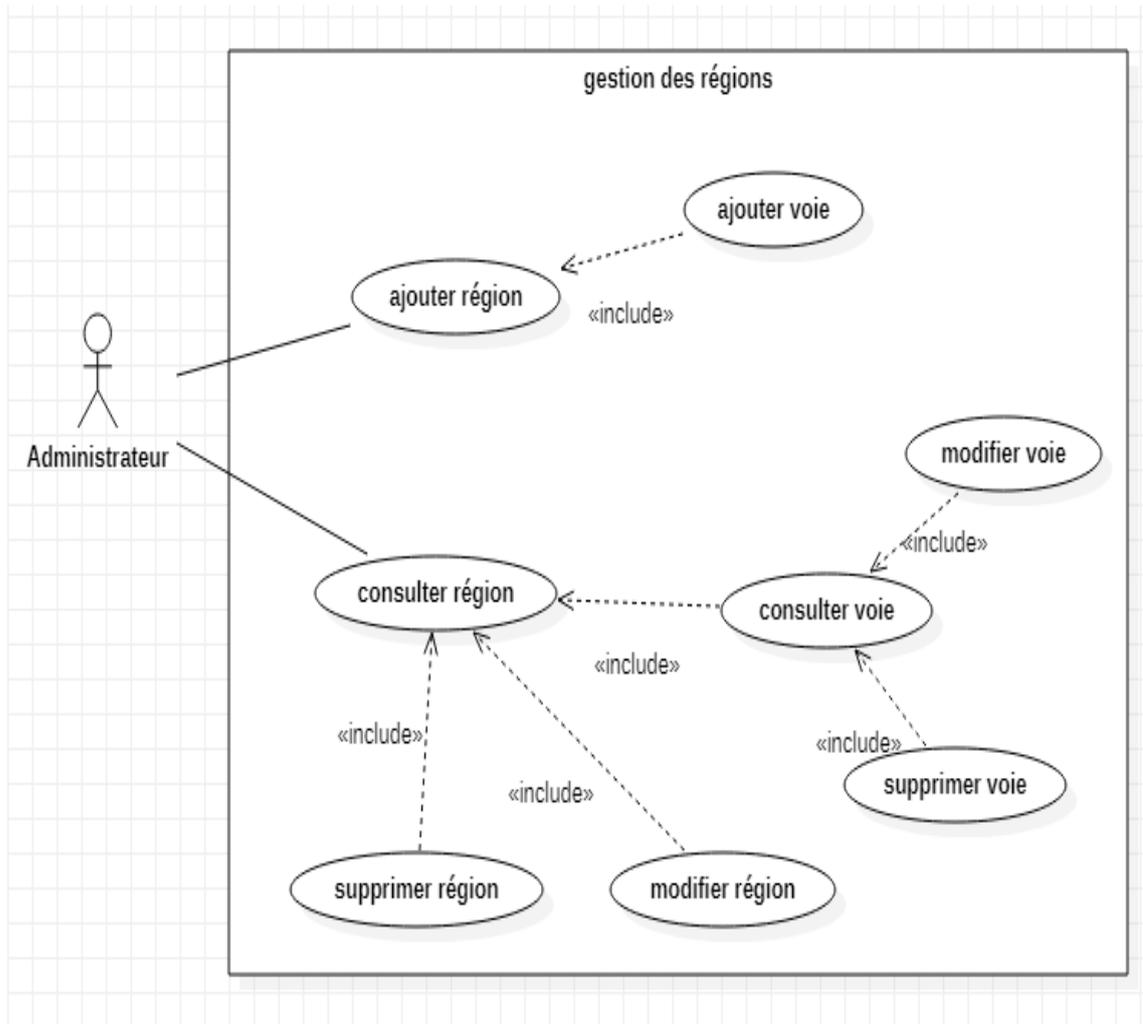


Figure 6: Diagramme de cas d'utilisation de Gestion des régions

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Ajouter région	Permettre à l'administrateur de créer une nouvelle région.
Administrateur	Ajouter voie	Permettre à l'administrateur de créer une nouvelle voie dans une région.
Administrateur	Consulter région	S'intéresse à la recherche et consultation d'une région précise.

Administrateur	Consulter voie	S'intéresse à la recherche et la consultation d'une voie précise.
Administrateur	Modifier voie	Permettre à l'administrateur de modifier une voie.
Administrateur	Supprimer voie	Permettre à l'administrateur de supprimer une voie.
Administrateur	Modifier région	Permettre à l'administrateur de modifier une région.
Administrateur	Supprimer région	Permettre à l'administrateur de supprimer une région.

Tableau 3: Description de cas d'utilisation gestion des régions

- **Diagramme de cas d'utilisation gestion d'objet :**

Ce diagramme décrit les actions que l'utilisateur peut effectuer sur le cas gestion d'obj

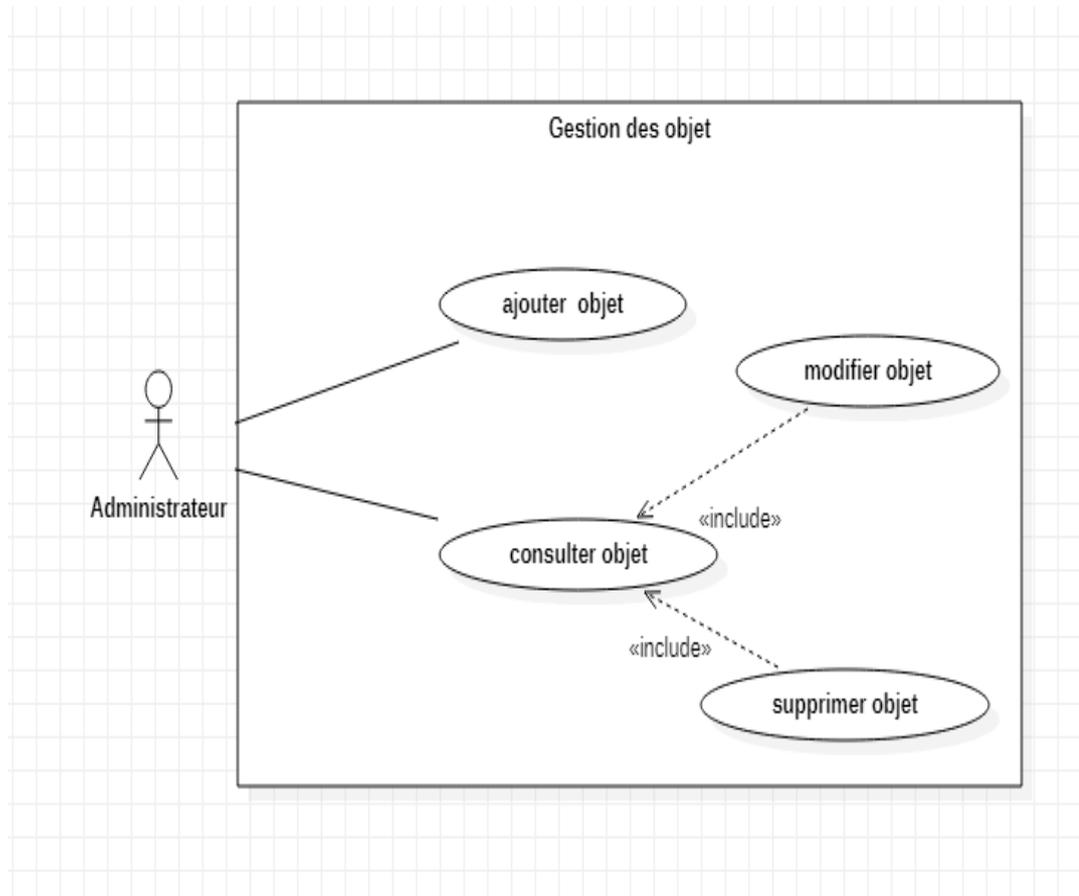


Figure 7: Diagramme de cas d'utilisation de gestion d'objet

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Ajouter objet	Permettre à l'administrateur de créer un nouvel objet.
Administrateur	Consulter objet	S'intéresse à la recherche et la consultation d'un objet précis.
Administrateur	Modifier objet	S'intéresse à la modification des paramètres d'un objet
Administrateur	Supprimer objet	Permettre à l'administrateur de supprimer un nouvel objet.

Tableau 4: Description de cas d'utilisation gestion des objets

- **Diagramme de cas d'utilisation de gestion d'opération de maintenance :**

Il décrit les actions que l'utilisateur peut effectuer sur le cas gestion d'opération de maintenance.

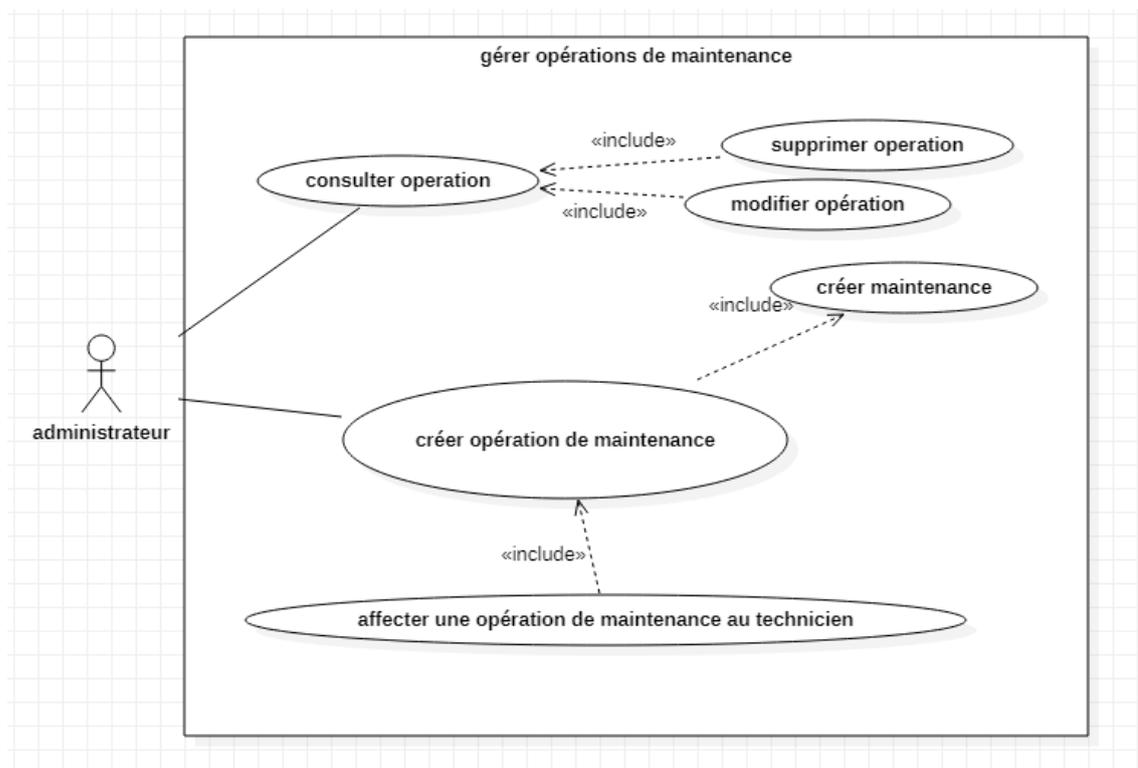


Figure 8: Diagramme de cas d'utilisation d'opération de maintenance

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Créer opération de maintenance	Permettre la création d'une nouvelle opération de maintenance.
Administrateur	Affecter une opération de maintenance au technicien	Permettre à l'administrateur d'affecter une opération de maintenance a un technicien libre.
Administrateur	Créer maintenance	Créer un nouveau type de maintenance.
Administrateur	Modifier opération de maintenance	Modifier les paramètres d'une opération de maintenance.
Administrateur	Supprimer opération de maintenance	Supprimer une opération de maintenance.

Tableau 5: Description de cas d'utilisation opération de maintenance

- **Diagramme de cas d'utilisation de type objet :**

Il décrit les actions que l'utilisateur peut effectuer sur le cas gestion de type objet.

