

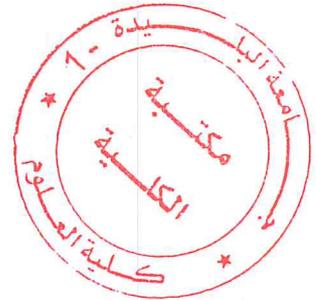
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université SAAD DAHLAB Blida



Faculté des Sciences
Département d'Informatique
Présenté Par :

AMEZIANE Sofiane

BELGHERIB Aziza



Thème : Prédiction des fuites dans les réseaux d'AEP en utilisant les réseaux
Bayésiens

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Master Informatique

Filière : Informatique

Spécialité : Ingénierie du Logiciel

Promotrice : Mme M. Fareh

Président: Chikhi Nacim

2017/2018

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.

En second lieu, Nous tenons à remercier notre promotrice Mme: M. FAREH enseignante à l'université USDB, pour son aide et de nous avoir soutenues durant toute la période du travail.

Nous remercions Mme K. FLICI ingénieur en hydraulique et expert du domaine, et Mr I. RIALI et pour nous avoir aidés et suivis durant la réalisation de ce projet.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.

Au terme de ce mémoire, On tient à remercier toute personne ayant contribué à l'accomplissement de ce travail de prêt ou de loin et qui nous ont été bénéfique durant notre parcours pour la réalisation de ce travail. Finalement, On remercie l'ensemble des enseignants du département d'informatique pour les efforts qu'ils fournissent pour notre réussite dans nos études.

Résumé

Les fuites dans les systèmes de distribution d'eau potable peuvent apporter divers effets négatifs, effets économiques, environnementaux et de sécurité. Par conséquent, prédire la fuite d'eau est l'un des tâches les plus cruciales dans la gestion des ressources en eau; cependant, c'est aussi l'un des plus ceux qui sont difficiles. Les études antérieures sur les fuites se sont concentrées uniquement sur la détection des fuites. Ce travail présente un système pour la prédiction des fuites dans les d'AEP en utilisant les réseaux bayésiens.

Le réseau bayésien construit prend en compte l'incertitude des facteurs liés aux fuites, nous avons commencé par l'apprentissage de la structure, en indiquant les facteurs les plus cruciaux affectant les fuites d'eau ainsi que les relations entre eux, puis l'apprentissage de paramètres pour construire les tables de probabilité conditionnelles de chaque noeud sachant ses parents. Les résultats de cette étude pourraient bénéficier aux services d'eau en l'aidant à minimiser le risque de fuite d'eau. Une étude de cas est présentée dans le secteur de Kouba 117 pour montrer l'efficacité de la méthode proposée, et il peut être étendu pour d'autres wilayas du pays.

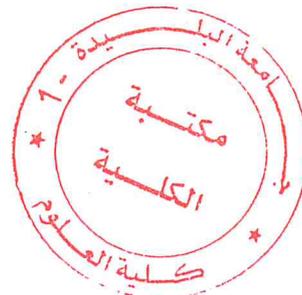
Mots-clés : Réseaux d'AEP, Prédiction de fuite, incertitude, Fuite d'eau, Réseau bayésien.

Abstract :

Leaks in drinking water distribution systems can bring various negative effects, economic, environmental and safety effects. Therefore, predicting water leakage is one of the most crucial tasks in the management of water resources; however, it is also one of the most difficult ones. Previous leak studies have focused solely on leak detection. This work presents a system for leak prediction in AEP using Bayesian networks.

The constructed Bayesian network takes into account the uncertainty of the factors related to the leaks, we started by learning the structure, indicating the most crucial factors affecting the water leaks as well as the relations between them, then the learning parameters to build the conditional probability tables of each node knowing its parents. The results of this study could benefit water services by helping to minimize the risk of water leakage. A case study is presented in the Kuba 117 sector to show the effectiveness of the proposed method, and it can be extended for other wilayas in the country.

Keywords: AEP networks, Leak prediction, uncertainty, Water leak, Bayesian network



ملخص:

يمكن للتسرب في أنظمة توزيع مياه الشرب أن تجلب تأثيرات سلبية مختلفة وتأثيرات اقتصادية وبيئية وسلامة. لذلك، يعد التنبؤ بالتسرب من المياه أحد أهم المهام في إدارة الموارد المائية؛ ومع ذلك، فهي أيضاً واحدة من أصعبها. ركزت دراسات التسرب السابقة فقط على اكتشاف التسرب. يقدم هذا العمل نظاماً لتنبؤ التسرب في AEP باستخدام شبكات بايزي.

وتأخذ الشبكة البايزية المبنية في الاعتبار عدم التيقن من العوامل المتعلقة بالتسريبات، بدأنا من خلال تعلم الهيكل، مما يدل على العوامل الأكثر أهمية التي تؤثر على تسرب المياه وكذلك العلاقات بينهما، ثم معلمات التعلم لبناء جداول الاحتمالات المشروطة لكل عقدة معرفة والديها. نتائج هذه الدراسة يمكن أن تفيد خدمات المياه من خلال المساعدة على تقليل مخاطر تسرب المياه. يتم تقديم دراسة حالة في قطاع كوبا 117 لإظهار فعالية الطريقة المقترحة، ويمكن تمديدها للولاية الأخرى في البلاد.

كلمات البحث: شبكات AEP، التنبؤ التسرب، عدم اليقين، تسرب المياه، شبكة بايزي.

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Introduction générale | 10 |
| Contexte | 10 |
| Problématique | 10 |
| Objectif | 11 |
| Chapitre 1 : Système d'alimentation en eau potable..... | 12 |
| 1. Introduction..... | 13 |
| 2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable..... | 13 |
| Captage d'eau de surface et souterraine..... | 14 |
| Installations des pompages : | 15 |
| Traitement d'eau | 17 |
| 2.3.1 Usine de traitement d'eau..... | 17 |
| 2.3.2 Les différentes étapes de traitement d'eau | 18 |
| 2.3.2 Stockage de l'eau..... | 19 |
| 3. Canalisations et conduites..... | 19 |
| 3.1 Le réseau de distribution | 20 |
| 3.2 Types du réseau de distribution : | 20 |
| 4. Historique d'eau en Algérie | 21 |
| 5. Conclusion | 22 |
| Chapitre 2 : Etudes existantes pour la détection/prédiction de fuites | 23 |
| 1. Introduction..... | 24 |
| 2. Analyse des études existantes pour la détection/prédiction de fuites..... | 24 |
| 2.1. La méthode d'Alberto Martini, 2014 | 24 |
| 2.2. La méthode de Z. Poulakis, 2003..... | 24 |
| 2.3. La méthode de Francis, 2006 | 25 |
| 2.4. La méthode de Mashford, 2009 | 25 |
| 2.5. La méthode de Salam, 2015 | 26 |
| 2.6. La méthode de Leu, 2016..... | 26 |
| 3. Comparaison entre les études existantes..... | 27 |
| 4. Conclusion | 30 |
| Chapitre 3: Les réseaux Bayésiens..... | 31 |
| 1. Introduction..... | 32 |
| 2. Définition d'un réseau bayésien..... | 32 |
| 3. Apprentissage dans les réseaux bayésiens | 32 |

| | |
|---|-----------|
| 3.1. apprentissage de la structure | 32 |
| 3.2. Apprentissage des paramètres..... | 33 |
| 4. L'inférence dans les réseaux bayésiens..... | 35 |
| 4.1. Inférence exacte : | 35 |
| 4.2. Inférence approchée :..... | 35 |
| 5. Domaines d'utilisation principaux : | 36 |
| 6. Les avantages des réseaux Bayésiens : | 37 |
| 7. Conclusion | 37 |
| Chapitre 4 : Conception du Système..... | 39 |
| 1. Introduction..... | 40 |
| 2. La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger..... | 40 |
| 3. Comparaison de notre travail par rapport aux travaux existants..... | 40 |
| 4. Les facteurs de défaillance..... | 41 |
| 5. Principaux facteurs générateurs de fuites..... | 42 |
| 6. Les facteurs de fuites dans le secteur de Kouba 117..... | 45 |
| 7. Facteurs de fuites utilisés | 45 |
| 8. Schéma global du notre système..... | 46 |
| 8.1 Préparation du Dataset (Extraction des facteurs+nominalisation)..... | 48 |
| 9. Construction de réseau bayésien (structure et paramètres)..... | 49 |
| 9.1. L'apprentissage de la structure | 50 |
| 9.1.1Étapes de la construction de la structure du réseau bayésien..... | 50 |
| 9.1.2Structure du réseau..... | 52 |
| 9.2Apprentissage de paramètres | 52 |
| 9.3 Application de l'Algorithme EM | 53 |
| 9.4 Inférence du systemè..... | 54 |
| 10. Conclusion | 55 |
| Chapitre 5 : Implémentation et test du système | 56 |
| 1. Introduction..... | 57 |
| 2. Présentation d'environnement de travail..... | 57 |
| 2.1. Netbeans..... | 57 |
| 2.2. Java : | 58 |
| 2.3. Wampserver | 59 |
| 2.4. Génie..... | 59 |
| 3. Interfaces..... | 60 |
| 3.1 Interface d'entrée | 60 |
| 3.2. Gestion des conduites | 61 |

| | |
|---|-----------|
| 3.3 Gestion du réseau bayésien | 63 |
| 3.3.1. Apprentissage de la structure | 63 |
| 3.3.2. Apprentissage de paramètres..... | 65 |
| 4. Test du système..... | 65 |
| 4.1. Chargement du data set..... | 66 |
| 4.2. Apprentissage de la structure de réseau bayésien | 67 |
| 4.3. Apprentissage des paramètres de réseau bayésien..... | 68 |
| 4.4. Mise à jour du réseau bayésien | 70 |
| 4.4.1 Ajout des nœuds à la structure | 70 |
| 4.4.2. Modification au niveau du nœud | 71 |
| 5. Lancement des requêtes | 73 |
| 6. La validation croisée..... | 75 |
| 7. Conclusion | 77 |
| Conclusion générale :..... | 78 |
| Référence : | 79 |
| annexe :..... | 82 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 2. 1: Tableau comparatif entre les études effectuées | 27 |
| Tableau 3. 1: Tableau explicatif des facteurs..... | 44 |
| Tableau 3. 2: catégorisation des facteurs | 47 |
| Tableau 4. 1: Les nœuds et ses états relatifs. | 69 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. 1: schéma d'un système d'alimentation en eau potable (Adour-Garonne, 2005) | 14 |
| Figure 1. 2: Station de pompage | 17 |
| Figure 1. 3: Schéma d'un réseau de distribution (ramifié à gauche et maillé à droite) (Adour-Garonne, 2005) | 21 |
| Figure 2. 1: Algorithme EM pour le maximum de vraisemblance | 34 |
| Figure 3. 1: schéma global du système | 47 |
| Figure 3. 2: Une capture d'écran de data set..... | 49 |
| Figure 3. 3: Etapes de la construction de la structure du réseau bayésien | 51 |
| Figure 3. 4: structure du réseau bayésien | 52 |
| Figure 3. 5: Etapes de l'exécution de l'algorithme EM | 53 |
| Figure 3. 6: L'application de EM sur un noeud sans père..... | 54 |
| Figure 3. 7: L'application de EM sur un noeud avec 1 seul pere..... | 54 |
| Figure 3. 8 : L'application de EM sur un noeud avec 2 peres..... | 54 |
| | |
| Figure 4. 1 : Netbeans | 57 |
| Figure 4. 2 : Java..... | 58 |
| Figure 4. 3 : WampServer..... | 59 |
| Figure 4. 4: Genie Smile | 60 |
| Figure 4. 5 : Interface principal..... | 61 |
| Figure 4. 6:Gestion des conduites..... | 62 |
| Figure 4. 7: propriétés des conduites | 63 |
| Figure 4. 8: Gestion de réseau bayésien (apprentissage de structure) | 64 |
| Figure 4. 9: apprentissage de paramètres (algorithme EM)..... | 65 |
| | |
| Figure 4.10: Extraction des nœuds depuis le Data set | 66 |

| | |
|--|----|
| Figure 4.11: Ajouter les relations..... | 67 |
| Figure 4.12 : ajouter le titre du réseau bayésien. | 67 |
| Figure 4.13: structure de réseau bayésien | 68 |
| Figure 4.14: mettre à jour les tables de probabilités. | 69 |
| | |
| Figure 4.15: réseau bayésien RBEP..... | 69 |
| Figure 4.16: création des nœuds avec les états et relations..... | 70 |
| Figure 4.17: Le nœud ajouté dans le réseau bayésien..... | 71 |
| Figure 4.18: Supprimer un état du nœud | 71 |
| Figure 4.19 : L'ajout d'un nouvel état | 72 |
| Figure 4.20: Supprimer un état du nœud | 72 |
| Figure 4.21: L'ajout d'un nouvel état | 72 |
| Figure 4.22: Tester une conduite de la base de données..... | 73 |
| Figure 4.23: Test de conduite aléatoire..... | 74 |
| Figure 4.24: Résultat du test | 74 |
| Figure 4.25: calculer la précision du system..... | 76 |
| Figure 4.26: Précision du système | 77 |

Introduction générale

Contexte

Un système d’Alimentation en Eau Potable (AEP) constitue l’ensemble d’ouvrage et d’équipement permettant d’acheminer l’eau de la source jusqu’aux consommateurs, à savoir : l’ouvrage de stockage (réservoirs, châteaux d’eaux) et enfin réseau de distribution.

Pour répondre aux exigences de consommations (c’est à dire assurer une bonne desserte d’eaux en termes de quantité et de qualité, avec une pression suffisante) un bon dimensionnement des ouvrages cités ci-dessus est nécessaire.

Les réseaux de distributions constituent une partie très importante dans un système d’AEP, vu qu’ils sont liés directement aux points de consommation selon la topographie de la zone à desservir, ces réseaux peuvent avoir différentes formes : maillé ou ramifié ou combiné.

Le dimensionnement d’un réseau de distribution revient à déterminer les besoins en eaux (le débit moyen journalier) pour toutes les catégories de consommations (domestiques, industrielles, publiques, touristiques...,etc.) de plus, le dimensionnement d’un réseau est différent selon le type de celui-ci, il est d’autant plus complexe pour le cas des réseaux maillés surtout lorsqu’il s’agit de grandes villes, néanmoins, il existe maintenant des logiciels qui permettent de faire la simulation pour n’importe quel type de réseau, même les plus complexes (les plus répandus EPANET et WATERCAD).

La continuité de l’approvisionnement en eau potable, ne repose pas uniquement sur le bon dimensionnement d’un système d’AEP, mais aussi sur la bonne gestion, parmi les fonctions principales d’un gestionnaire des réseaux nous avons la détection des fuites d’eaux et leurs réparations.

Problématique

Les fuites constituent un problème capital dans le domaine de l’alimentation en eau potable, elles représentent non seulement des pertes économiques (le cout de l’eau elle-même, de son traitement et de son transport), mais aussi, l’endommagement du réseau (érosion des conduites, rupture des canalisations...),endommagement des fondations des

Introduction générale

routes ou des bâtiments, ajoutons à cela les risques pour la santé publique (les contaminants pouvant s'infiltrer dans les conduites par les endroits où l'eau s'échappe lorsque la pression baisse dans le réseau).

Pour cela, plusieurs méthodes de localisation des fuites ont été développées, l'inconvénient de ces méthodes est qu'elles sont applicables uniquement pour localiser les fuites existantes, donc on ne peut pas s'échapper des dégâts qui peuvent être causés au moment d'apparition de la fuite et de sa réparation.