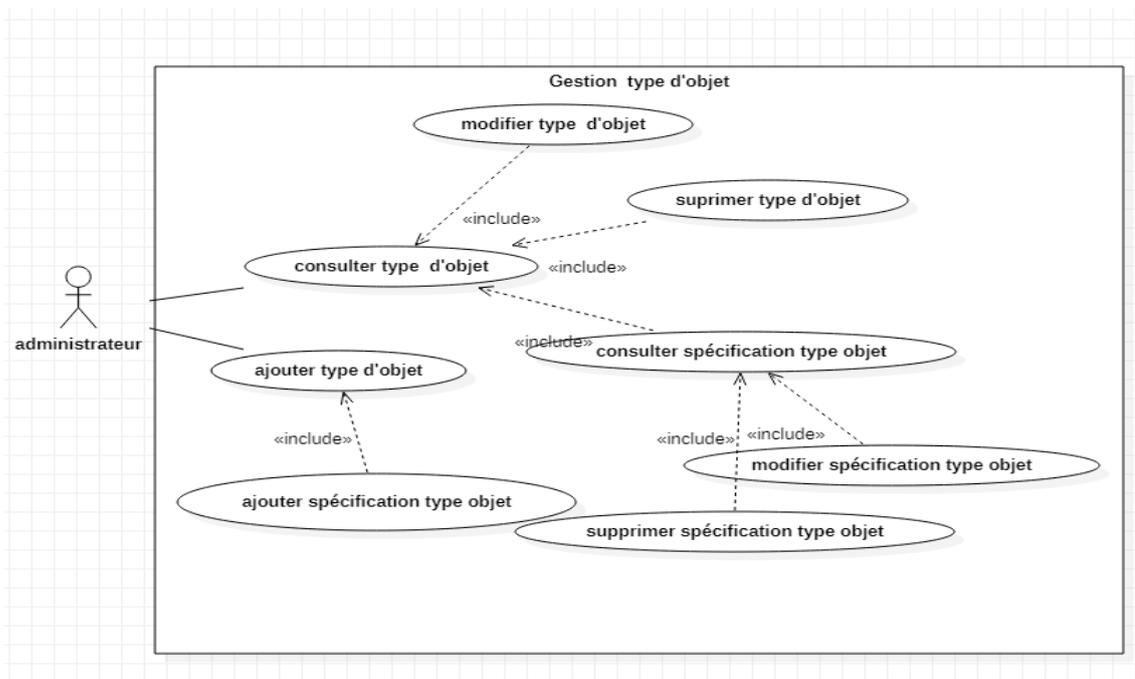


Figure 9: Diagramme de cas d'utilisation de gestion des types objets

Chapitre 3 : Etude conceptuelle

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Ajouter type objet	Permettre de créer un nouveau type d'objet.
Administrateur	Consulter type objet	Permettre la consultation d'un type objet précis.
Administrateur	Ajouter spécification type objet	Permettre à l'administrateur de créer une spécification de type d'objet précis.
Administrateur	Modifier spécification type objet	Permettre à l'administrateur la modification d'une spécification de type objet.
Administrateur	Supprimer type objet	Permettre la suppression d'un type objet.
Administrateur	Supprimer spécification type objet	Permettre la suppression d'une spécification d'un type objet.
Administrateur	Consulter spécification type objet	Permettre la consultation d'une spécification d'un type objet précis.

Tableau 6: Description de cas d'utilisation gestion de type objet

• **Diagramme de cas d'utilisation de gestion des pannes :**

Ce diagramme décrit le cas gestion des pannes

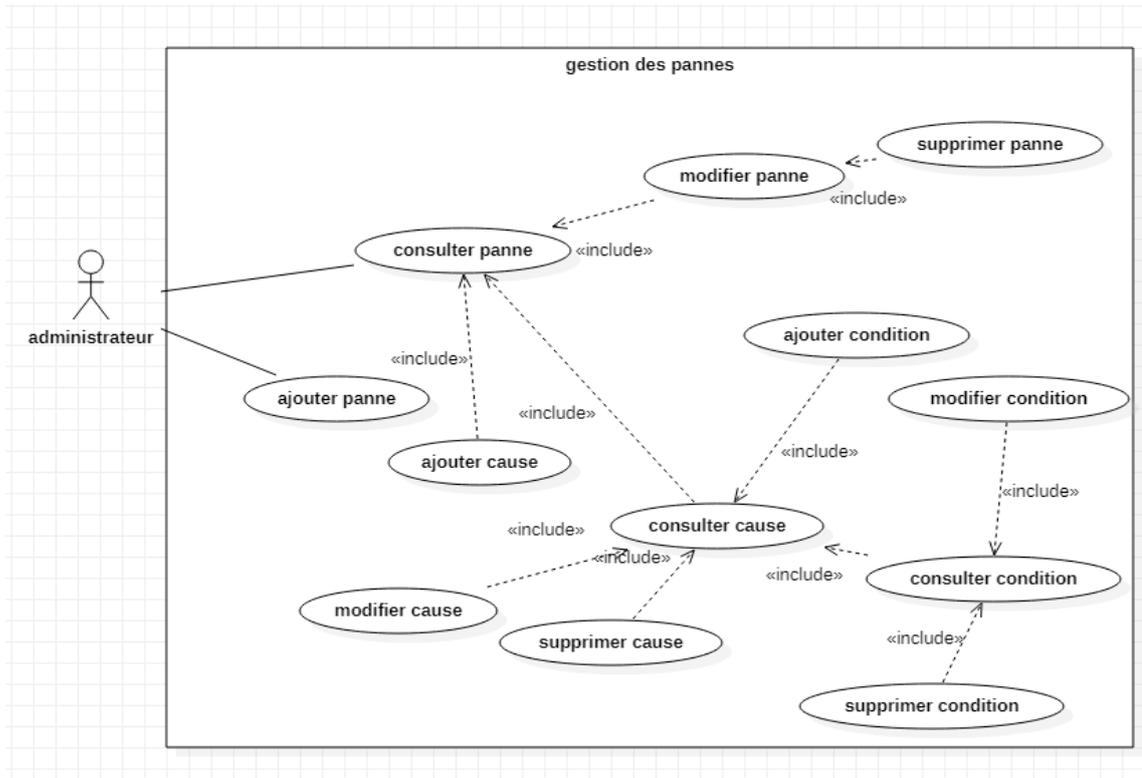


Figure 10: Diagramme de cas d'utilisation de gestion des pannes

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Ajouter panne	Concerne la création d'un nouveau type de panne.
Administrateur	Modifier panne	Permettre la modification d'un type de panne.
Administrateur	Consulter panne	Concerne la recherche et la consultation d'un type de panne précis.
Administrateur	Supprimer panne	Permettre à l'administrateur de supprimer un type de panne.
Administrateur	Ajouter cause	Permettre à l'administrateur de créer une nouvelle cause dans

		une panne précise.
Administrateur	Modifier cause	Concerne la modification d'une cause.
Administrateur	Supprimer cause	Permettre la suppression d'une cause.
Administrateur	Ajouter condition	Permettre à l'administrateur de créer une nouvel condition d'une cause précise.
Administrateur	Modifier condition	Concerne la modification d'une cause.
Administrateur	Supprimer condition	Concerne la suppression d'une condition.

Tableau 7: Description de cas d'utilisation gestion des pannes

- **Diagramme de cas d'utilisation de gestion des techniciens :**

Il décrit les actions que l'utilisateur peut effectuer sur le cas gestion d'opération de maintenance.

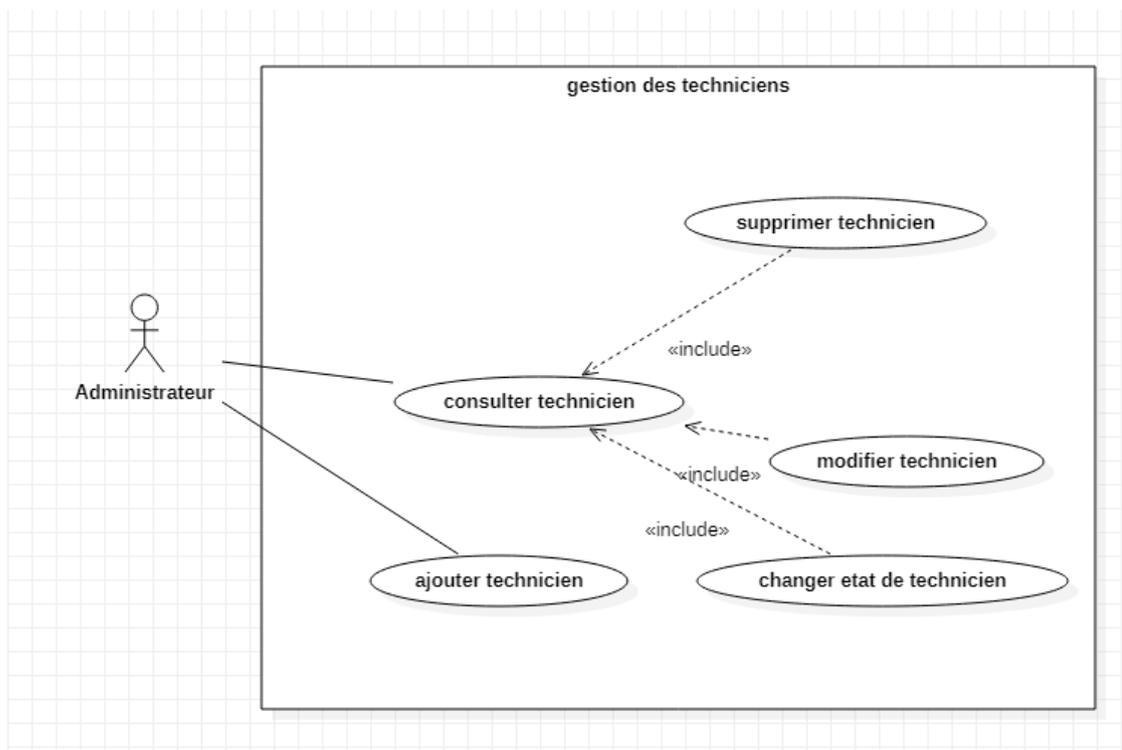


Figure 11: Diagramme de cas d'utilisation gestion des techniciens

Acteur	Cas d'utilisation	Description
Administrateur	Consulter technicien	Permettre la recherche et l'affichage d'un technicien précis.
Administrateur	Ajouter technicien	Permettre à créer un nouveau technicien
Administrateur	Changer état de technicien	Permettre à changer l'état de travail d'un technicien précis
Administrateur	Modifier technicien	Permettre à modifier les paramètres d'un technicien.
Administrateur	Supprimer technicien	Permettre à supprimer un technicien.

Tableau 8: description de cas d'utilisation gestion des techniciens

3.2 Le Diagramme de séquence :

Le diagramme de séquence montre les interactions entre les objets, ordonnées en séquence dans le temps, ce type de diagramme illustre les diagrammes de cas d'utilisation, nous allons décrire quelques diagrammes de séquences.

Nous présentons les principaux diagrammes de cas d'utilisation de notre système.

- **Diagramme de séquence d'authentification :**

Il représente le scénario d'authentification.

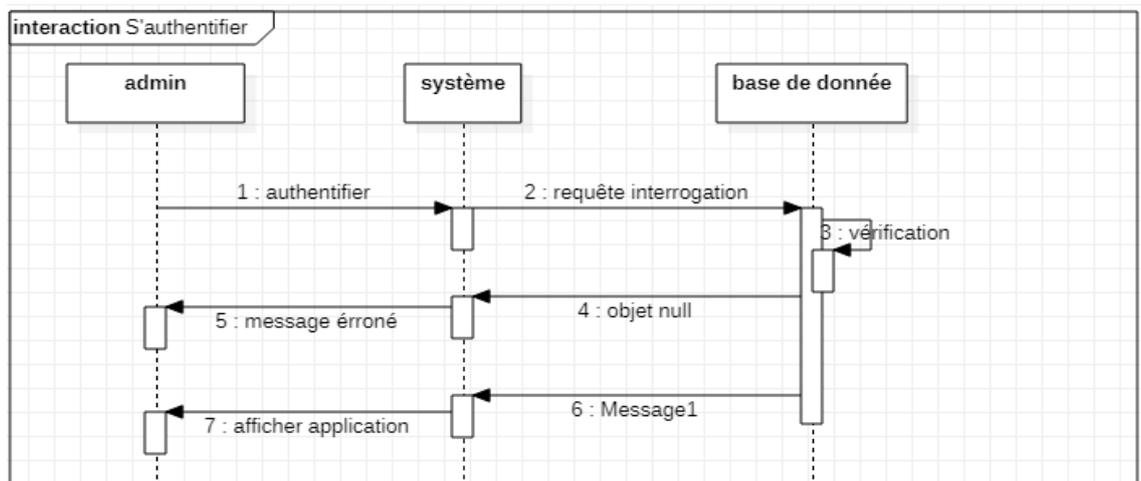


Figure 12: Diagramme de séquence authentification

- **Diagramme de séquence ajouter objet :**

Ce diagramme représente le scénario d'ajout un objet.