Objectif

A cet effet, pour minimiser les risques liés aux fuites, il est très intéressant de prédire celles-ci avant même leur apparition dans le réseau, cela permettra d'intervenir dans les meilleurs délais (en remplaçant les tronçons présentant un risque de fuite).

Les réseaux Bayésiens sont un outil souple et performant de gestion de l'incertitude. Un des principaux avantages de RB est leur capacité de gérer l'incertitude : cela permet de représenter les informations incertaines avec une manière très lisible et claire et offre des techniques puissantes d'inférences Bayésiennes qui consistent à propager une ou plusieurs information (valeurs probabilistes) dans le réseau pour en déduire comment ceci intervient sur les probabilités d'autre variables. Cette inférence est appelée « mise à jour » des probabilités.

Actuellement, les réseaux Bayésiens ont reçu une large application dans les différents domaines, dans ce travail, nous utilisons les réseaux bayésiens pour concevoir et réaliser un système de détection des fuites dans les d'AEP.

Chapitre 1 : Système d'alimentation en eau potable

Satin

1. Introduction

Qu'elle soit souterraine où qu'elle provienne du fleuve, d'un lac ou d'une rivière, l'eau qui sert à l'approvisionnement en eau potable est essentielle, mais avant de pouvoir la consommer, il faut d'abord s'assurer qu'elle soit potable, puis l'acheminer au robinet de chaque consommateur. Tout un système existe pour faire en sorte que cette eau provienne d'une source de la meilleure qualité possible et qu'elle reste potable de son traitement jusqu'au robinet.

Dans ce chapitre on se propose de mettre le point sur les différents éléments nécessaires pour la conception et le dimensionnement d'un système d'Alimentation en Eau Potable (AEP).

2. Présentation générale d'un système d'alimentation en eau potable

Un système d'alimentation en eau potable est un ensemble d'infrastructures et d'installations nécessaires à satisfaire tous les besoins en eau potable d'une zone urbaine et industrielle.

L'objectif principal d'un système d'AEP est de transporter l'eau depuis la source jusqu'aux consommateurs et de garantir en permanence à chaque usager une desserte correspondante à ses besoins c'est-à-dire il doit être fiable et durable pour pouvoir répondre aux exigences des consommateurs (une quantité d'eau suffisante, d'une qualité conforme à la réglementation, dysfonctionnements minimaux et à une pression correcte).

Le transport de l'eau de la source jusqu'aux points de consommations, nécessite de nombreuses infrastructures (Figure 2-1.1), à savoir :

- les ouvrages de captage,
- les stations de pompage,
- les ouvrages de traitement,
- les réservoirs (ouvrages de stockage),
- les canalisations et les conduites

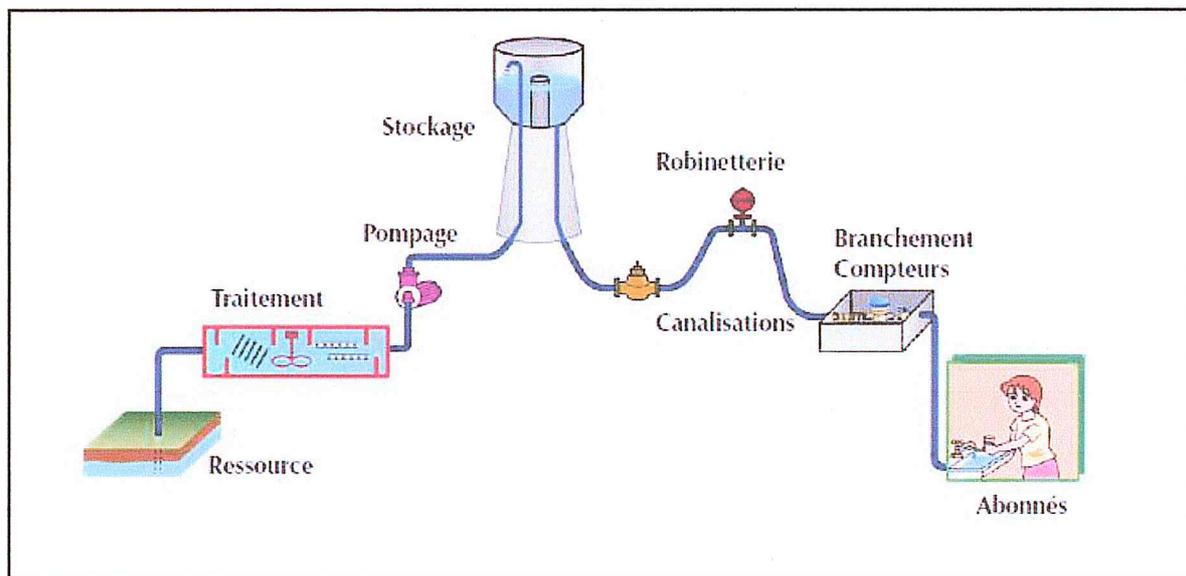


Figure 1. 1: schéma d'un système d'alimentation en eau potable (Adour-Garonne, 2005)

Captage d'eau de surface et souterraine

L'eau destinée à être traitée puis distribuée dans les réseaux publics doit être prélevée, par la ressource la plus proche de l'agglomération qu'on veut alimenter.

La ressource est une eau à l'état brute, elle peut avoir diverses origines,

- **Une eau superficielle :**

L'eau qui se trouve dans les rivières, dans les barrages, ou dans les lacs.

- **Une eau souterraine :**

L'eau prélevée, soit par captage de sources, soit par des puits ou des forages dans des vastes nappes d'eau souterraine (qui sont alimentées par l'infiltration directe des eaux de pluie ou par celle de l'eau de ruissellement ou d'accompagnement de rivières), elles sont généralement de meilleure qualité que les eaux de surface et ne nécessitent pas un traitement complexe.

Le choix de la ressource s'effectue en fonction du couple quantité/qualité. Nous prenons en compte, la disponibilité des ressources (y a-t-il une nappe ou un cours d'eau capable de fournir les débits nécessaires à la satisfaction des besoins ?) et la qualité des ressources ; il est évident qu'on utilise en premier lieu les ressources les moins polluées et les moins vulnérables pour la production d'eau potable. (Loire-Bretagne, 2014), mais leurs caractéristiques

physico-chimiques varient en fonction de site, on doit, dans chaque cas, faire une étude pour déterminer quel traitement sera nécessaire pour rendre l'eau potable.

Installations des pompages :

Dans un système de distribution d'eau potable, l'eau peut être pompée à plusieurs reprises:

- * Entre la ressource et la station de traitement,
- * Entre la station de traitement et l'ouvrage de stockage (réservoir),
- * Pour desservir directement certains usagers.

➤ L'emplacement de l'usine élévatoire

L'emplacement de l'usine élévatoire (station de pompage) dépend du type de captage :

- **Captage d'une source :** si le point d'eau est proche de réservoir, la station de pompage est implantée à proximité du point d'eau. Si le point d'eau est éloigné du réservoir, une étude spécifique doit être menée, tenant compte de la topographie des lieux.

- **Captage d'un puits :** dans le cas d'un puits unique, l'usine élévatoire est édifiée au-dessus de l'ouvrage.

- **Captage d'eau de surface :** l'usine élévatoire fait alors partie des installations générales de captage et de traitement.

- **station de pompage**

Une fois l'emplacement de l'usine est déterminé, il se pose le problème de son aménagement. L'usine élévatoire, ou station de pompage, regroupée dans un même bâtiment:

- **La salle d'arrivée d'eau,** encore appelé bache d'arrivée ou bache d'aspiration (position 1, figureI.2). Cette bache recevra l'eau en provenance d'une source, d'une installation de filtres ou d'un réseau de puits.

- **La salle des machines** (position 2, figure I.2).

Cette salle commandera toute l'organisation, son dimensionnement est donné par l'encombrement des groupes Moto-pompes ainsi que par celui des canalisations et de leurs pièces de raccord.

Le groupe électropompe est défini par le débit qu'il doit élever et par la hauteur manométrique totale (la somme hauteur géométrique d'aspiration + hauteur de refoulement + pertes de charges). En ce qui concerne les groupes de pompage, les pompes centrifuges sont les plus utilisées. Accouplées à des moteurs électriques, elles constituent des groupes légers et peu encombrants. Leur couplage peut s'effectuer en série ou en parallèle.

- **la salle réservée aux installations électriques** : Cette salle sera accolée à la salle des machines, mais restera distincte de celui-ci. Elle comportera une salle des transformateurs et une salle des commandes (3).

- **La stérilisation et le comptage** (4),

Cette salle n'aura aucune communication avec la salle des machines en raison des corrosions possibles par les agents stérilisants. L'accès s'effectuera donc, aussi par l'extérieur.

Le comptage s'effectuera, soit au moyen d'un compteur, soit, de préférence, à l'aide d'un venturi ou d'un diaphragme, montés sur la conduite de refoulement.

- **Les annexes** : magasin(5) : atelier installations sociales, bureau, etc... (BLÏNDU, 2004)

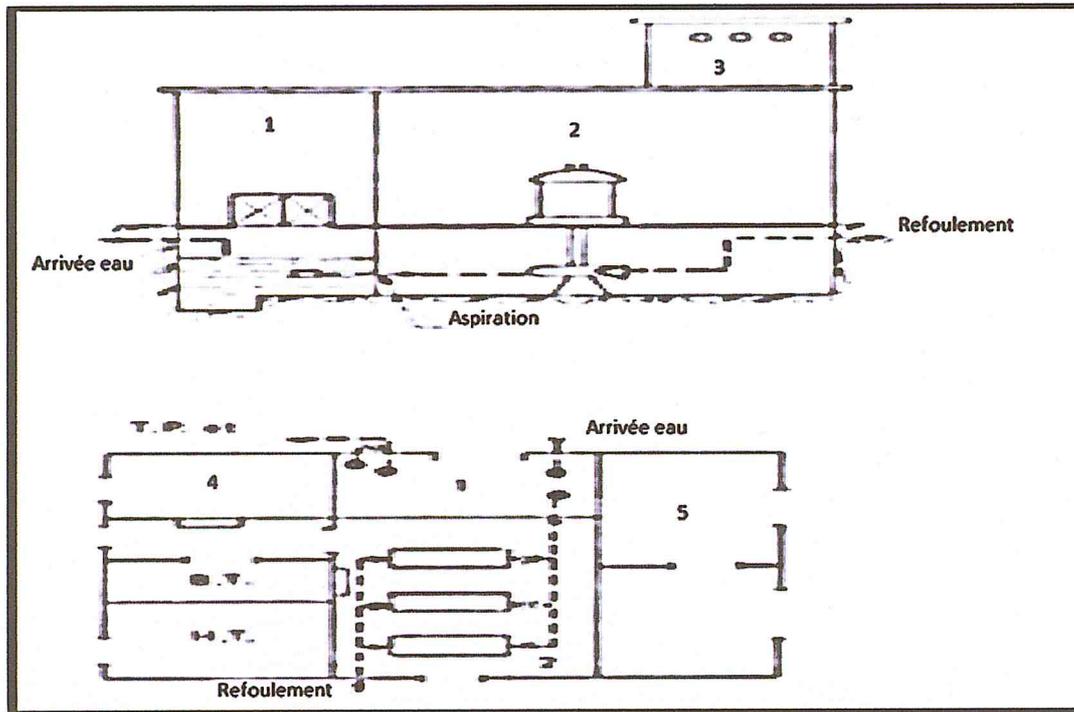


Figure 1. 2 : Station de pompage

Traitement d'eau

La qualité de l'eau brute est variable suivant son origine (eau de surface ou souterraine) et suivant les saisons. Pour la rendre potable, elle subit un traitement avant distribution. Il peut s'agir d'une usine de traitement complexe pour les eaux de surface ou de traitement plus simple pour les eaux souterraines.

2.3.1 Usine de traitement d'eau

Tout d'abord, toute utilisation d'eau de surface nécessite, avant son captage, une étude aussi complète que possible, surtout la composition de l'eau à traiter. L'étude portera également sur les affluents amont qui alimentent la rivière, le barrage ou le lac. Elle sera effectuée au minimum sur un cycle climatique complet et, même, sur plusieurs années, Ces observations sont indispensables pour définir correctement le mode de traitement à préconiser.

Enfin, il faudra compléter l'étude par des observations sur les débits, les hauteurs maximales atteintes pendant les crues, la nature des exploitations industrielles d'amont ainsi

que les dangers de pollution pouvant provenir du rejet de leurs déchets à la rivière, etc. Les pollutions éventuelles d'agglomérations ou d'industries riveraines seront recherchées jusqu'à 10 km en amont de la prise envisagée (BLÏNDU, 2004).

2.3.2 Les différentes étapes de traitement d'eau

Le traitement d'eau dans un système d'AEP passe par les étapes suivantes :

- **La clarification** : Dans la clarification, on s'efforce de déstabiliser les matières colloïdales qui sont des molécules qui ne s'agglomèrent pas naturellement et de réduire ou d'éliminer les matières en suspension.

Elle se fait par trois étapes :

- * **La coagulation** : elle consiste à ajouter des substances ioniques (coagulants, sels de fer et d'aluminium), capables d'annuler les forces répulsives qui maintiennent les particules éloignées les unes des autres. (Loire-Bretagne, 2014)

- * **La floculation** : résulte de l'agglomération des matières colloïdales. Une agitation mécanique favorise le grossissement des particules jusqu'à former des flocons. (Loire-Bretagne, 2014).

- * **La décantation** : Elle permet d'éliminer les matières en suspension et les flocons par gravité. Le mélange eau/flocons entre dans le décanteur à vitesse réduite de façon à éviter les turbulences. Les particules alourdies se déposent au fond de l'ouvrage et l'eau clarifiée est récupérée dans des goulottes, en surface. On peut favoriser la clarification par entraînement des particules en surface, c'est la flottation (entraînement en surface par des bulles d'air).

- **La filtration** : permet de retenir les matières en suspension qui n'ont pas été piégées lors de l'étape de clarification. à travers une ou plusieurs couches de sable calibré qui retient les matières en suspension et laisse passer l'eau filtrée. Le filtre peut au même temps jouer le rôle d'un support bactérien permettant un traitement biologique, c'est-à-dire une consommation des matières organiques et de l'ammoniaque par les bactéries qui se sont développées sur le sable.

- **La désinfection** : l'objectif de ce traitement est d'éliminer les microorganismes présents dans les eaux, susceptibles d'être pathogènes (qui peuvent causer une maladie). Pour cela, on utilise l'oxydation chimique, avec des oxydants comme le chlore, le bioxyde de

chlure, l'ozone ou bien encore les rayonnements ultra-violets (pour protéger l'eau lors de son transport jusqu'à l'utilisateur.) (Loire-Bretagne, 2014)

2.3.2 Stockage de l'eau

Après traitement et avant distribution l'eau traitée est stockée dans des réservoirs ou dans des châteaux d'eaux qui permettent de gérer les pointes de consommation, selon le relief et l'importance de l'agglomération à desservir.

Pour pouvoir satisfaire à tout moment la demande en eau potable des abonnés, Il existe aussi une réserve de sécurité en cas d'incident sur le réseau ou de hausse anormale de la consommation. (Veolia)

3. Canalisations et conduites

La distribution de l'eau potable jusqu'au consommateur s'effectue par un réseau souterrain de canalisations. On distingue les canalisations d'adduction, destinées au transport des gros débits (entre le captage et l'ouvrage de stockage) et le réseau de distribution, assurant la desserte vers tous les utilisateurs (entre l'ouvrage de stockage et les consommateurs). Les matériaux les plus couramment utilisés sont la fonte, le polyéthylène, l'acier, le béton. Les diamètres varient de 20 mm pour les branchements jusqu'à plus de 2 mètres pour les canalisations d'adduction des très grands centres urbains.

Un système d'Alimentation en eau potable est composé donc de deux parties :

- * Une partie adduction
- * Une partie distribution

La partie adduction : c'est l'ensemble d'équipements et de canalisations permettant de transporter l'eau de la ressource jusqu'au réservoir de stockage ;

La partie distribution : c'est l'ensemble d'équipements et de conduites permettant d'acheminer l'eau de réservoir de stockage jusqu'aux points de consommations.

3.1 Le réseau de distribution

Du réservoir de stockage sort une conduite principale de gros diamètre. Celle-ci, en se prolongeant le long des rues de l'agglomération forme un ensemble de conduites maîtresses.

Sur chacune de ces dernières, sont branchées des conduites de diamètres moindres dites conduites secondaires, tertiaires, etc.

L'ensemble de toutes ces différentes canalisations avec l'ensemble des équipements qui les accompagnent forment le réseau de distribution. C'est l'infrastructure la plus importante du réseau globale, car il s'étend sur toute la surface de l'agglomération.

3.2 Types du réseau de distribution :

Le type du réseau de distribution dépend de la configuration de l'agglomération. Deux géométries de réseau sont possibles : réseau ramifié ou réseau maillé (figure I.3).

- **Le réseau ramifié** : il est appelé ainsi car il possède une structure d'arbre. Pour ce type de réseau, à partir d'une conduite centrale, on met en relation plusieurs canalisations secondaires, tertiaires, ...etc. jusqu'à chaque compteur individuel. Un tel système présente un grave défaut ; dans une conduite donnée, l'eau circule toujours dans le même sens. Donc, une panne dans la conduite entraîne la perte de service pour tous les usagers situés en aval.

- **Le réseau maillé** : ce type de réseau est constitué de boucles. Le sens de l'écoulement varie fréquemment selon la demande de certaines conduites. En effet, le nombre d'abonnés non desservis en cas de panne ou de réparation est réduit au maximum puisque l'eau peut atteindre un même point par plusieurs chemins.

L'autre intérêt est que la vitesse d'écoulement de l'eau est rarement nulle, ce qui offre l'avantage de maintenir la bonne qualité de l'eau distribuée.

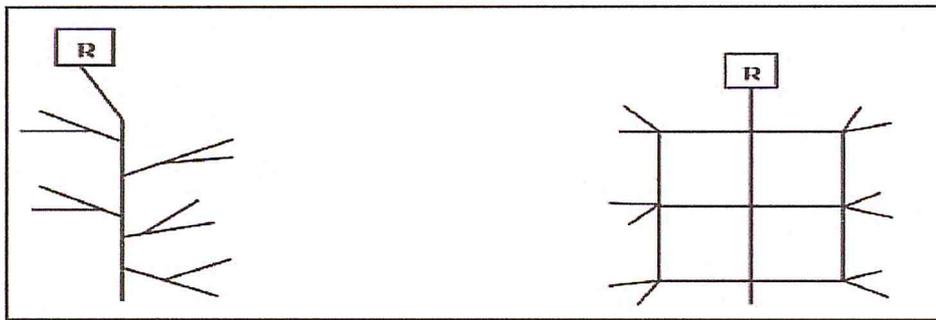


Figure 1. 3: Schéma d'un réseau de distribution (ramifié à gauche et maillé à droite) (Adour-Garonne, 2005)

4. Historique d'eau en Algérie

Les fuites d'eau en Algérie sont dues, essentiellement, à l'érosion des conduites d'eau et ce en raison de la vétusté des réseaux de distribution dont l'installation remonte à l'ère coloniale française, implantés à l'échelle national dans les villes et villages.

Vu l'évolution démographique, la population algérienne qui était en 1954 de 8450000 habitants st passé en 1967 à 12600000 et à 17600000 au 1er janvier 1977 et plus de 40000000 d'habitants actuellement(A. benachenhou 1962-1980) ce qui exige des besoins pressants en eau potable à satisfaire.vu l'extension des agglomérations par implantation des infrastructures de base: construction de structures social culturel économique touristique à travers le pays dont le cadre de planification de l'état pour faire face aux besoins de la population dans cet optique et améliorer leurs conditions de vie, il est à signaler ,après l'an 2000,l'état à procéder à la rénovation des réseaux d'AEP et ce à dessein de mettre un terme au problèmes de fuites d'eau mais en vain malgré celle-là ce problème se pose toujours est persiste à ce jour en cause d'autres facteurs contrairement au temps précédent pendant q' il existait un seul facteur à savoir la vétusté des conduites.

Pour ce faire, il y'a lieu de recourir à l'application de réseau bayésien pour prédire les fuites d'eau potable et par conséquent éviter d'éventuel problèmes d'eau tels que : coupures d'eau fréquentes, manques d'eau.

5. Conclusion

L'eau potable n'est pas tout à fait qu'un "bien du ciel" (Loire-Bretagne, 2014), pour arriver jusqu'aux consommateurs, elle a subi une série de traitements complexes, ensuite elle emprunte un circuit fait de multiples ramifications qui la conduit le plus souvent de l'usine de production d'eau potable jusqu'au réservoir de stockage, puis de ce dernier, jusqu'à nos robinets.

La continuité de l'approvisionnement en eau potable, ne repose pas uniquement sur le bon dimensionnement d'un système d'AEP, mais aussi sur sa bonne gestion, en réduisant les pertes d'eaux entre les usines de traitement et les points de consommation.

La grande quantité d'eau perdue à travers les fuites dans divers réseaux urbains de distribution d'eaux (pertes physiques ou 'réelles') et les volumes d'eaux distribués sans être facturés (pertes 'apparentes') peuvent aggraver la situation de l'alimentation en eau. A cet effet, pour minimiser les risques liés aux fuites, il est très intéressant de prédire celles-ci avant même leur apparition dans les réseaux.

Chapitre 2 : Etudes existantes pour la détection/prédiction de fuites

1. Introduction

Un modèle graphique est une famille de distribution de probabilités définie en termes de graphe orienté ou non. Il est constitué de nœuds qui représentent des variables aléatoires et des arcs représentant les relations de dépendances entre ces variables. On distingue deux formes de modèles graphiques probabilistes : les modèles orientés et les modèles non orientés, basés respectivement sur les graphes acycliques orientés connus sous le nom de réseaux bayésiens (RB) (Ann.Becker, 1999) et les graphes non orientés.

Dans ce chapitre nous allons présenter un aperçu sur les réseaux bayésiens.

2. Analyse des études existantes pour la détection/prédiction de fuites

Plusieurs études ont été réalisées pour ce qui concerne le problème des pertes en réseaux d'alimentation en eau potable, mais la plupart de ces études se basent sur la détection de fuites après leur apparition dans le réseau, et non pas sur la prédiction de ces dernières.

2.1. La méthode d'Alberto Martini, 2014

Cette étude se concentre sur la détection des fuites en utilisant des techniques de surveillance des vibrations. L'objectif à long terme est le développement d'un système de détection automatique des fuites d'éclatement dans les conduites du système. Une campagne expérimentale a été mise en place pour mesurer les vibrations à travers le long des conduites d'eau à partir des fuites d'éclatement existent réellement dans le réseau d'AEP. Les premières données expérimentales ont été utilisées pour évaluer la performance de détection des fuites d'une base d'algorithme de prototypage par le calcul de l'écart-type des signaux d'accélération. La campagne expérimentale a été améliorée au moyen de techniques de filtrage de signal appropriées, était testé avec succès sur toutes les fuites contrôlées.

2.2. La méthode de Z. Poulakis, 2003

Une méthode bayésienne d'identification des systèmes est proposée pour la détection des fuites dans les réseaux de canalisations d'eau. La méthodologie gère correctement les incertitudes inévitables dont les erreurs de mesure et de modélisation, elle fournit des estimations des événements de fuite les plus probables (ampleur et localisation des fuites) et des incertitudes

sur ces estimations. L'efficacité du cadre proposé est illustrée en appliquant l'approche de détection des fuites à un réseau de canalisations d'eau spécifique. Plusieurs questions importantes sont abordées, notamment le rôle de l'erreur de modélisation, le bruit de mesure, la sévérité des fuites et la configuration du capteur (emplacement et type de capteurs) sur la fiabilité de la méthodologie de détection des fuites. L'algorithme peut être incorporé dans un plan de stratégie de réseau de maintenance intégré basé sur des outils de prise de décision assistés par ordinateur.

2.3. La méthode de Francis, 2006

Dans cet article, nous utilisons les réseaux bayésiens de croyance (*bayésien Belief Networks*) (BBN) pour construire un modèle de connaissance pour les ruptures de tuyau dans un secteur d'eau. Il s'agit de la première tentative de modélisation des ruptures de conduites du système de distribution d'eau potable en utilisant des BBN. Le développement de systèmes experts tels que les BBN pour analyser les données du système de distribution d'eau potable non seulement important pour la prédiction de rupture de tuyau, mais est également une première étape dans la prévention de la perte d'eau et la détérioration de la qualité de l'eau grâce à l'application de techniques d'apprentissage automatique pour faciliter la surveillance du système de distribution basé sur les données de la gestion.

L'objectif de cet article est d'explorer l'utilité et la faisabilité de la modélisation de la distribution d'eau potable

2.4. La méthode de Mashford, 2009

Ce travail représente une méthode d'extraction des données obtenues par une collection de capteurs de pression surveillant un réseau de canalisation pour obtenir des informations sur l'emplacement et la taille des fuites dans le réseau. Ce problème est effectué par des machines vectorielles de support (SVM) qui agissent comme des reconnaissances de formes. Dans cette étude, les SVM sont formés et testés sur des données obtenues à partir du système de modélisation hydraulique EPANET. L'évaluation des performances du SVM a montré que la taille et la localisation des fuites sont toutes deux prédites avec un degré de précision raisonnable. Les informations obtenues à partir de cette analyse SVM seraient inestimables pour les autorités de l'eau pour surmonter le problème persistant de la détection des fuites.

2.5. La méthode de Salam, 2015

Dans cette recherche, le système de détection des fuites de tuyaux sera fait par une technique informatisée en utilisant l'analyse de la surveillance de la pression comme un déterminant de la présence de fuites de pipeline dans le réseau de distribution d'eau. Les données de la pression obtenues à partir du logiciel EPANET, à savoir une modélisation dans un système hydraulique. Cette étude utilise deux méthodes, l'intelligence artificielle, à savoir SVM (Support Vector Machine) et ELM (Extreme Machine Learning) dont les résultats peuvent être comparés afin de prédire l'ampleur et la localisation des fuites. Dans l'ensemble, ces deux méthodes peuvent être utilisées pour prédire l'ampleur et l'emplacement des fuites. L'exactitude des prévisions concernant l'ampleur et la localisation des fuites de ces méthodes est basée sur la valeur de NRMSE. Dans ce cas, les résultats obtenus en utilisant la méthode ELM sont plus précis comparés à la méthode de SVM de l'ensemble des systèmes de pipeline.

2.6. La méthode de Leu, 2016

Ce travail présente un nouveau modèle utilisant l'espérance-(maximisation expert structurelle), pour prédire les fuites d'eau dans les systèmes d'AEP. Le modèle peut prendre en compte l'incertitude des facteurs liés aux fuites et équilibrer la contribution des données de surveillance et des informations préalables dans un processus d'apprentissage bayésien afin de maximiser la précision de la prévision des fuites. De plus, la méthode proposée peut indiquer les facteurs les plus importants affectant les fuites d'eau. Les résultats de cette étude pourraient bénéficier aux services d'eau en l'aidant à établir un plan efficace de contrôle des fuites afin de minimiser les fuites d'eau.

3. Comparaison entre les études existantes

Ci-dessous un tableau comparatif entre les études existantes :

| Titre | Auteur(s)/année | Inconvénient |
|--|--|--|
| Détection automatique des fuites dans les tuyaux en plastique enterrés des réseaux d'alimentation en eau au moyen de mesures de vibrations | Alberto Martini, Marco Troncossi, Alessandro Rivola. <u>reçu</u> 27 Octobre 2014; Accepté 5 janvier 2015 | -Détection des fuites après leur apparition dans le réseau Par mesure de vibration. |
| Contrôle de l'état hydraulique dans un réseau d'eau potable pour limiter les pertes | Elodie Jaumouillé 4 décembre 2009 | -La méthode prend en compte la relation entre les fuites et la pression. -Ne prend pas en compte tous les facteurs qui causent la fuite. -Minimiser le volume des fuites |
| nouvelles méthodes de détection et de localisation de fuites par émission acoustique | Pascal BOULANGER Mercredi 8 Décembre 1993 | -Détection des fuites après leur apparition dans le réseau -Domaine [Mécanique et Energétique] -Opération compliqué |

| | | |
|--|---|---|
| | | Réalisée par un expert du domaine +matériels. |
| Détection des fuites dans les réseaux de canalisations d'eau en utilisant un cadre probabiliste bayésien | Z. Poulakis, D. Valougeorgis, C. Papadimitriou | -Détection des fuites après leur apparition dans le réseau -Ne prend pas en compte tous les facteurs |
| Les réseaux de croyance bayésienne pour prévoir les ruptures de conduites du réseau de distribution d'eau potable | Royce A. Francis Seth D. Guikema Lucas Henneman 2006 | -Ne prend pas en compte tous les facteurs |
| Une approche de la détection des fuites dans les réseaux de canalisations en utilisant l'analyse des valeurs de pression surveillées par une machine à vecteurs de support | John Mashford, Dhammika De Silva, DonavanMarney Stewart Burn 2009 | -Détection des fuites après leur apparition dans le réseau -Ne prend pas en compte tous les facteurs |
| Application des méthodes SVM et ELM pour prédire l'emplacement et l'ampleur de la fuite de pipelines sur le réseau de distribution d'eau | A.EjahUmraeni Salam Muh. Tola Mary Selintung Farouk Maricar | -Ne prend pas en compte tous les facteurs |

| | | |
|--|---|---|
| | 2016 | |
| Modèle de prévision des fuites pour les réseaux de distribution d'eau créés à l'aide d'une approche bayésienne d'apprentissage en réseau | Sou-Sen Leu1 Quang-Nha Bui1 2016 | |
| Guide pour la réduction des pertes en eau | Patrick Fallis, Katja Hübschen, Emmanuel Oertlé, Dörte Ziegler (Chapitres 1 & 2); PhilippKlingel, Axel Knobloch (Chapitres 3-6, sauf 6.4 & 6.7); Jörg Baader & Emmanuel Oertlé (Chapitre 6.4); Raül Trujillo (Chapitre 6.7); Christine Laures (Matériel supplémentaire) Janvier 2011 | -Réduction des fuites Centré sur la gestion de la pression |

Tableau 2. 1: Tableau comparatif entre les études effectuées sur la détection/prédiction de fuites

Mais l'inconvénient de ces méthodes/techniques est qu'elles sont applicables uniquement pour localiser les fuites après leur apparition dans le réseau, en plus de ça elles utilisent du matériel spécial et elles demandent un expert du domaine pour les réaliser, comme elles ne prennent pas en compte tous les facteurs qui causent les fuites.

4. Conclusion

Nous avons illustré dans ce chapitre, qu'est-ce qu'un réseau bayésien, et la diversité de leurs domaines d'application. Nous avons constaté que les réseaux bayésiens possèdent tous les avantages des modèles probabilistes standards, ainsi que des avantages supplémentaires liés à leur représentation graphique.