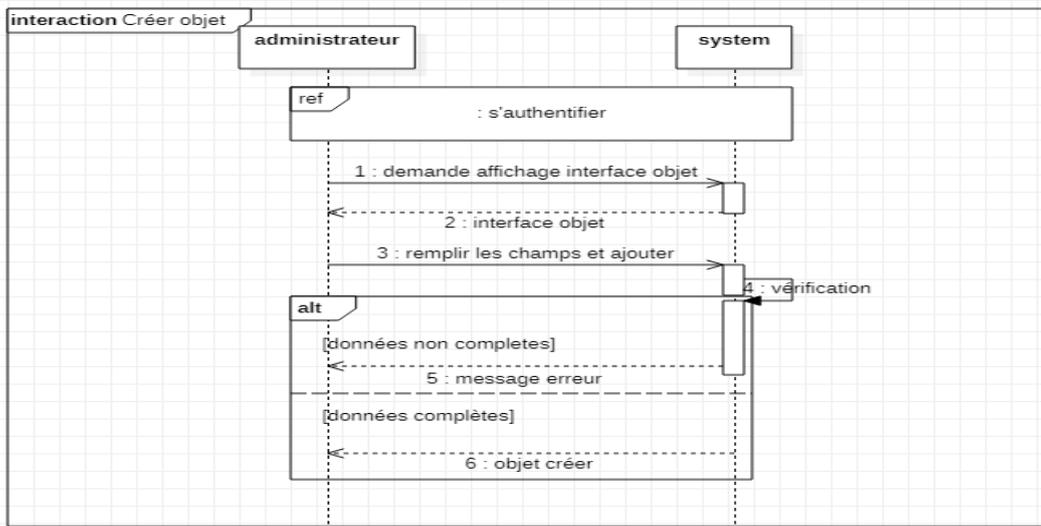


Figure 13: Diagramme de séquence ajouter objet

- **Diagramme de séquence d'ajouter type objet :**

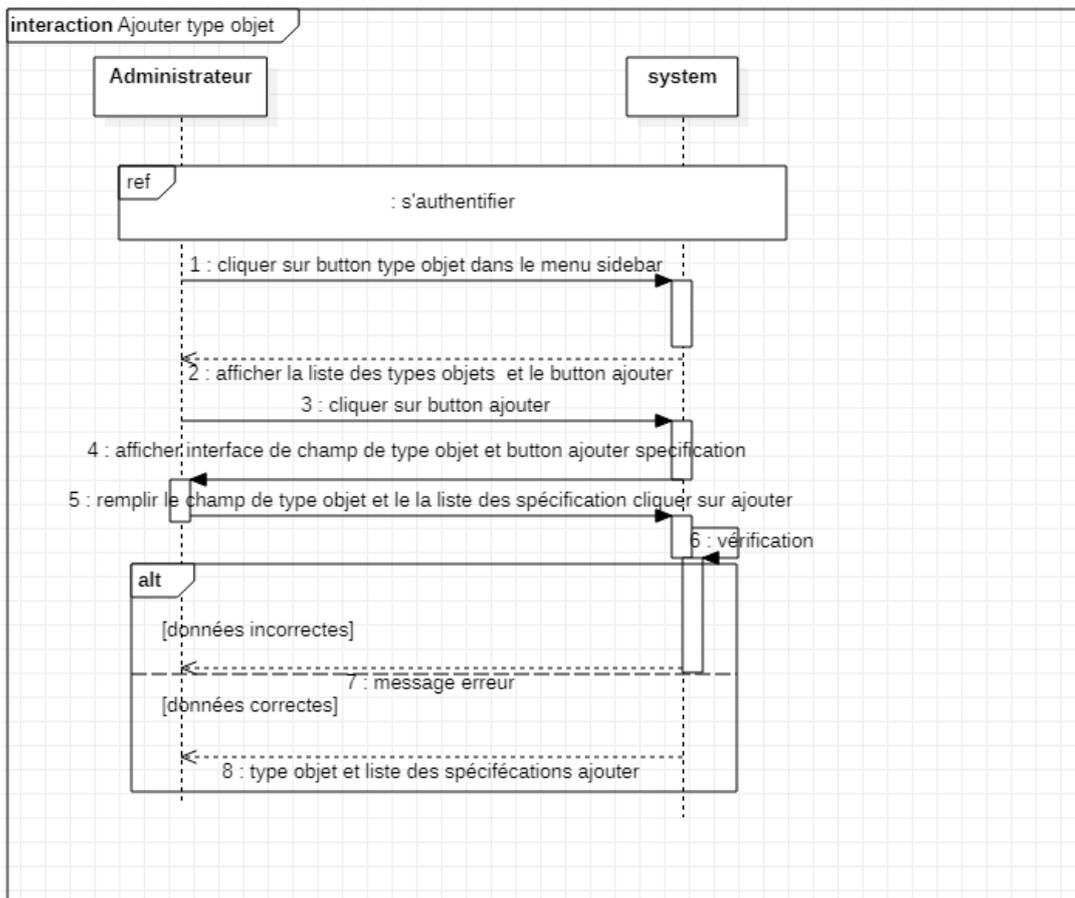


Figure 14: Diagramme de séquence ajouter type objet

• Diagramme de séquence changer état de technicien :

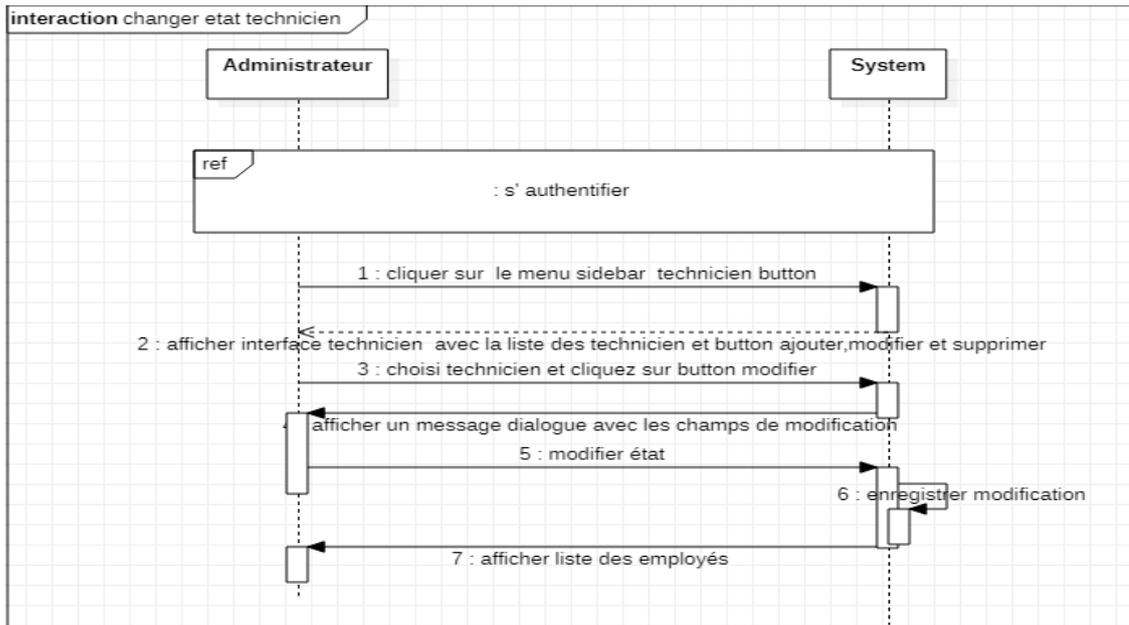


Figure 15: Diagramme de séquence changer état de technicien

• Diagramme de séquence ajouter pannes :

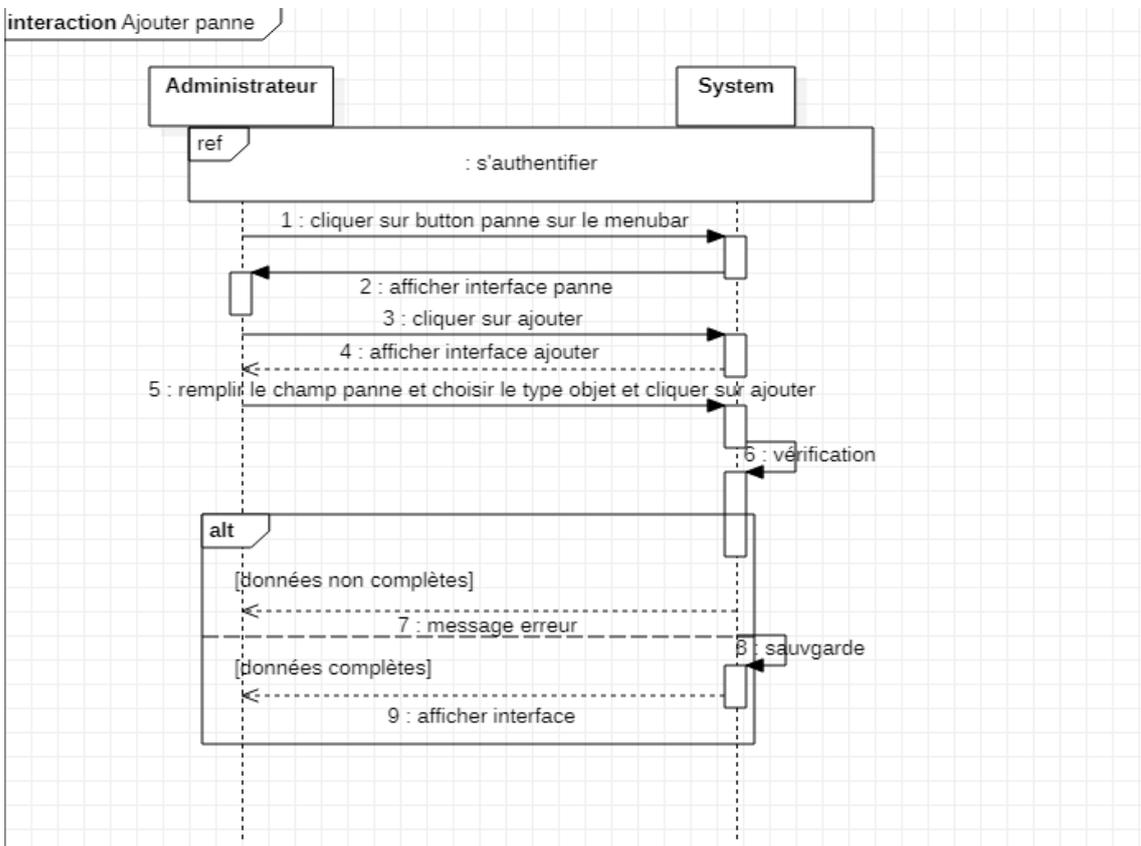


Figure 16: Diagramme de séquence ajouter panne

- **Diagramme de séquence ajouter cause :**

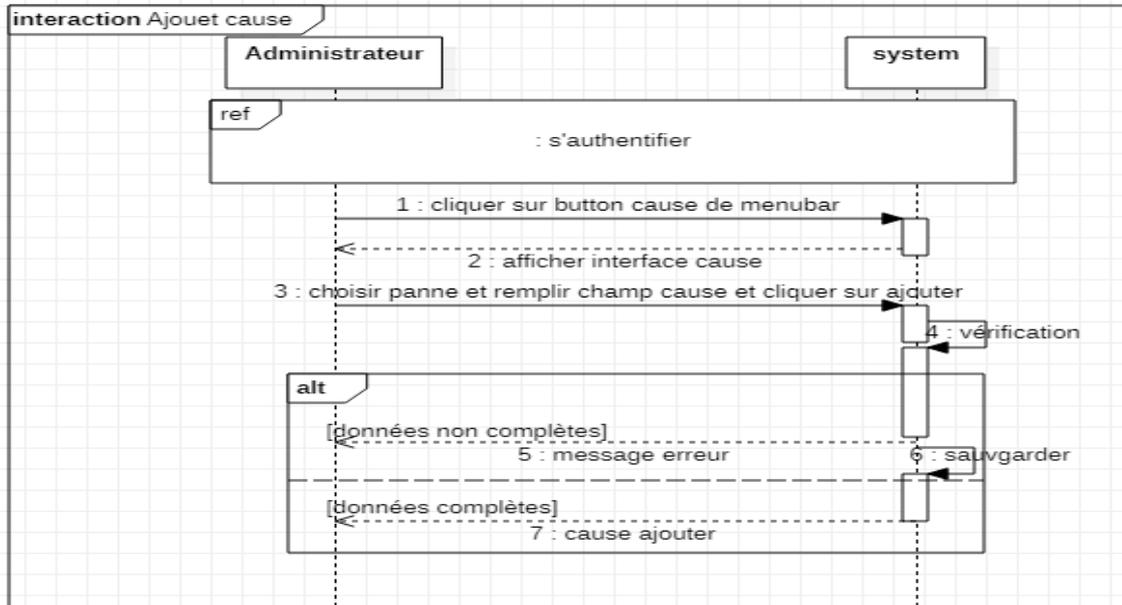


Figure 17: Diagramme de séquence ajouter cause

- **Diagramme de séquence de prédiction des pannes**

Ce diagramme décrit la prédiction des pannes en spécifiant l'échange des messages entre l'utilisateur et le système.

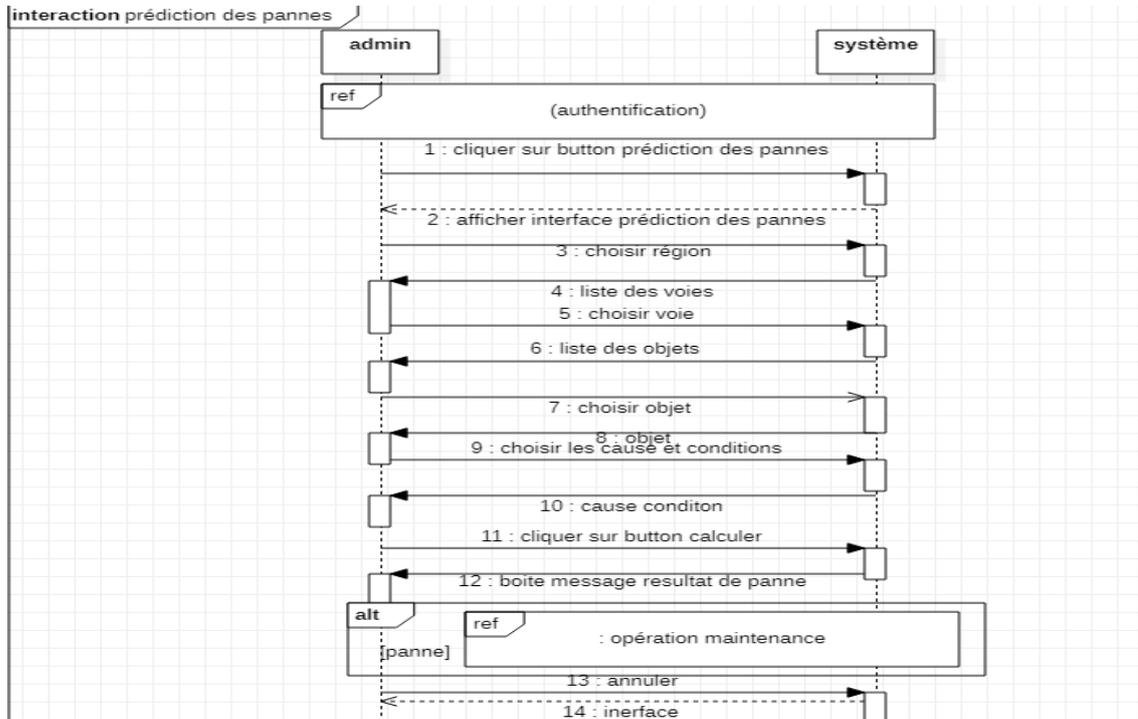


Figure 18: Diagramme de séquence de prédiction des pannes

- **Diagramme de séquence opération de maintenance :**

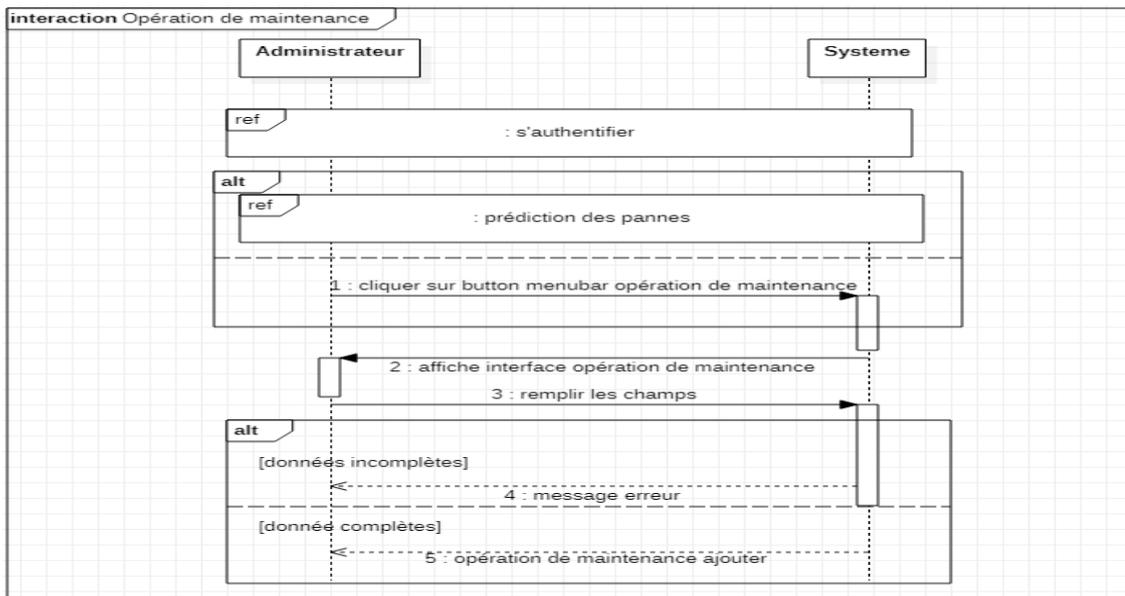


Figure 19: Diagramme de séquence opération de maintenance

3.3 Diagramme d'activité :

Les diagrammes d'activités permettent la représentation graphique des méthodes ou le déroulement des cas d'utilisation. Nous présentons quelques diagrammes d'activités des cas principales de notre système.

- **Prédiction des pannes**

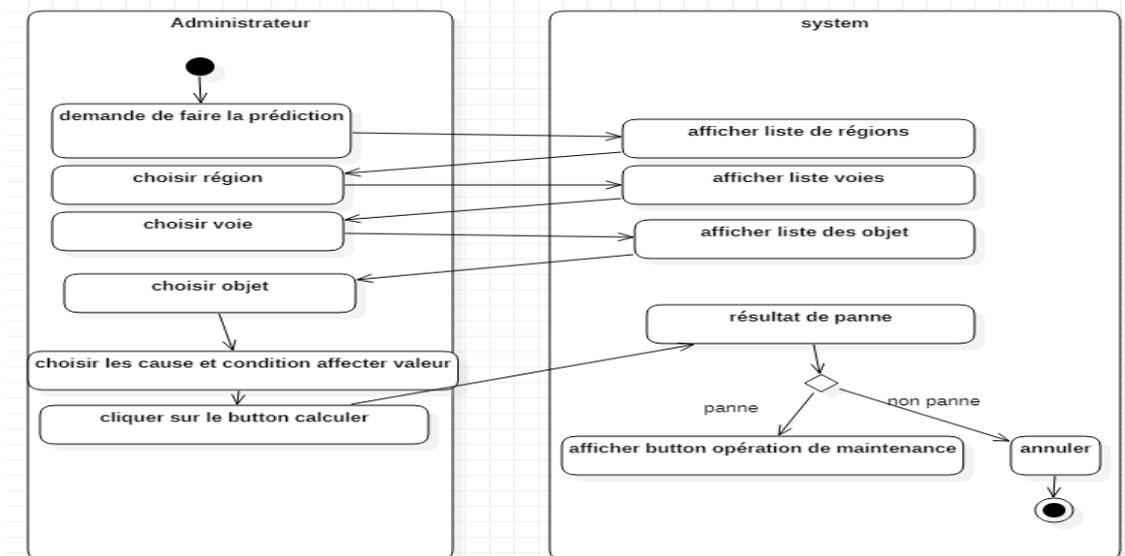


Figure 20: Diagramme d'activité prédiction des pannes

• **Opération de maintenance :**

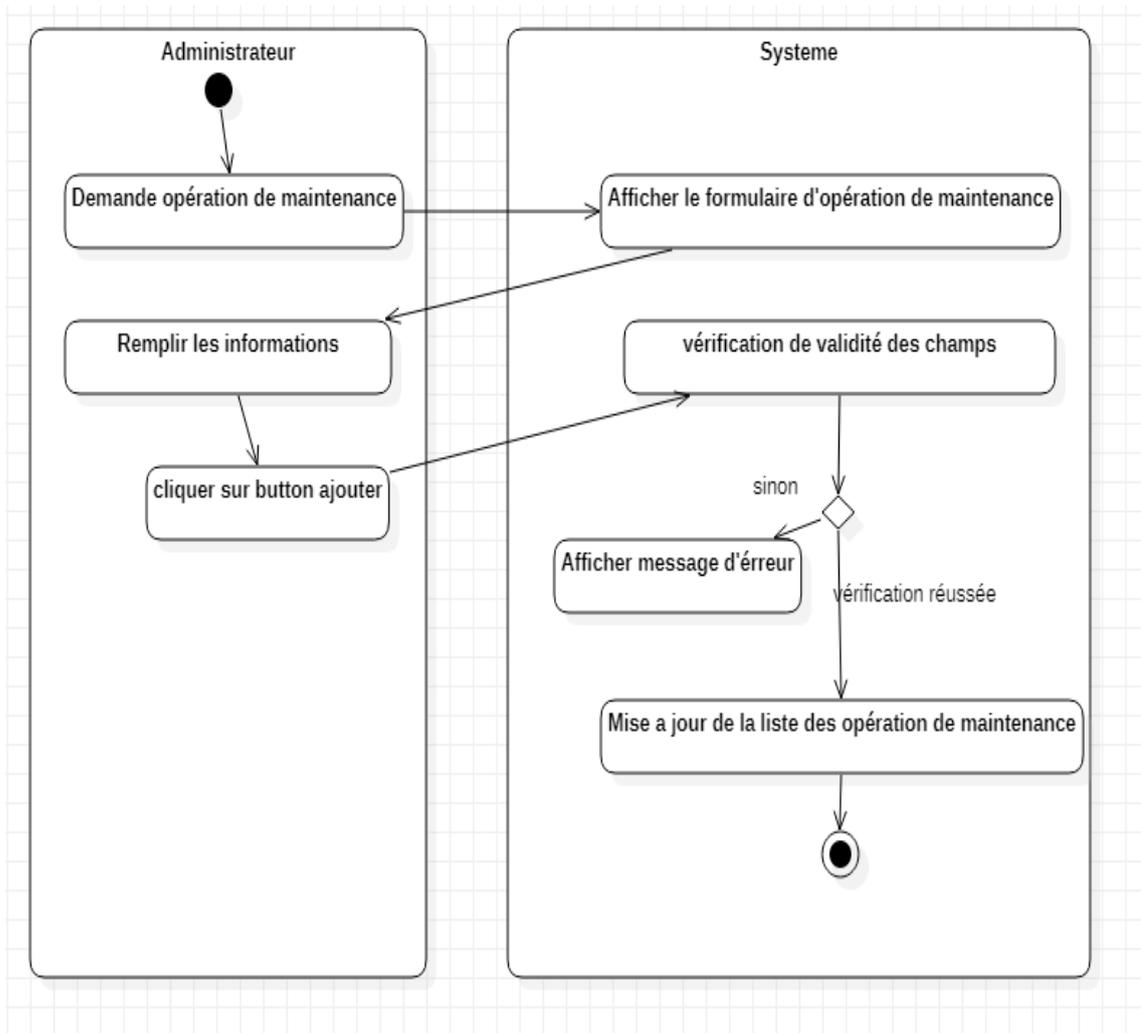


Figure 21: Diagramme d'activité d'opération de maintenance

2.4 Diagramme de classe :

Le diagramme de classe représente de manière statique les classes qui composent notre système, de même qu'une classe décrit un ensemble d'objet, une association écrit un ensemble de liens, les objets sont des instances de classe et les liens sont des instances de relations, les objets contiennent leurs valeurs propres pour chacune de ces caractéristiques lorsqu'ils sont instanciés. (Alain Muller, 2000)

La figure ci-dessous montre le diagramme de classe de notre système :

Chapitre 3 : Etude conceptuelle

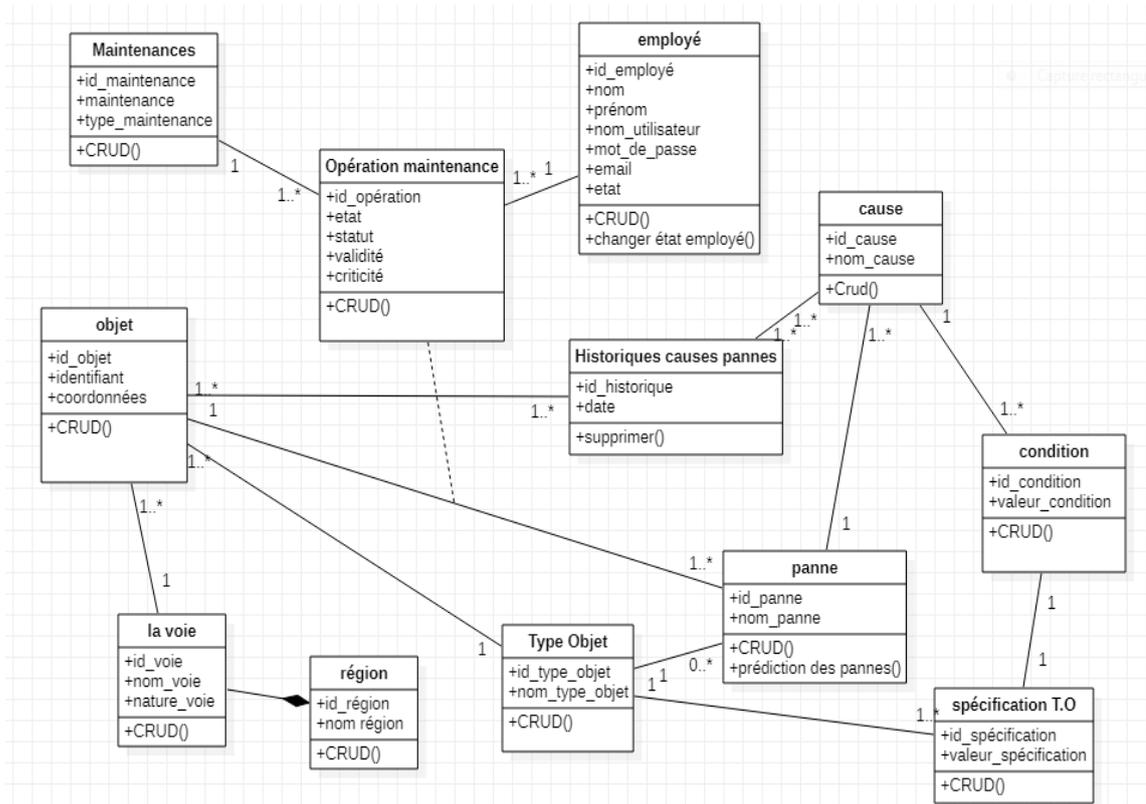


Figure 22: diagramme de classe

Dans le tableau qui suit, sont présentées les différentes classes ainsi que les attributs et leur description.