Chapitre 3: Les réseaux Bayésiens

1. Introduction

Un modèle graphique est une famille de distribution de probabilités définie en termes de graphe orienté ou non. Il est constitué de nœuds qui représentent des variables aléatoires et des arcs représentant les relations de dépendances entre ces variables. On distingue deux formes de modèles graphiques probabilistes : les modèles orientés et les modèles non orientés, basés respectivement sur les graphes acycliques orientés connus sous le nom de réseaux bayésiens (RB) (Ann.Becker, 1999) et les graphes non orientés.

Dans ce chapitre nous allons présenter un aperçu sur les réseaux bayésiens.

2. Définition d'un réseau bayésien

Un réseau bayésien est un système représentant la connaissance et permettant de calculer des probabilités conditionnelles apportant des solutions à différentes sortes de problématiques. La structure de ce type de réseau est simple : un graphe dans lequel les nœuds représentent des variables aléatoires, et les arcs (le graphe est donc orienté) reliant ces dernières sont rattachées à des probabilités conditionnelles. Notons que le graphe est acyclique : il ne contient pas de boucle. Les arcs représentent des relations entre variables qui sont soit déterministes, soit probabilistes. Ainsi, l'observation d'une ou plusieurs causes n'entraîne pas systématiquement l'effet ou les effets qui en dépendent, mais modifie seulement la probabilité de les observer. L'intérêt particulier des réseaux bayésiens est de tenir compte simultanément de connaissances a priori d'experts (dans le graphe) et de l'expérience contenue dans les données.

3. Apprentissage dans les réseaux bayésiens

L'apprentissage des réseaux bayésiens doit répondre aux deux questions suivantes Comment estimer les lois de probabilités conditionnelles Comment trouver la structure du réseau Bayésien, Il existe deux parties de l'apprentissage:

- L'apprentissage de la structure, où le but est de trouver le meilleur graphe représentant la tâche à résoudre.
- L'apprentissage de paramètres, où si la structure du réseau a été fixée, et où il faudra estimer les probabilités conditionnelles de chaque nœud du réseau.

3.1. apprentissage de la structure

L'objectif de l'apprentissage de la structure est de trouver une structure du graphe à partir des données disponibles et qui représente le mieux un problème. Une solution naïve pour trouver la meilleure structure d'un réseau bayésien, est de parcourir tous les graphes possibles. De leur associer un score, puis de choisir le graphe qui a le score le plus élevé. Cependant, le nombre de structures différentes pour un réseau bayésien de n nœuds est super exponentiel. Il est donc impossible d'effectuer un parcours exhaustif en un temps raisonnable. Pour cette raison, la plupart des méthodes d'apprentissage de structure utilisent une heuristique de recherche dans l'espace des graphes acycliques dirigés. Les méthodes d'apprentissage de structure qui se basent sur un calcul de score maximisent le score de la structure G qui décrit le mieux les données D , Par exemple, $\text{Score}(G, D) = P(G|D) = P(D|G).P(G) P(D)$.

L'approche bayésienne de l'apprentissage de structure se résume à deux éléments essentiels : La fonction d'évaluation associée à une structure, et la procédure de recherche de la structure visant à maximiser la fonction d'évaluation.

3.2. Apprentissage des paramètres

➤ A partir des données complètes

Dans le cas où toutes les variables sont observées, la méthode la plus simple et la plus utilisée est l'estimation statistique qui consiste à estimer la probabilité d'un événement par la fréquence d'apparition de l'événement dans la base de données.

➤ A partir des données incomplètes

Dans les applications pratiques, les bases de données sont très souvent incomplètes. Certaines variables ne sont observées que partiellement ou même jamais, que ce soit en raison d'une panne de capteurs, d'une variable mesurable seulement dans un contexte bien précis, d'une personne sondée ayant oublié de répondre à une question, etc. (Steffen L. Lauritzen et David J.Spiegelhalter, 1888).

L'algorithme EM pour l'apprentissage des données incomplètes :

L'algorithme EM — pour Expectation-Maximisation — est un algorithme itératif dû à Dempster, Laird et Rubin (1977). Il s'agit d'une méthode d'estimation paramétrique s'inscrivant dans le cadre général du maximum de vraisemblance. Lorsque les seules données dont on dispose ne permettent pas l'estimation des paramètres, et/ou que l'expression de la vraisemblance est analytiquement impossible à maximiser, l'algorithme EM peut être une solution. De manière

Chapitre 3: Les réseaux Bayésiens

grossière et vague, il vise à fournir un estimateur lorsque cette impossibilité provient de la présence de données cachées ou manquantes ou plutôt, lorsque la connaissance de ces données rendrait possible l'estimation des paramètres. L'algorithme EM tire son nom du fait qu'à chaque itération il opère deux étapes distinctes :

- la phase « Expectation », souvent désignée comme « l'étape E », procède comme son nom le laisse supposer à l'estimation des données inconnues, sachant les données observées et la valeur des paramètres déterminée à l'itération précédente.

- la phase « Maximisation », ou « étape M », procède donc à la maximisation de la vraisemblance, rendue désormais possible en utilisant l'estimation des données inconnues effectuée à l'étape précédente, et met à jour la valeur du ou des paramètre(s) pour la prochaine itération (*Frédéric Santos. L'algorithme EM*).

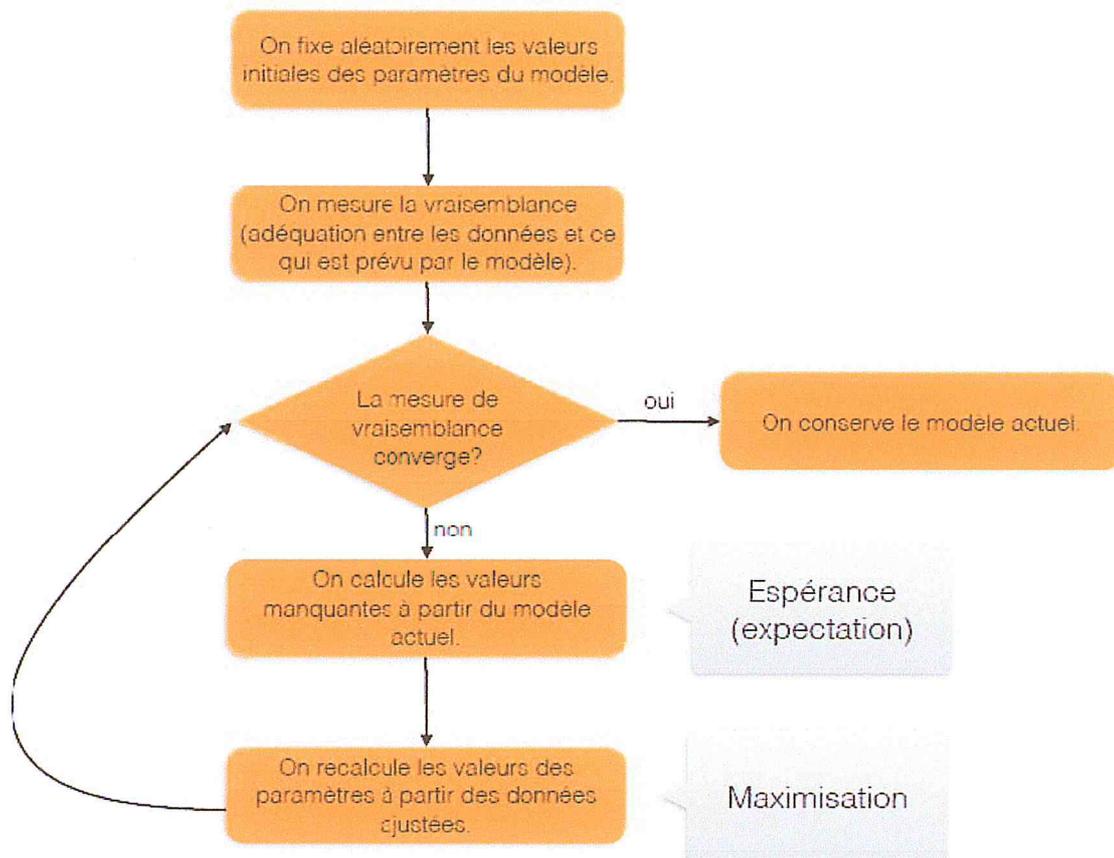


Figure 2.1 : L'algorithme EM pour le maximum de vraisemblance

4. L'inférence dans les réseaux bayésiens

L'inférence dans un réseau bayésien concerne le calcul de la probabilité de n'importe quelle variable ou sous ensemble de variables à partir des autres variables observées. Il s'agit donc de déterminer les probabilités conditionnelles d'événements reliés par des relations d'influences.

Les algorithmes d'inférence dans les réseaux bayésiens se répartissent en deux groupes : algorithmes *d'inférence exacte* et algorithmes *d'inférence approchée*. Les algorithmes d'inférence exacte exploitent les indépendances conditionnelles contenues dans le réseau pour calculer les probabilités à posteriori exactes (Pearl, 1988), (Steffen L. Lauritzen et David J. Spiegelhalter, 1988). Concernant la deuxième catégorie d'algorithmes, les méthodes utilisées donnent des estimations approchées des probabilités à posteriori (Santos, 2015), (Peot, 1990).

4.1. Inférence exacte :

La tâche de base de tout système d'inférence probabiliste consiste à calculer la distribution de probabilités a posteriori d'un ensemble de variables de requête, étant donné un événement observé _ autrement dite, une affectation de valeurs à un ensemble de variables d'observation.

Où, X représente la variable de requête ; E représente l'ensemble de variable d'observation $E_1...E_m$, et e est un événement observé particulier ; Y les variables non observées $Y_1.....Y_l$ (parfois nommées variables cachées). D'où l'ensemble complet de variables $X = \{X\} \cup E \cup Y$.

Une requête de type demande la distribution de probabilité à posteriori : $P(X|e)$ (Favero, 1994).

Parmi les algorithmes d'inférence exacte, on peut citer l'algorithme de propagation de messages, ainsi que les algorithmes de coupe ou de conditionnement qui exploitent la structure du réseau. Judea Pearl, le père de l'inférence dans les réseaux bayésiens, a développé un algorithme d'envoi de messages (message-passing) (Judea Pearl, 1988). Le principe consiste, pour chaque nœud du réseau, à mettre à jour la distribution de probabilité de proche en proche avec ses voisins pour prendre en compte les observations sur un ou plusieurs nœuds. Cet algorithme s'applique aux réseaux bayésiens dont le graphe est un arbre ou un poly-arbre. Grâce à un algorithme coupe-cycle, il est possible d'étendre cette méthode à n'importe quelle structure de réseau bayésien.

4.2. Inférence approchée :

Etant donné que l'inférence exacte est impraticable dans des grands réseaux multiplement connectés, il est essentiel d'envisager des méthodes d'inférence approchée. Cette section décrit d'algorithme d'échantillonnage aléatoire, également nommés algorithme de Monte-Carlo, qui

Chapitre 3: Les réseaux Bayésiens

fournissent des réponses approchées dont l'exactitude dépend du nombre d'échantillons générés. Ces dernières années, les algorithmes de Monte-Carlo ont été largement utilisés en informatique pour estimer des quantités difficiles à calculer exactement.

5. Domaines d'utilisation principaux :

Un réseau bayésien sert à *représenter la connaissance* que l'on a d'un système (technique, informatique, Biologique, économique, ...) en vue de :

- prévoir le comportement du système
- diagnostiquer (les causes d'un phénomène observé dans le système)
- contrôler (le comportement du système)
- simuler (le comportement du système)
- analyser des données (relatives au système)
- prendre des décisions (concernant le système)

• Exemples dans différents domaines :

Domaine de la santé : Diagnostic médical (Intégration de sources hétérogènes, expertise humaine et données statistiques et traitement de requêtes complexes).

Ex. Recherche de la localisation de certains gènes.

Industrie : Contrôle de systèmes autonomes. La capacité d'apprentissage incrémental des RB permet au système d'évaluer les capacités du véhicule à réagir à des événements.

Ex. Hugin : système de contrôle d'un véhicule sous-marin autonome

Informatique : Contrôle d'agents intelligents (ex. agent logiciel sur un réseau), Intelligence embarquée (Adaptation et révision dans des environnements incertains). Sûreté de fonctionnement (gestion des risques industriels, fiabilité de systèmes complexes industriels)

Ex. Thalès Alenia Space : maintenance de Systèmes de Navigation par satellites (*diagnostic de pannes et prédiction de performances*)

Défense : Fusion de données (pour le renseignement stratégique)

Finance : Détection de fraudes, évaluation du risque (couplage de la connaissance experte et des données disponibles)

Marketing : Data-mining (Utilisation rationnelle de l'information contenue dans les données, pour la prise de Décision).

6. Les avantages des réseaux Bayésiens :

Un réseau Bayésien peut être avantageusement substitué à différents modèles d'évaluation, de prévision, de diagnostic, d'aide à la décision ou de data Mining. Pour les avantages des réseaux Bayésien on peut citer:

- La possibilité de rassembler et de fusionner des connaissances de diverses natures dans un même modèle : données de retour d'expérience, expertise (exprimée sous forme de règles logiques, d'équations, ou de probabilités subjectives), observations.
- La convivialité: un réseau Bayésien est un modèle graphique, compréhensible et manipulable par un non-spécialiste.
- La versatilité : nous pouvons se servir d'un même modèle pour évaluer, prévoir, diagnostiquer, optimiser des décisions.
- Avantages par rapport aux autres modèles (réseau de neurones, arbre de décision) :
 - le diagnostic : l'évaluation de $P(\text{causes}|\text{symptômes})$,
 - la prédiction : l'évaluation de $P(\text{symptômes}|\text{causes})$,
 - la représentation graphique des réseaux Bayésiens est intuitive et compréhensible par un non spécialiste.

7. Conclusion

Nous avons illustré dans ce chapitre, qu'est-ce qu'un réseau bayésien, et la diversité de leurs domaines d'application. Nous avons constaté que les réseaux bayésiens possèdent tous les avantages des modèles probabilistes standards, ainsi que des avantages supplémentaires liés à leur représentation graphique. De même, leur représentation facilite la compréhension dans un domaine de connaissances. Nous avons montré que la création d'un réseau bayésien consiste dans la construction de la structure en utilisant les différents algorithmes d'apprentissage de structure, ainsi que l'estimation de ses paramètres. Une fois le réseau est

Chapitre 3: Les réseaux Bayésiens

défini, et grâce aux différentes méthodes et algorithmes d'inférences développées spécialement pour les réseaux bayésiens, l'information contenue dans ce réseau peut être calculée en n'importe quel nœud du réseau. Dans le prochain chapitre, nous allons expliquer le conception de notre système global.

Chapitre 4 : Conception du Système

1. Introduction

Avant de pouvoir réaliser une application pour la prédiction des fuites il faut d'abord connaître les facteurs qui influencent les fuites, ces facteurs sont divers et d'importances variables selon les régions et les conditions d'exploitation, pour cela il est nécessaire de faire une petite comparaison entre les études existantes soit pour la détection ou pour la prédiction des fuites et notre projet, et de réaliser notre étude selon les données de notre secteur, la SEAAL nous a aidé pour atteindre notre objectif.

Notre système est générique, et nous prenons comme étude de cas la société SEAAL.

2. La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger

La Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger « SEAAL », est une Société Publique par Actions, détenue à 70% par l'Algérienne Des Eaux « ADE » et à 30% par l'Office National de l'Assainissement « ONA ».

SEAAL est née en 2006 de la volonté politique des Autorités Algériennes d'améliorer rapidement la qualité et le cadre de vie des citoyens, en particulier dans la Capitale.

Pour cela la principale mission de SEAAL est de produire et de desservir en Eau potable les wilayas d'Alger et de Tipasa, et de collecter et traiter les Eaux usées au niveau de ces deux périmètres. Elle dessert ainsi 3.8 millions d'habitants soit environ 10% de la population Nationale.