Les tables	Les champs	Observation
Maintenance	-id_maintenance -maintenance -type_maintenance	-Identifiant de la maintenance. -Le nom descriptif de la maintenance. -Le type de la maintenance.
Opération maintenance	-id_opération -etat -statut -validité -criticité	-Identifiant de l'opération de la maintenance. -L'état de l'opération de la maintenance. -Le statut de l'opération de la maintenance. -La validité de l'opération de la maintenance. -La criticité de l'opération de la maintenance.
Objet	-id_objet -nom_objet -coordonnées	-Identifiant de l'objet. -Le nom descriptif de l'objet. - Les coordonnées d'un objet dans une carte.
Voie	-id_voie -nom_voie	-Identifiant de la voie. -Le nom de la voie.

	-nature_voie	-La nature de la voie.
Région	-id_région -nom_région	-Identifiant de la région. -Nom de la région.
Type objet	-id_type_objet -nom_type_objet	-Identifiant de type d'un objet. -Le nom descriptif du nom de type objet.
Panne	-id_panne -nom_panne	-Identifiant de la panne. -Le nom descriptif d'une panne.
Spécification T.O	-id_spécification -valeur_spécification	-Identifiant de la spécification de type objet. -La valeur de la spécification d'un type d'objet.
Condition	-id_condition -nom_condition	-Identifiant de la condition. -La description de la condition.
Cause	-id_cause -nom_cause	-Identifiant de la cause. -La description de la cause.
Historique cause panne	-id_historique -date	-Identifiant de l'historique -La date de l'historique
Employé	-id_employé -nom -prénom -email -etat	-Identifiant de l'employé -Le nom de l'employé. -Le prénom de l'employé. -L'adresse mail de l'employé. -L'état de l'employé.

Tableau 9:Description des classes de diagramme de classe

3 Création de réseau bayésien :

Dans le cas de la prévention des pannes nous avons présenté notre modèle qui aide à prédire les pannes de l'éclairage public par un réseau bayésien qui permet la représentation des connaissances et le raisonnement à partir de ces représentations.

Les étapes de base de proposition de notre modèle :

- 1- La modélisation de la structure.
- 2- La modélisation des paramètres.
- 3- L'inférence bayésienne.

3.1 L'apprentissage de la structure :

L'objectif de l'apprentissage de structure est de trouver une structure graphique à partir des données disponibles qui représente le mieux un problème. Notre structure a été faite à l'aide d'un expert de l'éclairage public de Métidja de la wilaya de Blida.

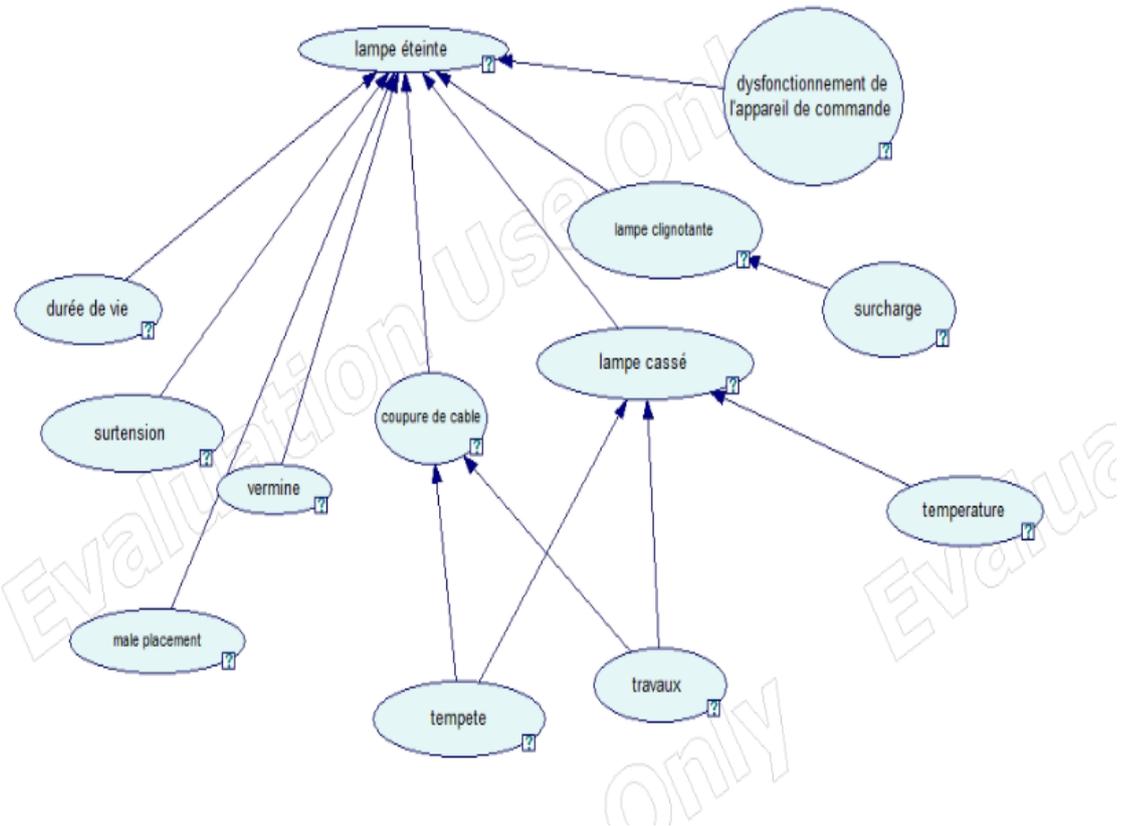


Figure 23: la structure de réseaux bayésien des pannes d'éclairage public

Dans notre système nous avons un ensemble des variables qui représente les pannes et les causes. Les variables sont représentées dans le tableau ainsi que la définition de chaque une des variables :

Nom de nœud	Explication
Tempête	Les dommages causés par la tempête
Travaux	Les accidents qui sont causés par les travaux
Coupure de câble	La coupure des câbles qui transporte l'électricité
Vermine	Les dommages causés par la vermine

Surtension	La haute tension dans les câbles des électricités qui peut endommager des équipements
Surcharge	Elle se produit lorsqu'une quantité trop importante de courant passe dans les fils électriques, qui peut causer un échauffement des fils électriques et à des risques d'incendie.
Durée de vie	La durée de vie d'un équipement
Lampe cassé	Lampe cassé
Lampe clignotante	La lampe qui s'allume et s'éteint alternativement
Dysfonctionnement de l'appareillage de commande	Le mal fonctionnement de l'appareillage de commande ce qui peut arrêter le fonctionnement des équipements
Lampe éteinte	La lampe n'est plus allumer
Male placement	Un male placement des équipements ce qui ne permet pas leurs travaux correctement.

Tableau 10: présentation des nœuds

Chaque variable représente un nœud dans notre réseau bayésien, les causes fils sont relié aux causes pères et les causes fils sont relie aux pannes.

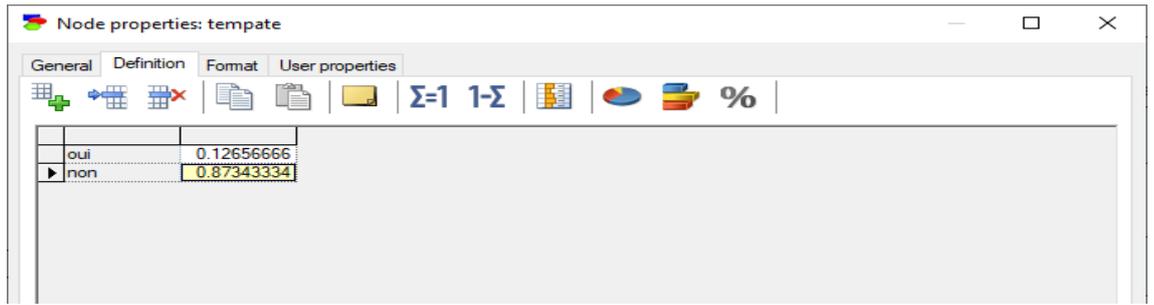
Chaque nœud contient deux probabilités « oui et non »

3.2 La modélisation des paramètres :

Pour compléter notre structure il manque les valeurs des probabilités dans nos tables de notre structure qui a été faite par un expert dans notre cas. À l'aide des experts de l'éclairage public de méridja de la wilaya de Blida que nous avons eu les probabilités des variables de chaque nœud de notre structure. Nous allons présenter quelques tables de cette structure.

Dans le cas où le nœud racine, nous avons le nœud tempête montrer dans l'image :

Chapitre 3 : Etude conceptuelle



oui	0.12656666
non	0.87343334

Figure 24: Paramètre de tempête par expert

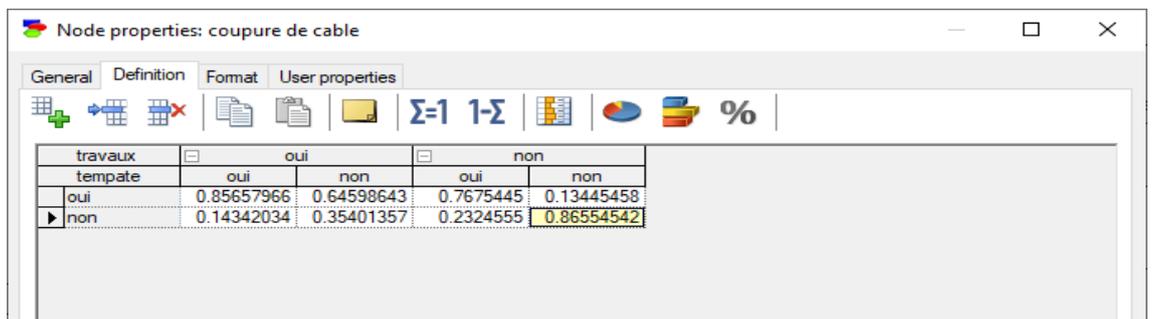
Dans le cas où le nœud a un seule parent, nous avons le nœud lampe clignotante son parent est surcharge.



	oui	non
surcharge	0.77	0.56
non	0.23	0.44

Figure 25: paramètre de lampe clignotante

Dans le cas où le nœud a deux parents, nous avons le nœud coupure de cabales qui a deux parents travaux et tempête.



	oui		non	
travaux	oui	non	oui	non
travaux	0.85657966	0.64598643	0.7675445	0.13445458
tempete	0.14342034	0.35401357	0.2324555	0.86554542

Figure 26: paramètre de nœud coupure de câble

Nous présentons la structure finale après l'apprentissage des paramètres qui a été fait par un expert du domaine dans la figure suivante :

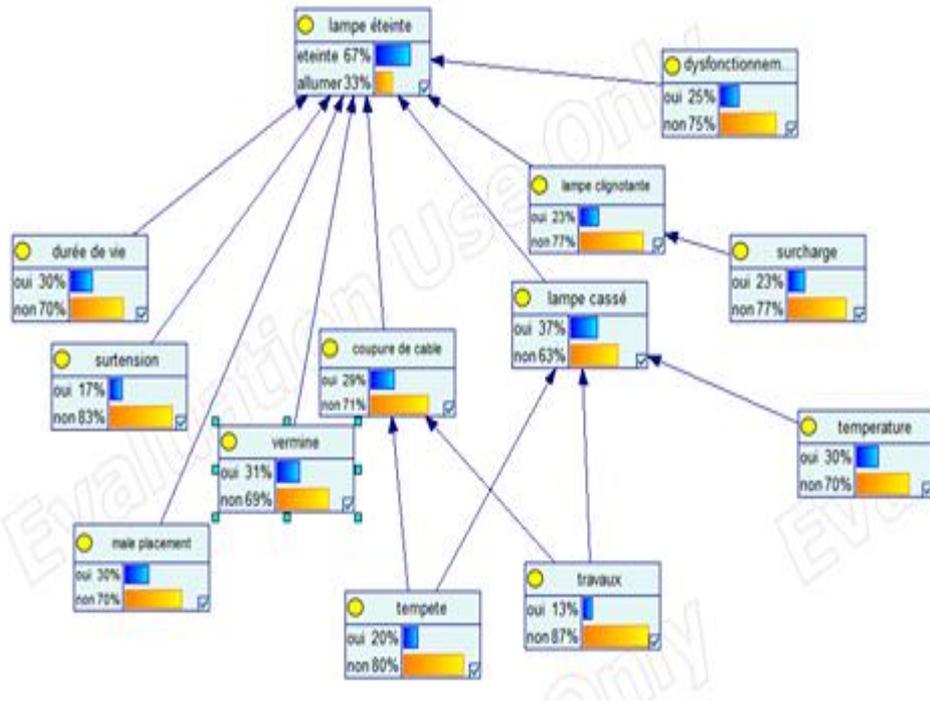


Figure 27: la modélisation des paramètres de RB des pannes d'éclairage public

3.3 Inférence :

Il existe plusieurs algorithmes d'inférence, nous avons utilisé L'algorithme arbre de jonction (clustering) qui est un algorithme exact connu le plus rapide pour la mise à jour des croyances dans les réseaux bayésiens (GeNIe Modeler, 2020)

L'algorithme d'arbre de jonction fonctionne en deux phases :

La première étape est la compilation d'un graphe orienté dans un arbre de jonction, et la deuxième étape est la mise à jour de probabilité dans l'arbre de jonction.