SEAAL assure le service auprès de 761.824 clients (ménages, administrations, commerces, industriels et sites touristiques). (SEAAL, 2018), pour plus d'informations voir (Annexe)

3. Comparaison de notre travail par rapport aux travaux existants

L'inconvénient des méthodes citées dans le chapitre précédent est que:

- La plupart des études sont applicables uniquement pour localiser les fuites après leur apparition dans le réseau,(une détection et non pas une prédiction).

- Quelques méthodes utilisent du matériel spécial pour la détection des fuites, et elles demandent à un expert du domaine pour les réaliser.
- La plupart des méthodes ne prennent pas en compte tous les facteurs qui causent les fuites.
- Concernant le travail de “LeakPrediction Model for Water Distribution Networks Created Using a Bayesian Network Learning Approach” (Leu, 2016), l'étude a été appliquée sur tout le réseau d'étude par contre dans notre travail on allons traiter le secteur par tronçon, et concernant le facteur de la corrosion, il a été pris comme un critère binaire (Oui/non), mais nous avons digitalisé une carte de type des sols en Algérie à partir d'une carte numérique de la zone d'application sous ARCGIS à l'aide d'un expert pour pouvoir ajouter ce facteur au Data set, et nous avons pris les valeurs (Argileux, limoneux, sableux), pour bien détailler l'effet de la corrosion sur les fuites d'eau. Pour le problème de coup de bélier, il est résolu avec la mise en place d'un anti-bélier dans ce secteur donc on a pas pris en considération ce facteur, nous avons ajouté le facteur de trafic routier à l'aide d'un expert du domaine et nous allons utiliser l'Algorithme EM pour les données manquantes et pour améliorer la qualité du structure de réseau bayésien.

4. Les facteurs de défaillance

On appelle défaillance toute détérioration pouvant provoquer ou accentuer le risque de dysfonctionnement du réseau (ou de l'un de ses éléments), ou la diminution de son rendement. On peut diviser la défaillance en deux types :

- **Les fuites** Ce sont des pertes physiques de quelques quantités d'eau, mais qui n'empêchent pas le fonctionnement normal du réseau, Les fuites sont généralement localisées dans les joints, les vannes, les raccordements, les points de jonction entre deux éléments ou dans le corps même de la conduite.
- **Les casses (ruptures)** Une rupture ou une casse est définie comme étant une détérioration induisant un arrêt momentané de l'alimentation en eau et qui nécessite une intervention sur le réseau. Sachant que la limite entre rupture et fuite n'est pas toujours bien définie (une rupture est une fuite, mais une fuite n'est pas obligatoirement une rupture).

5. Principaux facteurs générateurs de fuites

Ils sont divers et d'importances variables selon les régions et les conditions d'exploitation, on distingue par ordre d'importance :

- **Mouvements du sol**

Les conduites posées, sans précautions particulières dans des sols instables tels que zone alluvionnaires, en remblai, argileuses, ou comportant de nombreuses cavités, sont soumises à des mouvements de sol plus ou moins importants, mais toujours dangereux pour les conduites. Les chantiers de travaux publics réalisés à proximité d'une conduite d'eau ne sont pas toujours entourés de précautions réglementaires. Ils peuvent engendrer des surcharges de sol inacceptables ou transmettre des vibrations excessives jusqu'à la conduite. Ils peuvent également créer des décompressions et des mouvements de terrain lorsqu'il s'agit de terrassement exécuté dans un voisinage immédiat.

- **Corrosion de la conduite**

C'est le cas essentiellement des conduites métalliques insuffisamment protégées, posées dans des sols acides, traversés par des nappes phréatiques ou qui sont le siège de courant vagabonds (proximité d'une ligne de chemin de fer par exemple).

Ces conduites sont soumises à des phénomènes de corrosion (corrosion cathodique par création de piles électriques) et sont rapidement attaquées. Cette corrosion peut être localisée en un point ou au contraire s'étendre sur toute la conduite et la rendre littéralement poreuse.

- **Trafic routier**

Les conduites placées sous des voies à forte densité de trafic routier ou soumises à des charges roulantes importantes subissent des contraintes de compression excessives qui les fragilisent, surtout lorsque ces conduites sont anciennes, ou peu profondes.

- **Pression de service**

Plus la pression de service est importante, plus les fuites peuvent apparaître sur des conduites en mauvais état. Par ailleurs, la même fuite aura un débit d'autant plus important que la pression à l'intérieur de la conduite est élevée.

- **Age des conduites**

Un réseau vétuste et mal entretenu résiste moins bien aux diverses agressions précitées et est généralement le siège de nombreuses fuites. Il est difficile de fixer un âge limite, mais il semblerait par expérience que la durée de vie d'une conduite posée dans de bonnes conditions puisse atteindre 80 à 100 ans. Les conduites mal protégées se dégradent très rapidement au point de devoir être renouvelées au bout de quelques années seulement.

- **Température**

Les basses températures sont généralement néfastes pour les conduites, et on observe toujours une augmentation du nombre de fuites en hiver. Mais ce sont surtout les variations rapides de températures qui, en créant de véritables chocs thermiques dans le matériau des conduites, peuvent provoquer des ruptures brutales.

- **Conditions de poses des conduites**

Une conduite posée dans les règles de l'art sera évidemment moins exposée aux divers facteurs décrits ci-dessus. Lors d'une pose de conduite, il y a lieu de surveiller essentiellement les phases suivantes : manutention et bardage des tuyaux, lit de pose en fond de fouille, butées correctement dimensionnées, calage aux reins, remblais bien compactés, essai de mise en pression.

- **Fermeture de Vanne de régulation**

Les vannes de régulation ont pour fonction de réguler la pression, Elles sont utilisées dans une boucle de régulation qui prévoit en général un capteur (transmetteur de pression, PT 100 ou débitmètre), elle est capable d'adapter en permanence son ouverture à la variation du signal du capteur

Le régulateur de pression permet de maintenir une pression optimale constante

La fermeture d'une vanne de gros diamètre provoque l'arrêt d'une masse considérable d'eau en mouvement ; arrêt qui ne peut être obtenu que très lentement, ceci peut risquer la destruction complète d'une ou plusieurs conduites par l'énergie cinétique de cette masse d'eau.

- **Le coup de bélier**

Toute modification rapide de la vitesse d'écoulement dans une canalisation occasionne dans cette dernière des ondes de pression appelées "coup de bélier. Elle débute par une surpression au moment de la mise en route d'une pompe ou au moment de la fermeture brusque d'une bouche d'incendie ou à l'ouverture ou la fermeture rapide d'une vanne. Les causes du coup de bélier sont bien connues, elles proviennent surtout des ouvertures et fermetures trop rapides des vannes de régulation, de l'arrêt trop rapide des pompes, dans les stations d'élévation d'eau, de la présence d'air dans les conduites, de la fermeture brutale des robinets d'écoulements dans les immeubles et enfin de la dislocation du joint de soupape. Si le coup sonore (répété comme une mitrailleuse) est sec et unique, il provient de la fermeture d'un robinet de l'immeuble lui-même ou d'un abonné environnant. (ETTOUHAMI, 2014).

- **Diamètre de conduit**

Les diamètres varient de 20 mm pour les branchements jusqu'à plus de 2 mètres pour les canalisations d'adduction des très grands centres urbains, les conduites de gros diamètres étant plus lourdes que celles de petit diamètre, plus le diamètre de la conduite est grand, plus l'atténuation est importante et plus il est difficile de détecter une fuite dans les réseaux de distribution.

- **Matériaux**

Il existe trois grandes familles de matériaux, il s'agit

- Des matériaux métalliques : conduites en métal ferreux nu (fontes ou aciers anciens), plomb, cuivre, acier galvanisé.

- Des matériaux à base de ciment : conduites en béton armé ou précontraint, revêtement en mortier de ciment.

- Des matériaux organiques : conduite en matériaux plastiques et revêtement organiques. (Réhabilitation Réseau eau potable, guide technique, 2013) Chaque type de matériau réagissant de façon propre aux agressions physico-chimiques de son environnement.

- **La longueur de conduite**

La longueur d'un composant a un effet aggravant le risque de défaillance, le taux de défaillance est proportionnel à une puissance de la longueur, variable selon le matériau.

(CLAUDIO, 2014)

6. Les facteurs de fuites dans le secteur de Kouba 117

Les facteurs cités auparavant sont des facteurs de fuites en général, mais dans ce secteur les experts du domaine hydraulique ont trouvé des solutions pour quelques facteurs qui font causes aux fuites, et qui existent dans le Dataset donc on n'est pas besoin de ces facteurs qui sont:

- **La pression**

Les trois vannes de régulation qui sont installés dans ce secteur jouent un grand rôle pour diminuer les fuites dans le réseau, et les données de la pression qui sont envoyées par la carte de la pression ne prennent pas l'identifiant de chaque tronçon en considération, alors qu'on va traiter chaque tronçon appart, donc on ne peut pas prendre la pression comme un facteur dans notre application.

- **Le coup de bélier**

Le problème du coup de bélier est résolu avec la mise en place d'un anti-bélier dans ce secteur.

7. Facteurs de fuites utilisés

Après l'extraction des facteurs du Dataset associe au secteur de Kouba on a pu de sélectionner plusieurs facteurs qui nous permettent de faire l'étape de construction de structure de réseau bayésien qui sont :

| Facteur | Description | Valeur possible |
|--------------------|--|---|
| Age de la conduite | c'est la durée depuis la pose de la conduite | Sont catégorisé en trois catégories : [0-10], [10-20], [20-30], [>30] |
| Longueur | un actionneur linéaire est un actionneur qui crée un mouvement en ligne droite | lineairesup300m, lineaire200m_300m, lineaireinf100m, lineaire100m_200m |
| Diamètre | C'est le diamètre de la conduite posée | diametresup300mm, diametre200mm_300mm, diametreinf80mm, |

| | | |
|-----------------------|--|---------------------------------|
| | | diametre80mm_200mm |
| Matériaux | Sont des types de conduites posées sous le terrain | PEHD, PVC, AG, BPAT, FG, AC, FD |
| Risque de corrosivité | Cette condition se produit pour les canaux et conduit à endommager les canaux | FAIBLE, MOYEN, FORT |
| Type de sol | On distingue différents types de terrain ou chaque type a ses caractéristiques | ARGILIEU, LIMONEU , SABLEU |
| Trafic routier | est le déplacement de véhicules automobiles sur une route | FAIBLE, MOYEN, FORT |
| Mouvement de terrain | est une masse de terre descend sur une pente | FAIBLE, MOYEN, FORT |

Figure 3.1 : facteur de fuites utilisées pour la prédiction

8. Schéma global du notre système

Pour minimiser les risques liés aux fuites, en dépassant les limites des études existantes cités auparavant, on va utiliser les réseaux bayésiens qui peut traiter tous les cause de dysfonctionnement disponibles, et représenter les informations incertaines avec une manière très lisible et claire même pour les gens qui ne sont pas du domaine, et facilite la prédiction des fuites avant même leur apparition dans le réseau.

Le diagramme de la figure suivante donne une vision générale de notre travail et les différentes étapes du processus de transformation sont illustrées dans le schéma suivant :

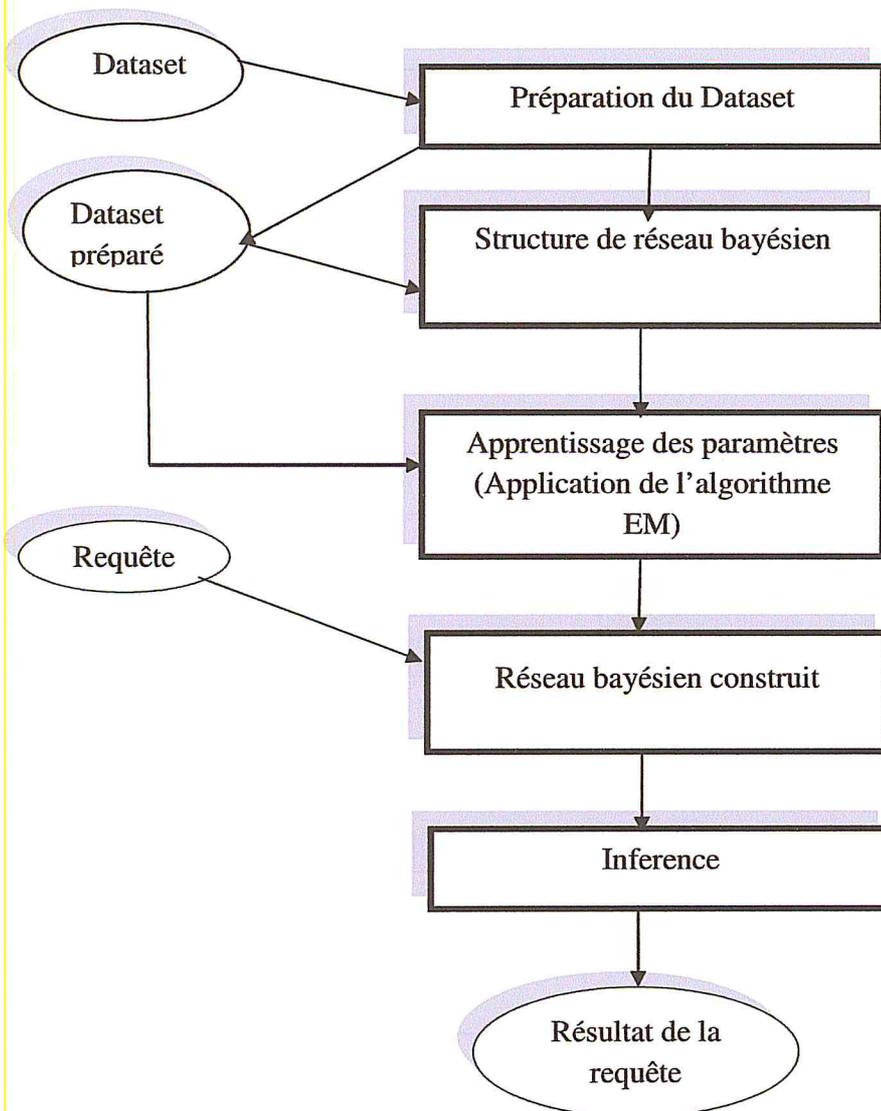


Figure 3.1 : schéma global du système

8.1 Préparation du Dataset (Extraction des facteurs+nominalisation)

Nous avons fait des modifications sur le Data Set initial pour pouvoir l'utiliser.

Nous avons éliminé tous les critères qui définissent le lieu, tant qu'on va travailler uniquement sur le secteur Kouba 117.

Vu que la corrosion est un facteur très intéressant on a digitalisé une carte de type des sols à partir d'une carte numérique à l'aide d'un expert pour ajouter les critères de la corrosion et du type de sol au Data set.

Et pour la nominalisation nous avons transféré les valeurs numérique des facteurs (âge, diamètre, longueur) qui existent dans le Dataset a des catégories qui sont définit par des intervalles de la part de l'expert du domaine.

- Intervalles de nominalisation :

| Facteur | Intervalles de catégories |
|----------|---|
| Age | QAA [0-10]QAB [10-20]QAC[20-30]QAD[>30] en année |
| Diamètre | QDA[0-80]QDB[80-200]QDC[200-300]QDD[>300] en millimètre |
| Longueur | QLA[0-100]QLB[100-200]QLC[200-300]QLD[>300] en mètre |

Tableau 3.2: catégorisation des facteurs

Nous avons défini quartes catégories pour chaque facteur à nominaliser

A la fin nous avons ajouté d'autres facteurs (mouvement du terrain, et trafic routier) pour améliorer la précision de notre système.