L'algorithme de clustering, comme tous les algorithmes pour les réseaux bayésiens, produit des distributions de probabilité marginales sur tous les nœuds du réseau. Pour exécuter l'inférence utilisant l'algorithme arbre de jonction, il faut obtenir la probabilité de l'évidence actuelle dans le réseau bayésien.

4 Conclusion :

Nous avons décrit la conception de notre système utilisant le langage UML ce qui fournit une base solide pour passer à l'implémentation ainsi que nous avons présenté les processus de construction du réseau bayésien afin d'établir la prédiction des pannes, comme nous avons justifié le chemin sur lequel nous avons marché jusqu'à ce que nous arrivions à nos résultats.

chapitre 4 : Mise en œuvre et réalisation

1 Introduction :

Ce chapitre est basé sur la réalisation et la mise en œuvre de notre application. Nous avons utilisé le JAVA comme langage de programmation. Le système de gestion de base de données est MySQL WORKBENCH et le langage de Manipulation de notre base de données est HQL. Pour la réalisation de notre réseau bayésien nous avons utilisé GeNle.

Enfin nous montrons les principales interfaces et fenêtres de notre application.

2 Les logiciels utilisés :

Pour mettre à bien la réalisation de notre système nous avons travaillé avec ces logiciels :

2.1 NetBeans :

NetBeans est un environnement de développement intégré (EDI), qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). NetBeans open source a été fondé en juin 2000 par Sun Microsystems, NetBeans est écrit en java, il permet de supporter différent langages tels le C, le C++, le JavaScript, le XML, le Groovy, PHP et le HTML, ou d'autres. NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris, Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation. (Netbeans)

2.2 MySQL Workbench :

Est un logiciel qui permet la création la gestion et l'administration des bases de données, il doit être connecté à un serveur MySQL. Il est créé en 2004. Il permet de manipuler les tables (ajout, suppression, modification) via une interface graphique facile à utiliser, il utilise le langage SQL, il est disponible sous Windows, Linux et mac. (MySQL Workbench)

2.3 WampServer :

WampServer est un environnement de développement de web, cette plateforme comporte trois serveurs (Apache, MySQL et MariaDB), WampServer n'a pas besoin des serveurs externe pour fonctionner, il fonctionne localement utilisant ses serveurs.

Il dispose d'un interpréteur de script (PHP), ainsi que phpMyAdmin pour l'administration Web des bases MySQL. (WampServer)

2.4 GeNIe :

GeNIe modéliser est un environnement de développement pour la construction de modèles graphiques de décision théorique. Il a été créé et développé au Laboratoire des systèmes décisionnels de l'Université de Pittsburgh entre 1995 et 2015. Son nom et sa capitalisation inhabituelle proviennent du nom interface de réseau graphique, donné à l'interface simple originale de SMILE, notre bibliothèque de classes pour les modèles graphiques probabilistes et décisionnels.

GeNIe et SMILE ont été développés à l'origine pour être un important outil d'enseignement et de recherche dans des environnements académiques et ont été utilisés dans des centaines d'universités dans le monde entier. GeNIe permet de construire des modèles de n'importe quelle taille et complexité, limitée seulement par la capacité de la mémoire de votre ordinateur.

GeNIe est un environnement de modélisation. Les modèles développés avec génie peuvent être intégré dans toutes les applications sur n'importe quelle plate-forme informatique en utilisant SMILE. (GeNIe Modeler, 2020)

2.5 Jsmile :

Est un fichier composé de deux sections :

La première, est un fichier jar utilisé pour partager une collection de classe java qui préserve des définitions des classes, des métadonnées, composé un programme spécifique aux fonctions et aux méthodes des réseaux bayésiens. Le nom de fichier commence toujours par jsmile combiner avec le numéro de version.

La deuxième est une bibliothèque native avec des caractères spécifiques, qui on peut la distinguer à partir de sa codification « JNI » qui est l'abréviation de java interface native.

Ces deux sections sont prévues spécialement au système d'exploitation. Sur Windows, le nom de fichier de la bibliothèque nommé jsmile.dll, sur Linux est nommé Jsmile So. Parmi les caractéristiques de Jsmile, la plus importante est qui est associable avec les dernières versions de Jdk. (GeNIe Modeler, 2020)

3 Le langage d'implémentation :

3.1 JAVA :

Java est un langage de programmation qui a été créée par l'entreprise Sun Microsystems en 1995, ce langage est une plateforme informatique qui permet la programmation orienté objet qui sert à l'identification des objets tel que chaque objet représente un élément qui doit être utilisé ou manipulé par le programme,

Java est parmi les langages les plus populaires qui permet à créer les applications et les sites web qui peuvent être exploité sur plusieurs systèmes d'exploitation tels que linux, Windows.

3.2 JAVA SERVER FACES :

JSF est un Framework (infrastructure logicielle) qui donne la permission a conception des composants d'interface utilisateur (UI) ré employable, l'accès à la base de données faite d'une façon transparente dans tous les serveurs d'application JSF, qui utilise des listener, des gestionnaires d'évènements et des annotation.

JSF présente un ensemble de classes java peuvent associer des beans gérés, des vues, des facelets, qui sont tous sous un contrôleur. Ce Framework s'exécute avec une seule servlet (face servlet) qui organise le traitement des requêtes http. Comme toutes les applications java web, l'application JSF a un fichier descripteur de déploiement appelé web.xml qui peut contenir aussi un fichier de configuration config.xml qui définir des règles entres les différentes pages web ou de configurer des propriétés de certains java beans. JSF a connu des évolutions, les dernières versions permettent d'utiliser les langages de balises.

4 Les langages de manipulation de bases de données :

Une base de données est le stockage d'un ensemble d'information dans des mémoires d'une manière structuré et organisé, facile et accessible a utilisé qui peuvent être utilisé par des utilisateurs ou programmes différents, afin de faciliter l'exploitation de ces données.

4.1 SQL :

‘Structured Query Language’ est un langage informatique qui permet la manipulation des bases de données de manière facile sécurisé, il est habituellement utilisé pour les systèmes de gestion de bases de données relationnelles ou de flux de données, Il était créé au début des années 1970 par Donald D. Chamberlin et Raymond F. Boyce. (Becker R. , 2020)

4.2 HQL :

‘Hibernate Query Language’ est un langage qui exprime des requetes orienté objet, il ressemble au SQL. HQL manipule les objets persistants et leurs champs, ainsi avec les attributs de classe, différemment au SQL qui fonctionne avec les tables de base de données et leurs colonnes.

Hibernate est un framework capable de décoder les requetes HQL en des requetes SQL s’il nécessite l’accès à la base de données. Il exécute les requetes SQL à l’aide de Native SQL, sauf il est préféré d’utiliser HQL. (Hibernate)

5 Implémentation et tests :

Dans le cadre de ce titre, nous allons monter les résultats de notre implémentation qui s’appuyé sur la conception de notre système, qui est déjà présenté.

5.1 Interfaces :

Nous allons présenter quelques interfaces de notre application.

- **Interface d’authentification :**



Figure 28: Interface authentification

Chapitre 4 : Mise en œuvre et réalisation

Cette interface permet à accéder à l'application si le mot de passe et le nom d'utilisateur sont valides sinon elle envoie un message d'erreur. Après l'authentification, la fenêtre ci-après s'affiche, elle comporte le menu principal où l'utilisateur pourra sélectionner la tâche à effectuer.

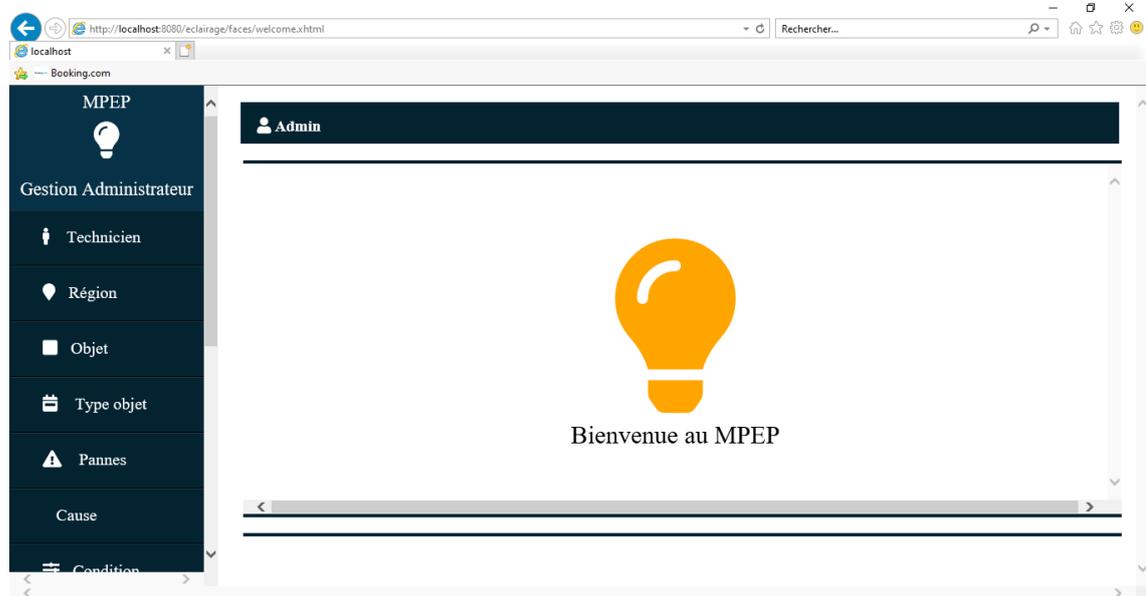


Figure 29: Interface d'accueil

- **Interface de gestion des objets**

Cette interface permet d'ajouter des nouveaux objets en remplissant les champs et appuyant sur le bouton ajouter.

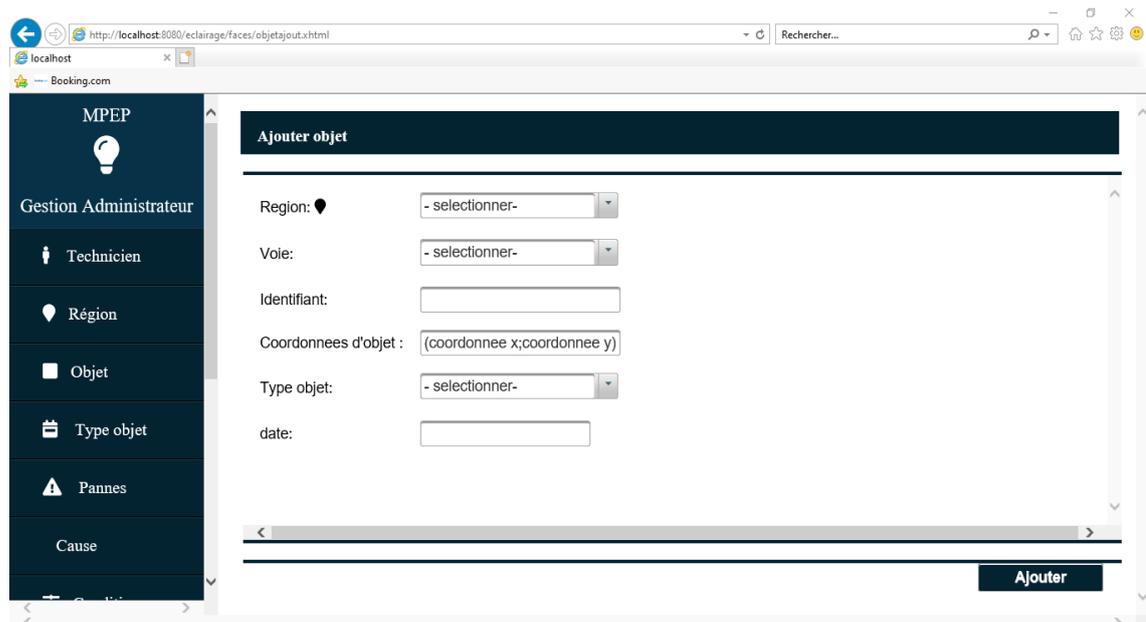


Figure 30: Interface ajouter objet

Chapitre 4 : Mise en œuvre et réalisation

- **Interface gestion des types objet :**

Cette interface permet de créer les types des objets avec l'ensemble des spécifications de ce type elle permet aussi de faire les modifications et la suppression de ces spécifications.