La figure ci-dessous représente le Data set obtenu :

| DIAMERTE | MATERIAUX | longeur | risque de Co age | mouvemnt | type de sol | trafic routier fuite | | |
|----------|-----------|---------|------------------|----------|-------------|----------------------|--------|-----|
| QDB | FG | QLA | FORT | QAD | FAIBLE | argileu | FAIBLE | oui |
| QDB | FD | QLD | FAIBLE | QAD | MOYEN | limoneu | | oui |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | | | MOYEN | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | FAIBLE | | | non |
| QDA | FD | QLA | FAIBLE | QAD | | sableu | FAIBLE | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | FORT | limoneu | FAIBLE | non |
| QDB | FD | QLA | null | QAA | FAIBLE | | | non |
| QDB | FD | QLA | null | QAD | | sableu | FAIBLE | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | FAIBLE | limoneu | MOYEN | non |
| QDA | FD | QLA | FAIBLE | QAD | | | | non |
| QDB | FD | QLA | null | QAA | | argileu | | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | | | FORT | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | FAIBLE | | | non |
| QDB | FD | QLA | FAIBLE | QAD | | sableu | | non |
| QDB | FD | QLA | null | QAD | FORT | | FAIBLE | non |
| QDA | FD | QLA | FAIBLE | QAD | MOYEN | limoneu | MOYEN | non |

Figure 3. 1: Dataset préparé

9. Construction de réseau bayésien (structure et paramètres)

Pour construire un réseau bayésien, il faut :

- Définir le graphe du modèle
- Définir les tables de probabilité de chaque variable, conditionnellement à ses causes.

Le graphe est aussi appelé la « structure » du modèle, et les tables de probabilités ses « paramètres ». Structure et paramètres peuvent être fournis par des experts, ou calculés à partir de données, même si en général la structure est définie par des experts et les paramètres calculés à partir de données expérimentales.

L'apprentissage des réseaux bayésiens doit répondre aux deux questions suivantes :

- Comment trouver la structure du réseau bayésien ?
- Comment estimer les lois de probabilités conditionnelles ?

Nous allons donc séparer le problème de l'apprentissage en deux parties :

-L'apprentissage de la structure, où le but est de définir un graphe représentant la tâche à résoudre.

-L'apprentissage de paramètres, où il faudra estimer des paramètres à partir des Données observées de chaque nœud du réseau.

La construction de la structure de notre réseau bayésien se fait d'une manière semi-automatique avec l'aide d'un expert humain, il ajoute les nœuds, les liens.

9.1. L'apprentissage de la structure

Notre objectif pour satisfaire la prédiction dans cette partie est la construction du réseau bayésien. L'objectif de l'apprentissage de la structure est de trouver une structure du graphe à partir des données disponibles et qui représente le mieux un problème.

9.1.1 Étapes de la construction de la structure du réseau bayésien

Cette étape est réalisée d'une manière semi automatique avec l'intervention de l'expert du domaine qui a utilisé comme entrée l'historique des fuites qui est sous forme d'un data set.

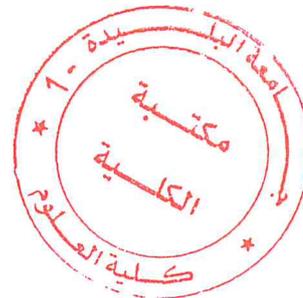
Après l'extraction des facteurs, la première chose à effectuer est de faire le lien de causalité avec les autres nœuds qui existent dans l'ensemble des facteurs extraits du Dataset, et avec cet ordre on peut construire un graphe qui représente le schéma du réseau ou bien la structure de notre réseau bayésien. Cette tâche se définit par ces étapes :

Sélectionner un nœud : Nous sélectionnons un nœud parmi les nœuds extraits depuis la base de données (une cause de fuite)

Sélectionner les états du nœud : après le choix du nœud, on sélectionne ses états après avoir rempli ses types des valeurs.

Faire des relations entre les nœuds: L'utilisateur choisit tout simplement le nœud père ou fils pour faire la relation entre les deux et chaque nœud peut avoir plusieurs fils ou père.

Tester si c'est le dernier nœud : nous devons tester après chaque itération si on est arrivé au dernier nœud (la fuite), si c'est le cas on enregistre la structure et on sort si non, on refait les étapes comme montré dans la figure suivante:



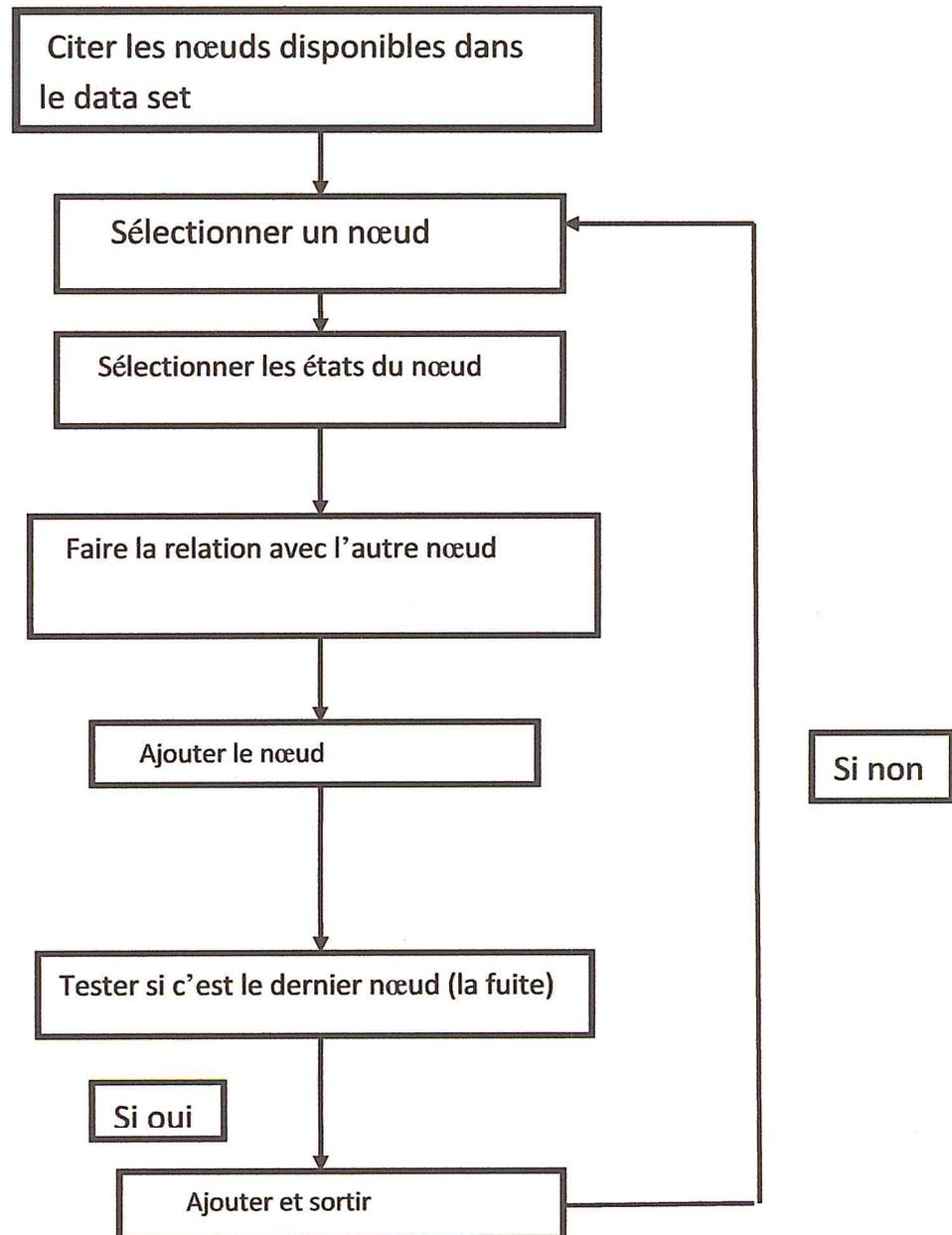


Figure 3. 3: Etapes de la construction de la structure du réseau bayésien

9.1.2 Structure du réseau

Ce schéma montre la structure générale de notre réseau bayésien

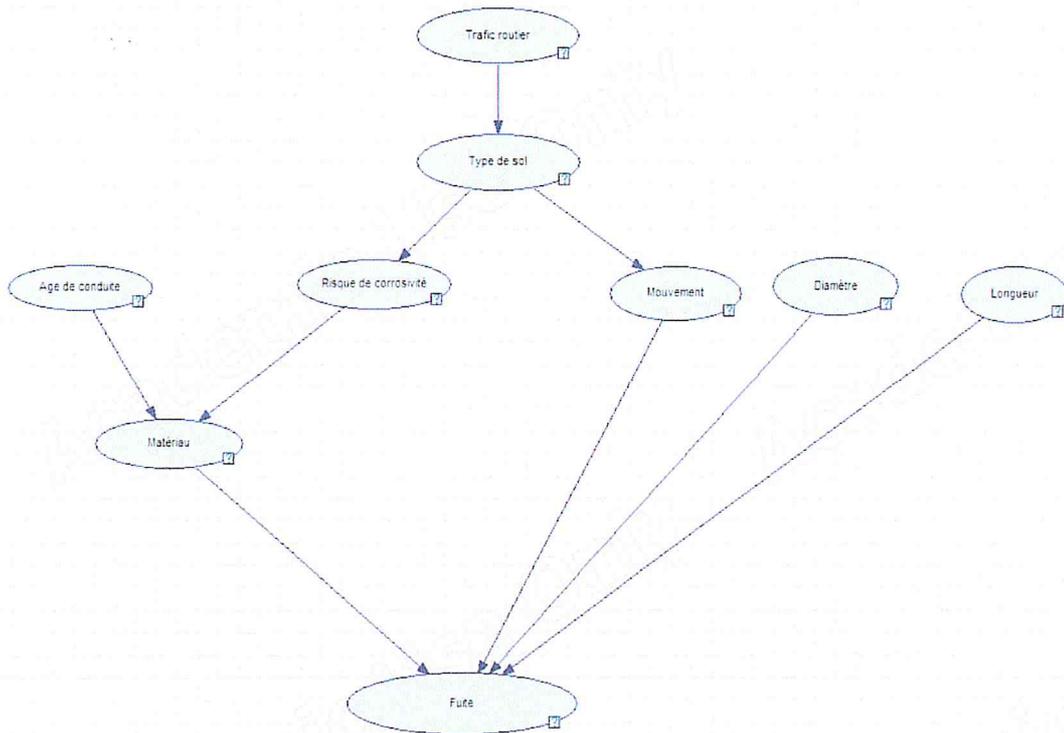


Figure 3.4 : Structure du réseau bayésien

9.2 Apprentissage de paramètres

Nous allons faire une estimation des paramètres pour chaque nœud à partir des données observées, cette tâche a besoin de deux entrées qui sont :

Le Dataset plus la structure du réseau bayésien, pour pouvoir appliquer l'algorithme, une fois qu'on a la structure du réseau bayésien et le Dataset préparé, l'algorithme EM va s'occuper des calculs des paramètres de notre réseau bayésien pour qu'il soit prêt pour les inférences.

La figure suivante montre les étapes d'apprentissage des paramètres :

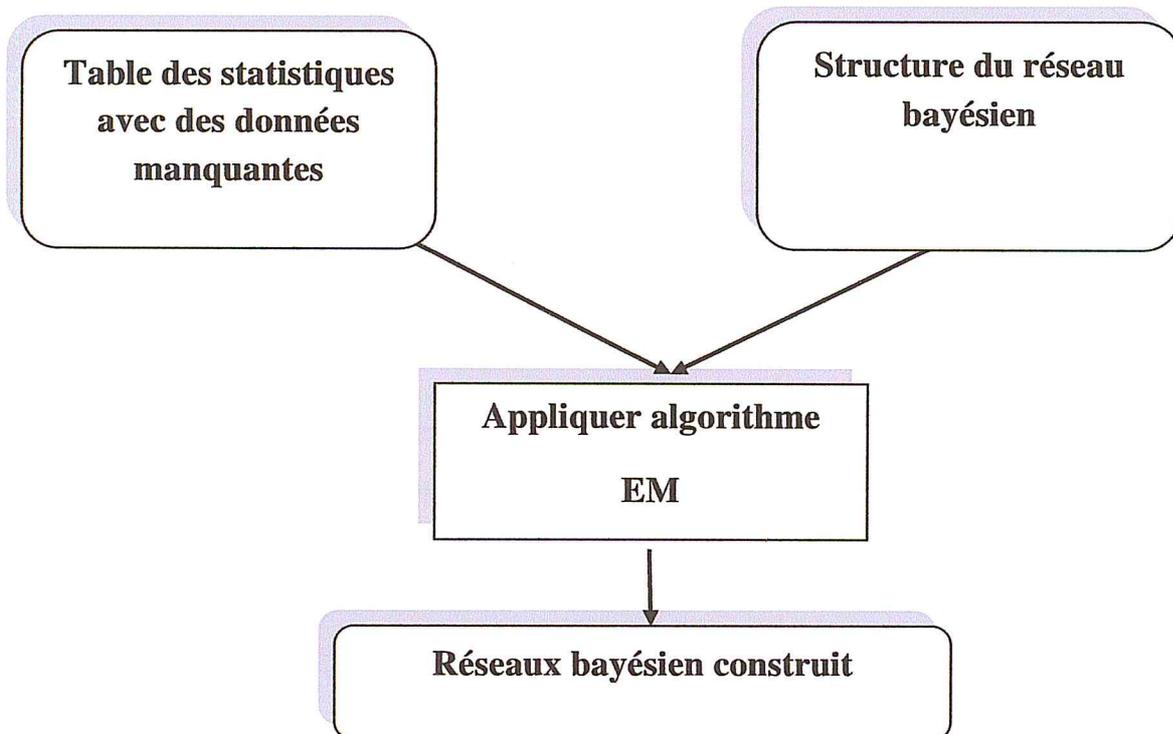


Figure 3.5 : étapes d'apprentissage des paramètres

9.3 Application de l'Algorithme EM

L'algorithme EM est une des techniques d'apprentissage des variables totalement "caché" (aussi connu comme « latentes »), qui sont, des variables pour lesquelles on n'a pas d'observations, mais on soupçonne qu'elle existe et peut être utile pour la modélisation du monde étudié.

EM travaille par un processus itératif, dans lequel nous commençons par un réseau de candidats, rapporte leurs log-vraisemblances, puis traite tous les paramètres du réseau pour trouver un meilleur réseau, la valeur de la log-vraisemblance de chaque itération sera meilleur que la valeur qui la précède. Ce processus est répété jusqu'à ce que les numéros de la log-vraisemblance du réseau ne s'améliore pas assez (selon une tolérance qu'on peut spécifier), ou le nombre souhaité d'itérations a été atteint (aussi une quantité qu'on peut spécifier).

Exemple d'application de l'algorithme EM

Ci-dessous des exemples de l'application d'algorithme EM sur notre structure :

| | | |
|---|--------|------------|
| | | |
| ▶ | FAIBLE | 0.40750305 |
| | MOYEN | 0.32366199 |
| | FORT | 0.26883496 |

Figure 3. 2: L'application d'EM sur un nœud (Age de conduite) sans père

| trafic routier | FAIBLE | MOYEN | FORT |
|----------------|------------|------------|------------|
| ▶ argileu | 0.27406051 | 0.25792788 | 0.30843434 |
| limoneu | 0.3275839 | 0.40974559 | 0.29393933 |
| sableu | 0.39835559 | 0.33232653 | 0.39762633 |

Figure 3. 3: L'application d'EM sur un nœud (Type de sol) avec 1 seul père(Trafic routier)

| risquec | faible | | | | moyen | | |
|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| | QAA | QAB | QAC | QAD | QAA | QAB | QAC |
| ▶ PEHD | 0.0036463... | 0.0032010... | 0.062707994 | 0.0036463... | 0.0057091... | 0.0051343... | 0.0066475.. |
| PVC | 0.0036463... | 0.0032010... | 0.0041805... | 0.0036463... | 0.0009195... | 0.0008117... | 0.0010622.. |
| AG | 0.0036463... | 0.0032010... | 0.0041805... | 0.0036463... | 0.0072930... | 0.006590301 | 0.0085187.. |
| BPAT | 0.0036463... | 0.0032010... | 0.0041805... | 0.0036463... | 0.027801163 | 0.0251996 | 0.03345111. |
| FG | 0.0036621... | 0.0032148... | 0.0041985... | 0.0036621... | 0.001811875 | 0.29372773 | 0.0020956.. |
| AC | 0.0036463... | 0.0032010... | 0.0041805... | 0.0036463... | 0.002523343 | 0.0022416... | 0.0029216.. |
| FD | 0.97810611 | 0.98078011 | 0.91637129 | 0.97810611 | 0.95394191 | 0.66629459 | 0.9453031 |

Figure 3. 4:L'application ' EM sur un nœud (matériaux) avec 2 pères (Age de conduite et risque de corrosivité)

9.4 Inférence du système

À la fin, nous pouvons effectuer l'inférence dans notre système, par le lancement du test des requêtes sur le réseau bayésien, l'utilisateur doit choisir des nœuds évidences et définir ses observations (un état du nœud), après il choisit le nœud (nœud de requête) qu'on veut calculer son résultat.

10. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons fait une comparaison de notre travail par apport aux travaux existants, ensuite nous avons réalisé notre schéma global du système, suivant par une explication de chaque étape, nous avons aussi cité toutes les modifications qu'on avait fait sur le data set pour qu'il soit prêt à l'utilisation ainsi que les différentes étapes de construction du réseau bayésien. Ce chapitre nous aide pour réaliser l'implémentation du système.

Chapitre 5 : Implémentation et test du système

1. Introduction

Nous allons présenter dans ce chapitre, les outils de développement que nous avons utilisé pour la réalisation de notre application, cette dernière était programmée en Java, sous Netbeans 8.2 en utilisant la bibliothèque Jsmile.

Nous allons décrire aussi de façon visuelle l'implémentation de notre système, tels que les différentes interfaces et scénarios d'utilisations seront présenté afin d'illustrer les différentes fonctionnalités de l'application réalisé, et nous allons le tester en effectuant des captures sur les résultats de notre application.

2. Présentation d'environnement de travail

2.1. Netbeans

Est un environnement de développement intégré (EDI), placé en open source par Sun en juin 2000 (NetBeans enligne) sous licence CDDL (Common Development and Distribution License) et GPLv2. En plus de Java, NetBeans permet également de supporter différents autres langages, comme C, C++, JavaScript, XML, Groovy, PHP et HTML de façon native ainsi que bien d'autres (comme Python ou Ruby) par l'ajout de greffons. Il comprend toutes les caractéristique d'un IDE moderne (éditeur en couleur, projets multi-langage, refactoring, éditeur graphique d'interfaces et de pages Web). Conçu en Java, NetBeans est disponible sous Windows, Linux, Solaris (sur x86 et SPARC), Mac OS X ou sous une version indépendante des systèmes d'exploitation (requérant une machine virtuelle Java). Un environnement Java Développent Kit JDK est requis pour les développements en Java. NetBeans constitue par ailleurs une plateforme qui permet le développement d'applications spécifiques (bibliothèque Swing (Java)). L'IDE NetBeans s'appuie sur cette plateforme (figure 4. 1 : netbeans).



Figure 4. 1 : NetBeans.

2.2. Java :

C'est un langage de programmation orienté objet, développé par Sun Microsystems. Il permet de créer des logiciels compatibles avec de nombreux systèmes d'exploitation (Windows, Linux,

Macintosh, Solaris).Java donne aussi la possibilité de développer des programmes pour téléphones portables et assistants personnels. Enfin, ce langage peut être utilisé sur internet pour des petites applications intégrées à la page web (applet) ou encore comme langage serveur (jsp) (figure 4. 2 : java).



Figure 4. 2 : Java

2.3. Wampserver

C'est une plateforme de développement web, permettant de faire fonctionner localement (sans se connecter à un serveur externe) des scripts PHP. WampServer n'est pas en soi un logiciel, mais un environnement comprenant deux serveurs (Apache et MySQL), un interpréteur de script (PHP), ainsi que phpMyAdmin pour l'administration Web des bases MySQL. Il dispose d'une interface d'administration permettant de gérer et d'administrer ses serveurs au travers d'un TrayIcon (icône près de l'horloge de Windows).



Figure 4. 3 : WampServer

2.4. Génie

GeNIe Modeler est une interface utilisateur graphique (GUI) pour SMILE Engine et permet la construction de modèles interactifs et l'apprentissage. Il est écrit pour l'environnement Windows mais peut également être utilisé sous Mac OS et Linux sous les émulateurs Windows. Il a été testé de manière approfondie sur le terrain depuis 1998, a été largement accepté par les universités et l'industrie et compte des milliers d'utilisateurs dans le monde entier. Un critère de conception important pour tous les produits a été dès le début qu'ils devraient permettre une liberté de modélisation complète. Les modèles GeNIe ne plient pas la réalité aux outils de modélisation disponibles. Tout ce que le domaine exige, peut être modélisé dans notre logiciel. Parce qu'il n'existe pas d'algorithmes exacts pour certains types de modèles, ce logiciel est équipé d'une suite d'algorithmes d'échantillonnage stochastique approximatifs, capables de résoudre tous les modèles créés par les utilisateurs.

- **Caractéristiques principales**

Éditeur graphique pour créer et modifier des modèles de réseau.

Utilise le moteur SMILE. Vous pouvez développer des modèles dans GeNIe et créer une interface personnalisée pour eux en utilisant SMILE.

Prend en charge les nœuds aléatoires avec les distributions Général, Noisy MAX et Noisy Adder.

Ouvrez plusieurs réseaux et coupez et collez des sections de modèles entre eux.

Intégration complète avec MS Excel, couper et coller des données dans une feuille de calcul interne de GeNIe.

Compatibilité croisée avec d'autres logiciels Prend en charge tous les principaux types de fichiers (par exemple Hugin, Netica, Ergo).

Prise en charge de la gestion des coûts d'observation des nœuds.

Prise en charge de la gestion de cas de diagnostic.

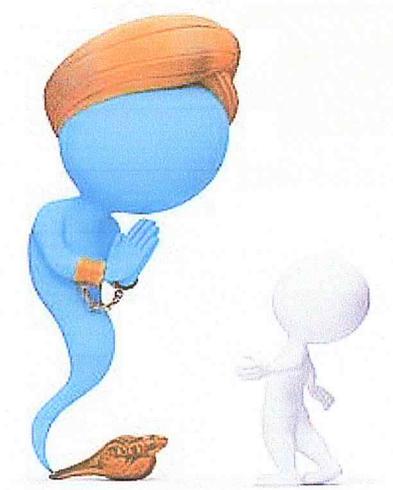


Figure 4. 4: Genie Smile

3. Interfaces

Dans ce qui suit nous allons présenter les différentes interfaces de notre application.

3.1 Interface d'entrée

Cette interface a comme objectif différents fonctionnalités, de sa part on peut faire le test d'une conduite qui n'existe pas dans la base de données de teste comme on peut la rajouter dans la base, aussi on a mets deux boutons qui nous guide à la gestion de conduites et gestion de réseau bayésien.

Vie en eau
aujourd'hui Dimanche 24 Juin 2018

conduite a tester

Gestion des conduites

gestion de réseau B

Age de conduite

longeur

diametre

risque de corrosivité FAIB... ▾

type de sol LI/ONEU ▾

matériaux PEHD ▾

mouvement FAIBLE ▾

trafic routier FAIBLE ▾

ajouter tester

Figure 4. 5 : Interface principal

- Pour ajouter une nouvelle conduite dans la base de teste l'utilisateur doit cliquer sur le bouton « ajouter » après le remplissage de propriétés de conduite à rajouter.
- Comme on peut tester la conduite entrée directement sans la rajouter dans la base de données par la clique sur le bouton « tester ».

3.2. Gestion des conduites

Lorsque on clique sur le bouton « gestion des conduites » une autre interface qui s'appelle conduites s'affiche qui a un tableau qui contient toutes les conduites existantes dans la base de données, et on a mets deux fonctionnalités sur ces conduites

-consulter les propriétés de conduite choisit dans le tableau

-faire le test de prédiction sur les conduites choisit

Cette interface est produite pour pouvoir modifier les déférentes propriétés des conduites

Et de réutiliser ces conduites dans le data set du réseau bayésien pour optimiser le résultat du réseau.

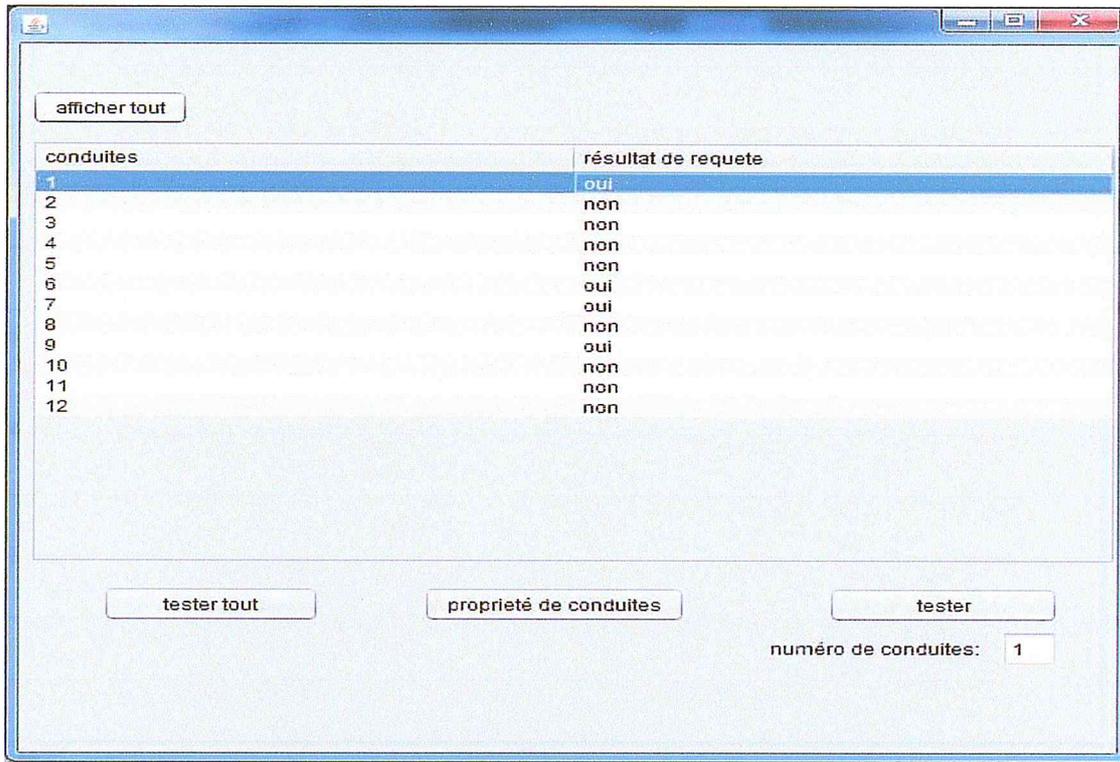


Figure 4. 6:Gestion des conduites

Pour savoir toutes les propriétés de chaque conduite on sélectionne la conduite après on clique sur propriété, une interface qui s'appelle info-conduite s'affiche, cette interface affiche toutes les propriétés (état de chaque facteur) dans un tableau, comme on peut les modifier par le clique sur le bouton « modifier » ou bien la tester ou rajouter optionnellement au Dataset.

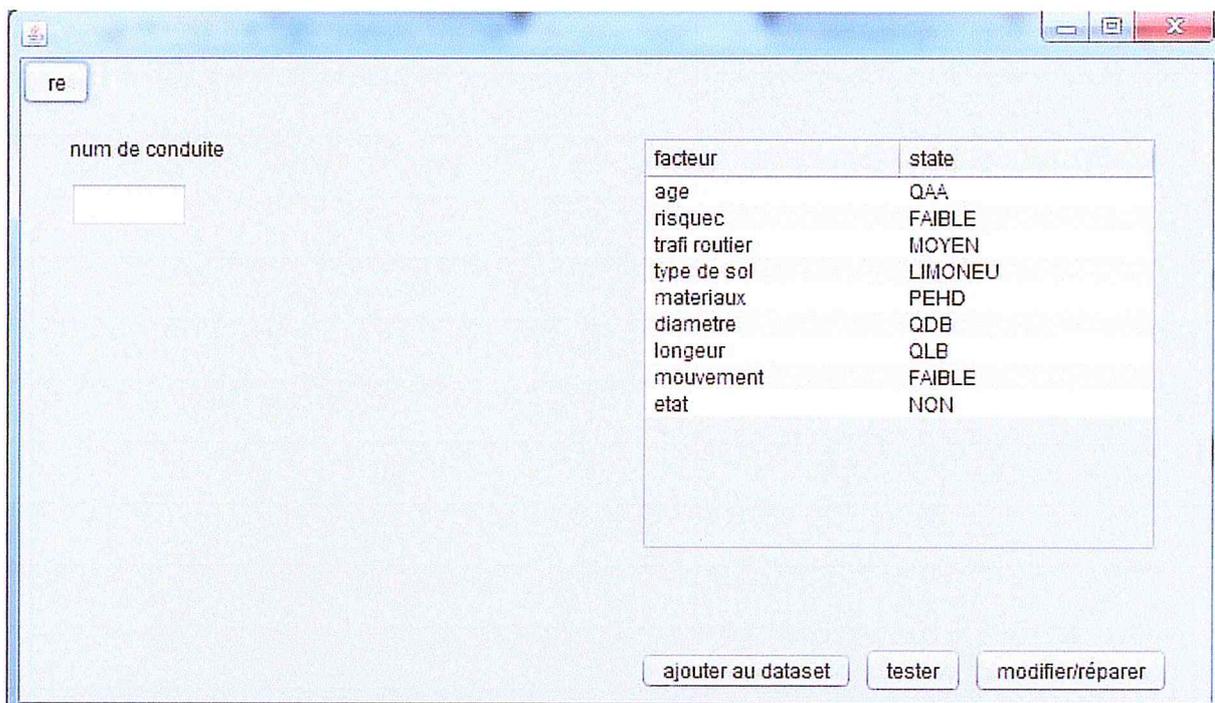


Figure 4. 7 : propriétés des conduites

- **Modifier/réparer** : après que la conduite soit réparée on doit changer les états de la conduite réparée et on cliquant sur « modifier/réparer »
- **Ajouter au datas** : ça permet d'ajouter la conduite au Dataset pour la réutiliser dans le réseau bayésien.
- **Tester** : permet de refaire le test sur la conduite.

3.3 Gestion du réseau bayésien

Comme on peut créer un nouveau réseau bayésien ou bien gérer notre réseau bayésien par l'affichage de l'interface 'réseau' en cliquant sur le bouton « gestion de réseau B » dans ce qui concerne toute modification dans la structure ou les paramètres du réseau bayésien.