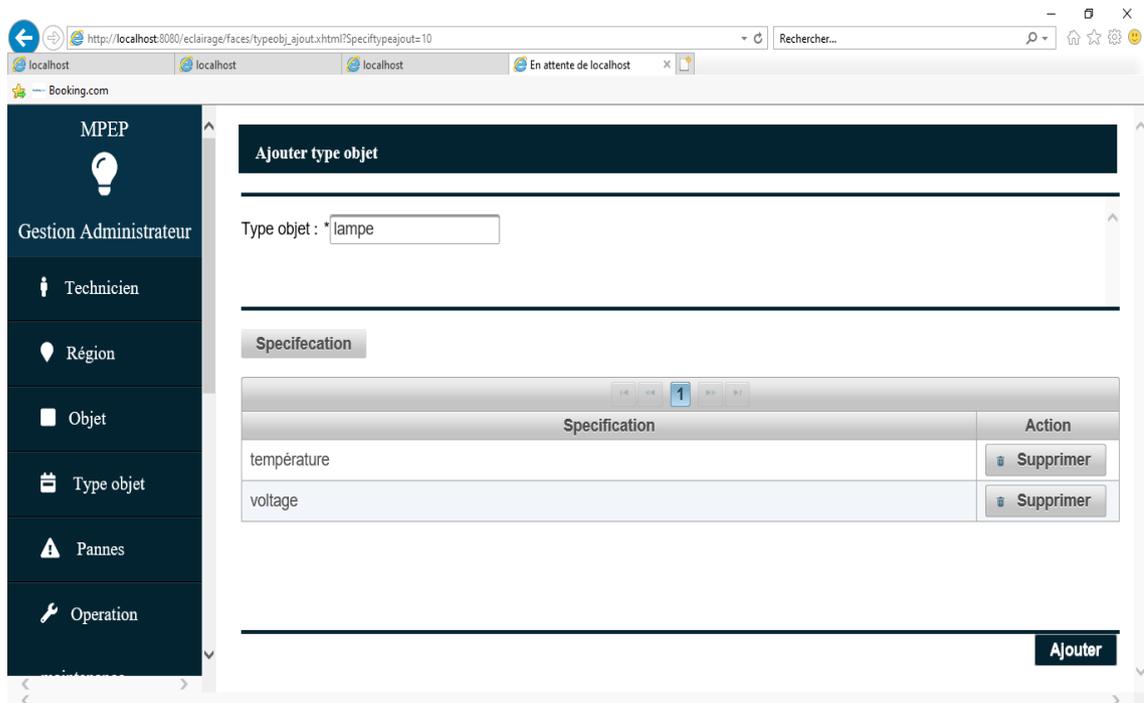


Figure 31: Interface ajouter objet

- **Interface de gestion des pannes :**

Cette interface liste l'ensemble des pannes et permet de faire l'action d'ajouter, modifier et supprimer panne.

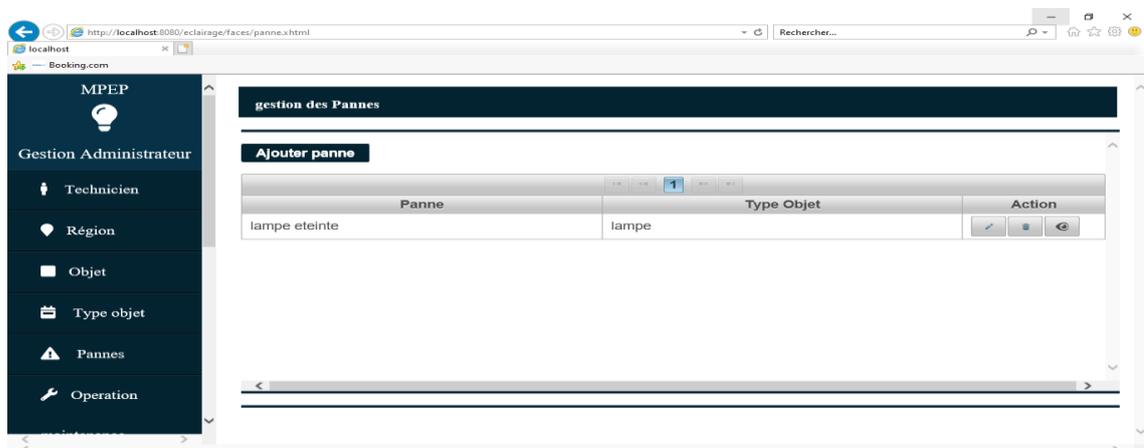


Figure 32: gestion des pannes

Chapitre 4 : Mise en œuvre et réalisation

A l'aide de cette interface nous pouvons consulter la panne et sa liste des causes, ou faire des modifications ou suppression.

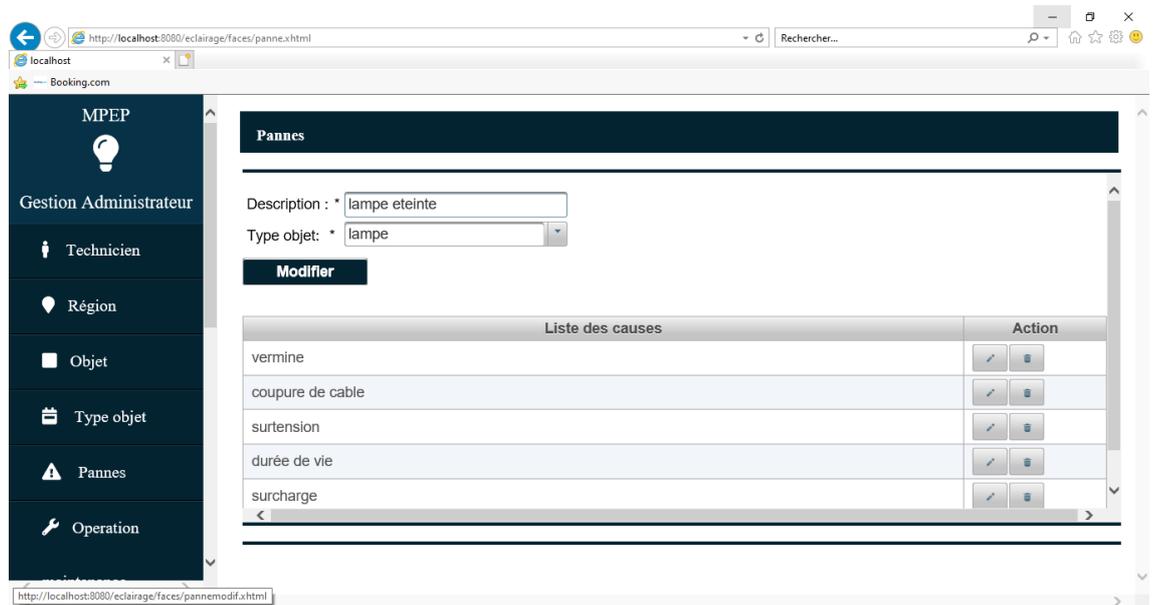


Figure 33: Consulter panne

- **Interface des opérations de maintenance :**

Cette interface affiche la liste des opérations de maintenance, utilisant le bouton ajouter nous pouvons ajouter une nouvelle opération, la consulter ou la supprimer.

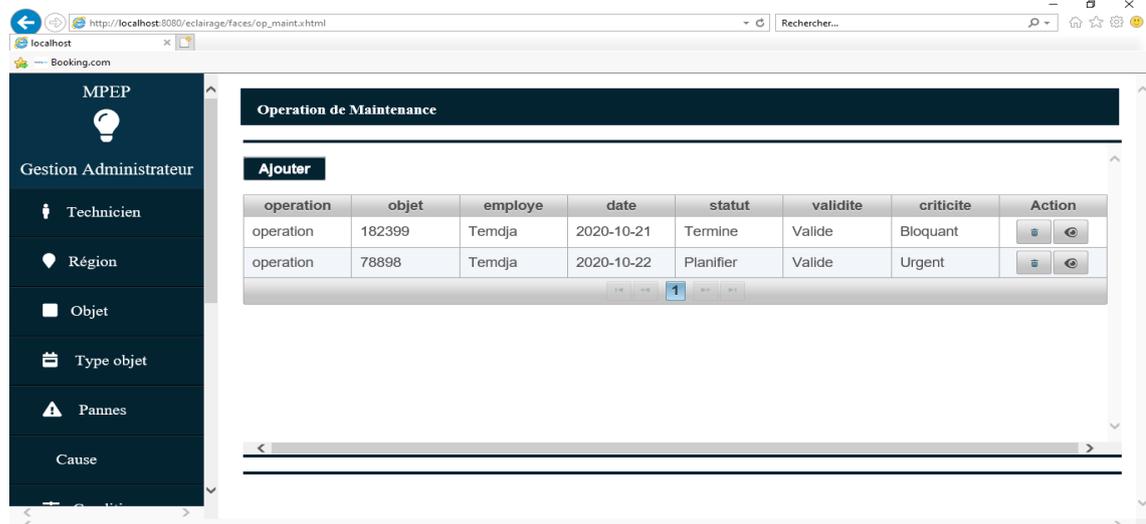


Figure 34: Interface opération de maintenance

Chapitre 4 : Mise en œuvre et réalisation

L'interface ci-dessus permet l'ajout d'une opération de maintenance en remplissant tous les champs qui sont montrés dans la figure.

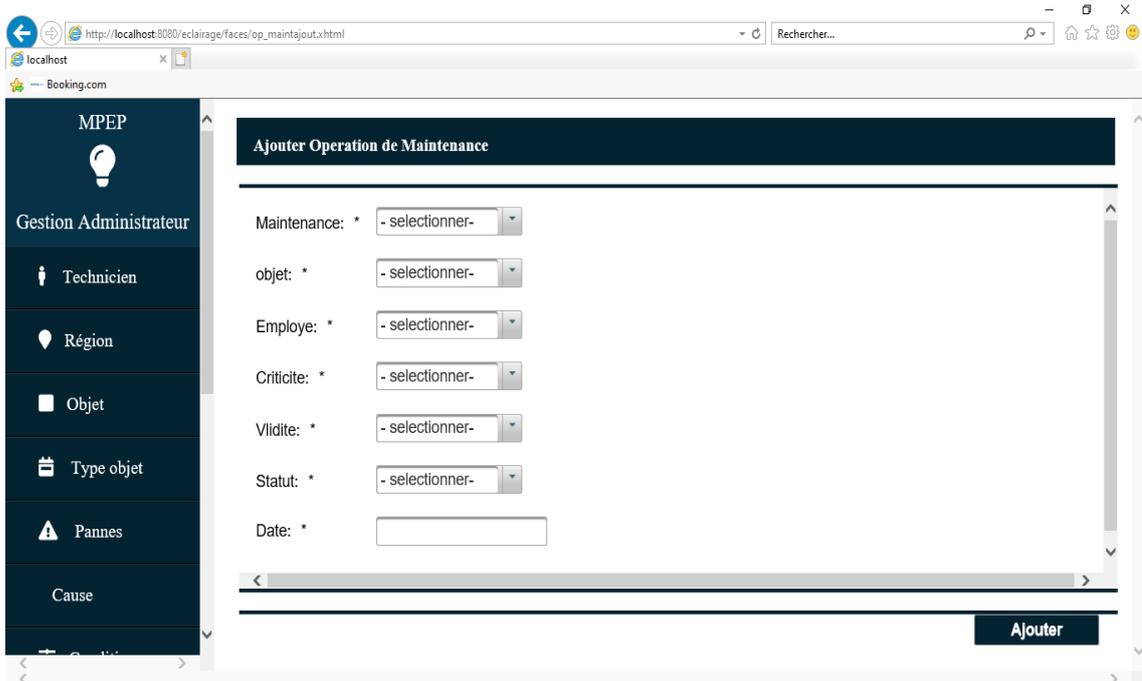


Figure 35: interface ajouter opération de maintenance

- **Interface prédiction des pannes :**

Cette interface permet de calculer l'inférence après avoir rempli les champs des conditions, elle permet de créer une opération de maintenance en passant à l'interface maintenance.

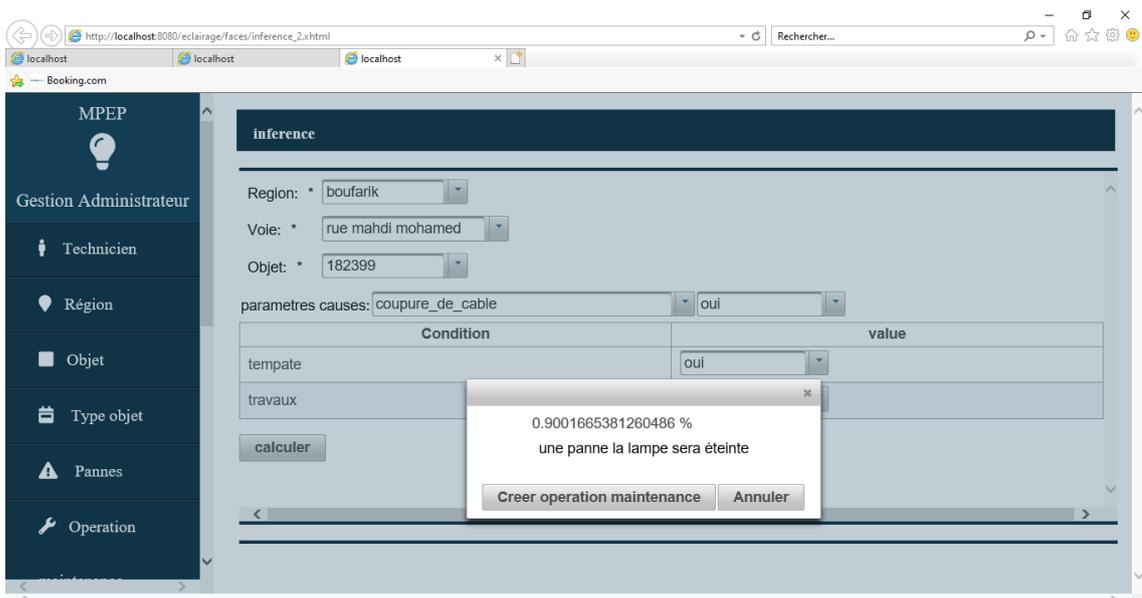


Figure 36: Interface prédiction des pannes

6 Conclusion :

Le but de ce chapitre était de réaliser un outil de gestion des maintenances préventives d'éclairage public.

Comme nous avons déclaré dans le chapitre précédent, nous avons suivi un modèle de développement de logiciels pour mener à bien ce travail, il s'agit du modèle en cascade. Pour cela, dans un premier temps, nous avons présenté l'environnement de développement de notre système. Dans un second temps nous avons mis en évidence une vision détaillée sur le système attachée avec des captures des interfaces d'application prête à être exploitée par les utilisateurs finaux.

Conclusion générale :

La maintenance préventive est un domaine qui est encore dans le point d'exploration, surtout dans notre pays où elle est absolument nécessaire, mais elle est obligée d'attendre un temps non encore spécifique pour paraître dans l'image souhaitée dans différents domaines.

Bien que de nombreux outils informatiques sont disponibles en service de développement des divers domaines. Le plus professionnel de ces outils est l'apprentissage automatique, ce qui nous permis de voir que la classification qui est inclut dans l'apprentissage supervisé est le contenu des algorithmes de prédiction.

Dans ce mémoire, pour faire face à la problématique liée à la maintenance préventive d'éclairage public, et après une vaste étude, nous avons adopté un modèle graphique probabiliste basé sur les différentes sources de données (le réseau bayésien), afin élaborer un système automatisé de prédiction des pannes.

Le principal but de notre travail était de mettre en place une application de gestion de maintenance et de prédiction des pannes. Cet objectif a réussi, nous avons implémenté et testé l'application demandée qui a donné des résultats satisfais.

Malgré le succès rencontré dans l'exécution de notre projet, il est important de noter qu'on a résolu le problème d'une manière statique parce qu'il n'a pas assez d'information pour l'entraînement car nous ne sommes pas arrivés à construire une réelle data sets ce qui signifie que le réseau dans lequel les nœuds sont présumés reste inchangé.

Notre travail peut être la première inspiration pour d'autres projets futur, exactement ce qui dépend d'aide à la décision et les systèmes de prédiction, tel que :

- La représentation des résultats en adaptant une analyse graphique à l'aide des logiciels géographiques.
- L'intégration des techniques de surveillance qui permettent de suivre les anomalies et de suivre leur évolution par la mesure des paramètres significatifs.
- La création d'une application mobile pour les techniciens qui permet de faire des mises à jour et des synchronisations au système indiquant les conditions ou les causes des pannes périodiquement.

Finalement nous espérons que notre application sera généralisée dans tous les domaines surtout en ce qui concerne l'intérêt public.

Bibliographie

- Darlea, L. (2010). *Un Système de Classification Supervisée à Base de Règles Implicatives*. Thèse de doctorat, Université de Savoie, France. Récupéré sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01222735/document>
- AFNOR, N. (2001). *Terminologie de la maintenance. NF-EN* (Vol. 3306).
- Akaike, H. (1974). *A new look at the statistical model identification*. Tokyo, IEEE Transactions on Automatic Control, Japan.
- Alain Muller, P. (2000). *Modélisation objet avec UML* (Vol. 514). (Eyrolles, Éd.) paris.
- Algérie Presse Service. (2018, 03 25). *Alger: l'éclairage public constitue 80% de la consommation énergétique*. Récupéré sur Algérie Presse Service: <http://www.aps.dz/regions/71649-alger-l-eclairage-public-constitue-80-de-la-consommation-energetique#:~:text=Alger%3A%20l'%C3%A9clairage%20public%20constitue%2080%25%20de%20la%20consommation%20%C3%A9nerg%C3%A9tique>,
- Asséraf, A. (2013, octobre 8). *L'éclairage public et le mobilier urbain intelligents*. Consulté le juillet 25, 2020, sur SMART GRIDS-CRE: <http://www.smartgrids-cre.fr/index.php?rubrique=dossiers&srub=eclairage-mobilier-intelligents&action=imprimer>
- Bastien, L. (2020, 3 5). *Machine Learning et Big Data : définition et explications*. Consulté le juillet 25, 2020, sur LE BIG DATA: <https://www.lebigdata.fr/machine-learning-et-big-data>
- Becker, A., & Naim, P. (1999). *les réseaux bayésiens : modèles graphiques*. (Eyrolles, Éd.)
- Becker, R. (2020, mars 27). *Structured Query Language (SQL)*. Consulté le septembre 24, 2020, sur techopedia: <https://www.techopedia.com/definition/1245/structured-query-language-sql>
- Ben Mrad, A. (2015). *Observations Probabilistes dans les Réseaux Bayésiens*. Thèse Doctorat, Université de Sfax École Nationale d'Ingénieurs de Sfax.
- Bouaziz, M.-F. (2012). *Contribution à la modélisation bayésienne de l'état de santé d'un système complexe : Application à l'industrie du semiconducteur*. Thèse de doctorat.
- Brownlee, J. (2020, mars 15). *Difference Between Classification and Regression in Machine Learning*. Consulté le septembre 4, 2020, sur machine learning

mastery: <https://machinelearningmastery.com/classification-versus-regression-in-machine-learning/>

- Christopher, B. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. New York: Springer-Verlag New York.
- Cornuéjols, A., Miclet, L., Kodratoff, Y., & Mitchell, T. (2002). *Apprentissage artificiel : Concepts et algorithmes* (Vol. 638). Paris, France: EYROLLES.
- Daoudi, M., & ICP. (2018). *Guide de maintenance d'éclairage public*. Maghreb: Coopération Municipale-CoMun Gouvernance locale et participative au Maghreb. Récupéré sur <http://www.pncl.gov.ma/Pages/default.aspx>
- Denoeux, T. (2018). Introduction à l'apprentissage automatique. *Introduction à l'apprentissage automatique* (p. 12_14). France: webTV de l'UTC. Récupéré sur https://www.hds.utc.fr/~tdenoeux/dokuwiki/_media/en/utc_sept_2018.pdf
- Francois, O. (2006). *De l'identification de structure de réseaux bayésiens à la reconnaissance de formes à partir d'informations complètes ou incomplètes*. Thèse de doctorat.
- GeNIe Modeler. (2020, 8 27). Récupéré sur <https://support.bayesfusion.com/>
- Giovani, F. (2003). La mobilité quotidienne dans les grandes villes du monde : application de la théorie des réseaux bayésiens. *cybergeo*.
- Hibernate. (s.d.). Consulté le septembre 10, 2020, sur <https://docs.jboss.org/hibernate/core/3.3/reference/en/html/objectstate.html#objectstate-querying>
- Hilali, H. (2009). *Application de la classification textuelle pour l'extraction des règles d'association maximales*. Thèse de doctorat, Université du Québec à Trois-Rivières, Québec. Récupéré sur <http://depote.uqtr.ca/id/eprint/1201/1/030110265.pdf>
- Issarane, H. (2019, 3 1). *Les Algorithmes de Naïves Bayes*. Consulté le 4 28, 2020, sur [Le-datascientist.fr: https://le-datascientist.fr/les-algorithmes-de-naives-bayes](https://le-datascientist.fr/les-algorithmes-de-naives-bayes)
- Ivana, R. (2006). *Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas: Application au diagnostic dans une plateforme d'e-maintenance (Doctoral dissertation)*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté. Récupéré sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00257893/document>

- Kamalesh, G., Ph.D., CFA, CPA, Lefebvre, C. •., MBA, . . . FCGA. (2019, août 14). Introduction à l'apprentissage automatique (MONOGRAPHIE DE CPA NOUVEAU-BRUNSWICK). canada.
- khadach. (2019, 12 18). *Noureddine Yasaa: Un référentiel national doit être développé pour un éclairage public efficace fonctionnant à l'énergie solaire*. Consulté le septembre 14, 2020, sur radioalgerie: <https://www.radioalgerie.dz/news/ar/article/20191218/187359.html>
- Laurent, C. (2006). *contextualisation, visualisation et évaluation en apprentissage non supervisé (Doctoral dissertation)*. Thèse de doctorat, Université Charles de Gaulle - Lille III, Lille. Récupéré sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00617420/document>
- Llaurens, J. (2011). *Mise en place d'un plan de maintenance préventive sur un site de production pharmaceutique*. Doctorat , Université Joseph Fourier faculté de pharmacie de Grenoble. Récupéré sur <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01059490>
- Madsen, A. L., & Jensen, F. V. (1999). *Lazy propagation: A junction tree inference algorithm based on lazy evaluation* (Vol. 113).
- MySQL Workbench. (s.d.). Consulté le 7 4, 2020, sur MySQL Workbench: <https://www.mysql.com/fr/products/workbench/>
- Naïm, P., Wuillemin, P.-H., Leray, P., Pourret, O., & Becker, A. (2002). *Réseaux bayésiens*. (Eyrolles, Éd.)
- Netbeans. (s.d.). Consulté le 7 4, 2020, sur NetBeans : https://netbeans.org/index_fr.html
- Nguyen, H.-T. (2012). *Réseaux bayésiens et apprentissage ensembliste pour l'étude différentielle de réseaux de régulation génétique*. Thèse de doctorat, Université de Nantes.
- Noureddine, R. (2008). *Implémentation de maintenance predictive dans les systeme de production*. Thèse de Doctorat Es Sciences, Université des sciences et de la technologie d'Oran, Oran.
- Olivier, P., & Julien, E. (2006). *Les Réseaux Bayésiens A la recherche de la vérité*. Université Claude Bernard Lyon 1, Lyon.
- PAREN, O., & EUSTACHE, J. (2006). *Les Réseaux Bayésiens*. Université Claude Bernard Lyon 1.

- Patrick , N., Pierre-Henri , W., Philippe , L., Olivier , P., & Anna, B. (2004). *Réseaux bayésiens*. (Eyrolles, Éd.) Paris.
- Prestat, E. (2010). *Les réseaux bayésiens : classification et recherche de réseaux locaux en cancérologie (Doctoral dissertation)*.
- Smail, S. (2013). *Commande de l'éclairage public et mesure de la température à base de pic18f4550*. Université Mohamed Khider Biskra, Biskra. Récupéré sur https://www.memoireonline.com/11/13/7774/m_Commande-de-l-eclairage-public-et-mesure-de-la-temperature--base-de-pic18f45504.html
- Syndicat Mixte d'Action pour l'expansion de la Gâtine . (2011). *Guide L'éclairage public vers éclairage juste*. Gatine. Récupéré sur www.gatine.org
- Uffe B. Kjaerulff , & Anders L. Madsenv. (2008). *Bayesian Networks and Influence Diagrams: A Guide to Construction and Analysis*. New York: Springer.
- WampServer. (s.d.). Consulté le 7 4, 2020, sur WampServer:
<https://www.wampserver.com/>
- Zaabot, Z. (2012). *Les Réseaux bayésiens. application en reconnaissance de formes à partir d'informations complètes ou incomplètes*. Memoire de magister, Université Mouloud Mammeri, Tizi-ouzou.