3.3.1. Apprentissage de la structure

- Création des nœuds avec ses déferents états.



Figure 4. 8: Gestion de réseau bayésien (apprentissage de structure)

L'interface précédente contient tout ce qui concerne les modifications au niveau de la structure. Une fois qu'on accède à cette page, on aura la main pour ajouter un nouveau nœud dans la structure du réseau (leur nom, les états de nœud, et les relations père/fils avec les autres nœuds),

Après fait entré le nom du nœud on passe par :

- **Ajouter état** : après chaque état choisit pour le nœud on doit cliquer sur ce bouton pour ajouter ct état et commencer à ajouter d'autres états du nœud.
- **Ajouter fils du nœud** : c'est une liste qui contient tous les nœuds qui existe dans le réseau bayésien, pour que l'utilisateur choisisse le nœud comme un fils de nœud a ajouté.
- **Ajouter le nœud** : après que l'utilisateur remplit toutes les propriétés du nœud il clique sur le bouton « ajouter le nœud » pour passer a la deuxième étape de modification du réseau bayésien qui est l'apprentissage de paramètres.

Après avoir créé la structure de notre réseau bayésien on doit l'enregistrer dans un fichier d'extension (xdsl) comme il montre la figure suivante :

3.3.2. Apprentissage de paramètres

Cette étape est considérée comme une deuxième partie de la construction du réseau bayésien, consacrée pour faire l'apprentissage des paramètres par l'application de l'algorithme EM sur la structure de réseau bayésien pour affecter des probabilités pour chaque état du nœud, comme il montre la figure suivante :

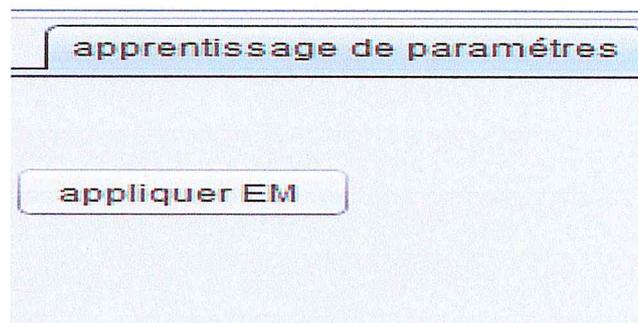


Figure 4. 9: apprentissage de paramètres (algorithme EM)

- **Appliquer EM** : après l'application de l'algorithme EM les probabilités conditionnelles initiales seront remplit.

4. Test du système

Dans cette dernière partie nous allons effectuer un test sur notre système implémenté.

La méthode que nous avons utilisée pour tester notre système c'est d'effectuer les étapes de notre modélisation pour créer un réseau bayésien à partir d'un historique de données et faire l'inférence probabiliste sur un ensemble de conduites enregistrées dans une base de donnée ou bien d'une nouvelle conduite entrée avec des symptômes compatibles avec notre system, si elle peut se trouver dans une fuite ou non. On outre, notre système est générique, il est destiné à tous les domaines tel que la chimie, biologie, vétérinaire,...etc. Il n'est pas spécifique pour un seul domaine.

Lancement du test :

Dans cette partie nous montrons les différentes étapes qu'on a suivies pour arriver à la création et l'utilisation du système de réseau bayésien pour la prédiction des fuites.

4.1. Chargement du data set

Puisque notre système est générique, on doit commencer par le choix du fichier csv qui contient le Dataset et qui correspond notre cas d'étude.

Après le choix du fichier csv on arrive à charger les différents facteurs avec leurs états pour les utiliser dans la création du réseau Bayésien.

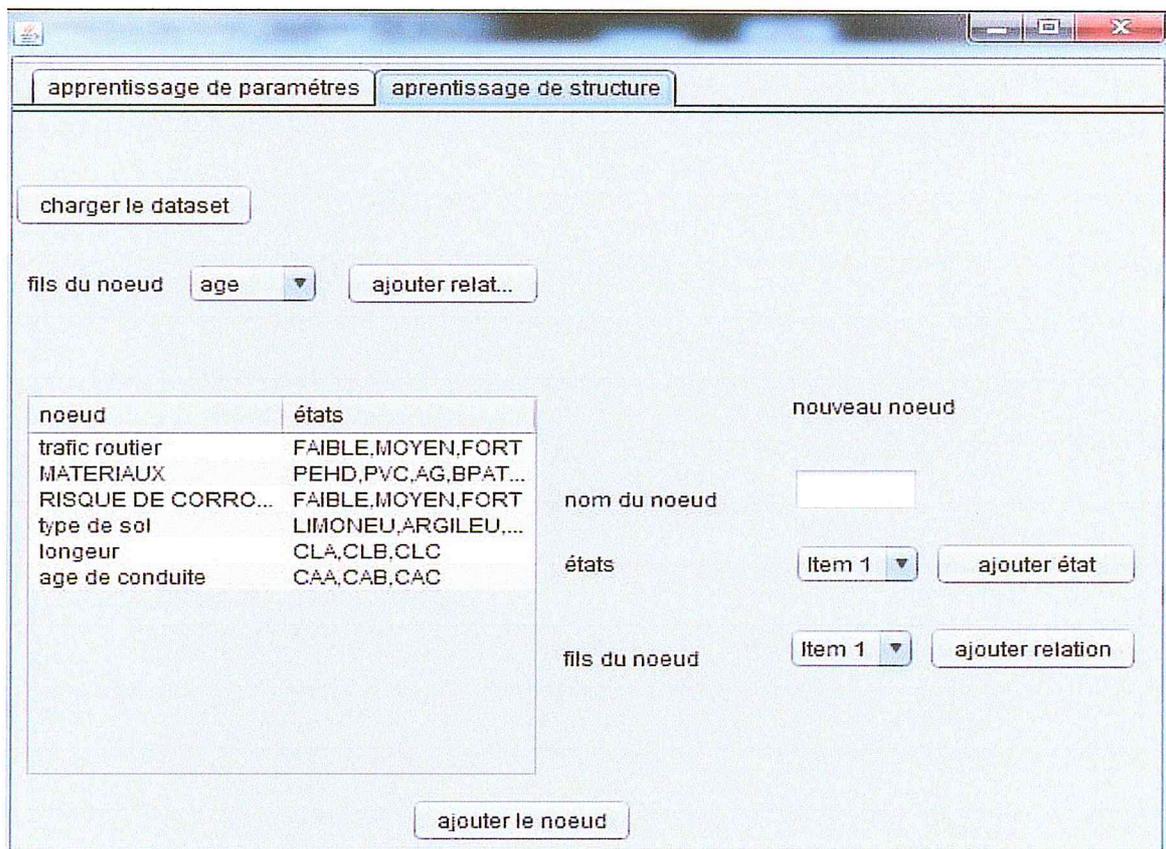


Figure 4. 10: Extraction des nœuds depuis le Data set

4.2. Apprentissage de la structure de réseau bayésien

- **La création des relations**

Après l'extraction des nœuds avec ses états depuis le data set, l'étape suivante sert à définir les relations et liens de causalités entre les différents nœuds, comme il montre la figure suivante :

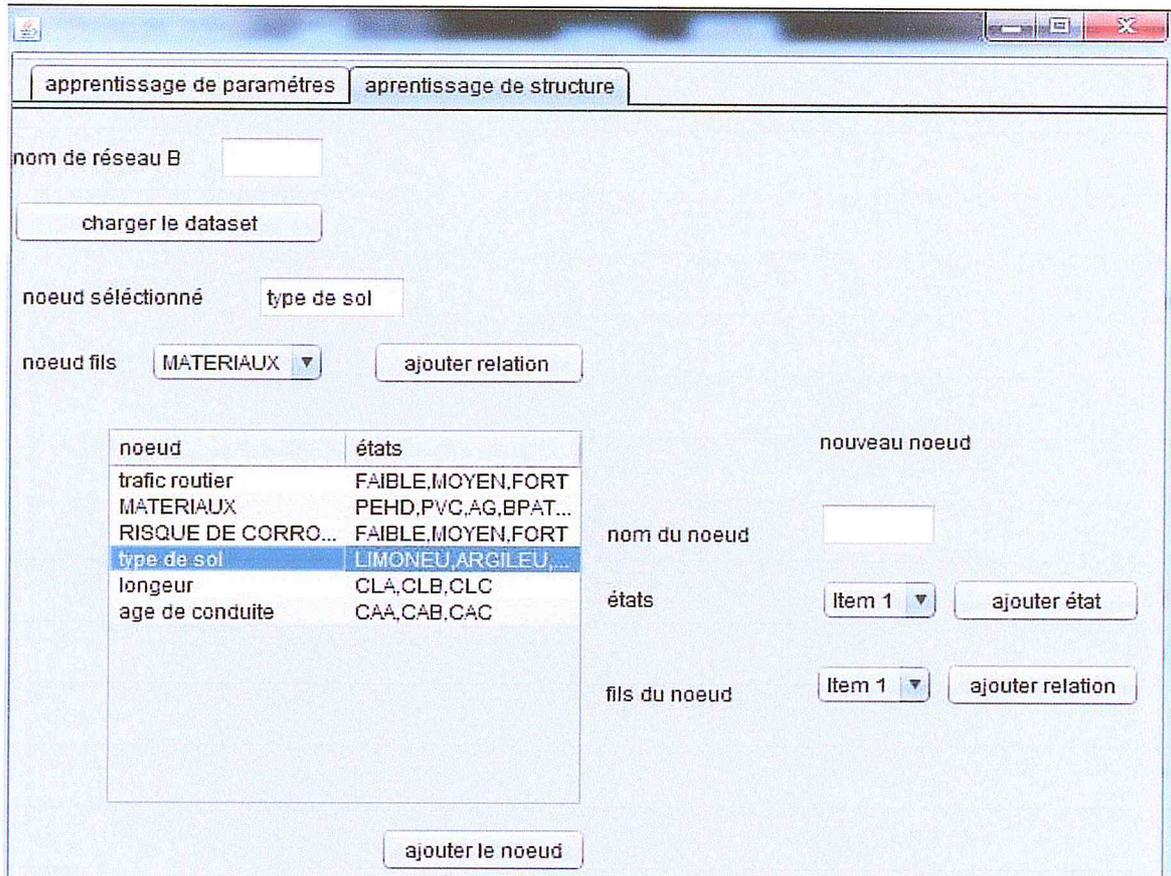


Figure 4. 11: Ajouter les relations

- **identification du réseau bayésien**

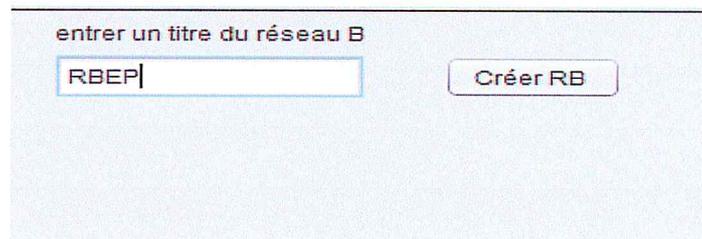


Figure 4. 12 : ajouter le titre du réseau bayésien

Après avoir créé la structure de notre réseau bayésien on doit l'enregistrer dans un fichier d'extension (xdsl) comme il montre la figure suivante :

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1"?>
<!-- This network was created in GENIE Academic, which can be used for educational and research
<smile version="1.0" id="Network2" numsamples="10000" discsamples="10000">
  <nodes>
    <cpt id="age">
      <state id="QAA" />
      <state id="QAB" />
      <state id="QAC" />
      <state id="QAD" />
      <probabilities>0.25999000999001 0.266983016983017 0.212037962037962 0.2
    </cpt>
    <cpt id="trafic_routier">
      <state id="FAIBLE" />
      <state id="MOYEN" />
      <state id="FORT" />
      <probabilities>0.4898434898434898 0.287046287046287 0.2231102231102231<
    </cpt>
    <cpt id="type_de_sol">
      <state id="argileu" />
      <state id="limoneu" />
      <state id="sableu" />
      <parents>trafic_routier</parents>
      <probabilities>0.3061778682959946 0.3428377460964019 0.3509843856076035
    </cpt>
    <cpt id="risquec">
      <state id="faible" />
      <state id="moyen" />
      <state id="fort" />
      <parents>type_de_sol</parents>
      <probabilities>0.00408997955010225 0.8261758691206544 0.169734151329243
    </cpt>
    <cpt id="MATERIAUX">
      <state id="PEHD" />
      <state id="PVC" />
      <state id="AG" />
      <state id="BPAT" />
      <state id="FG" />
      <state id="AC" />
      <state id="FD" />
      <parents>risquec age</parents>
      <probabilities>0.005714285714285714 0.005714285714285714 0.085714285714
90081421 0.01628423390081421 0.02146558105107328 0.005921539600296077 0.01628423390081421 0.005
    </cpt>
    <cpt id="diametre">
      <state id="QDA" />
      <state id="QDB" />
      <state id="QDC" />
      <state id="QDD" />
      <probabilities>0.01923076923076923 0.002247752247752248 0.0042457542457
    </cpt>
    <cpt id="longueur">
```

Figure 4. 13: Structure de réseau bayésien

4.3. Apprentissage des paramètres de réseau bayésien

Après l'apprentissage de la structure, il reste que l'apprentissage des paramètres pour terminer la création de notre réseau Bayésien, dans cette étape il suffit d'appliquer l'algorithme EM pour compléter toutes les tables de probabilités de chaque nœud comme il montre la figure suivante :

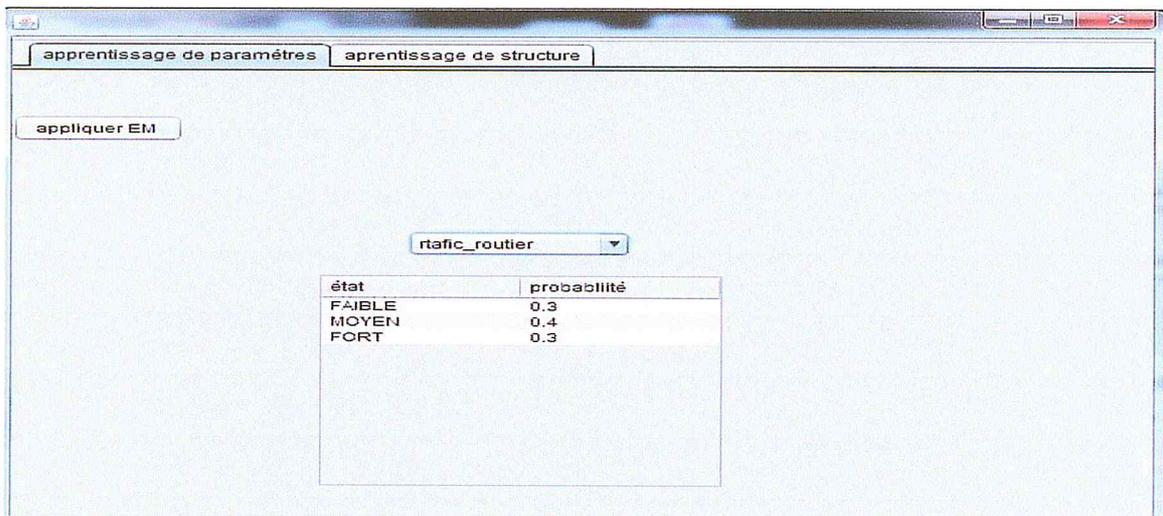


Figure 4. 14: mètre à jour tables de probabilités.

Après avoir terminé la mise à jour de toutes les tables de probabilités, notre réseau bayésien RBEP est prêt pour être utilisé dans l'étape suivante :

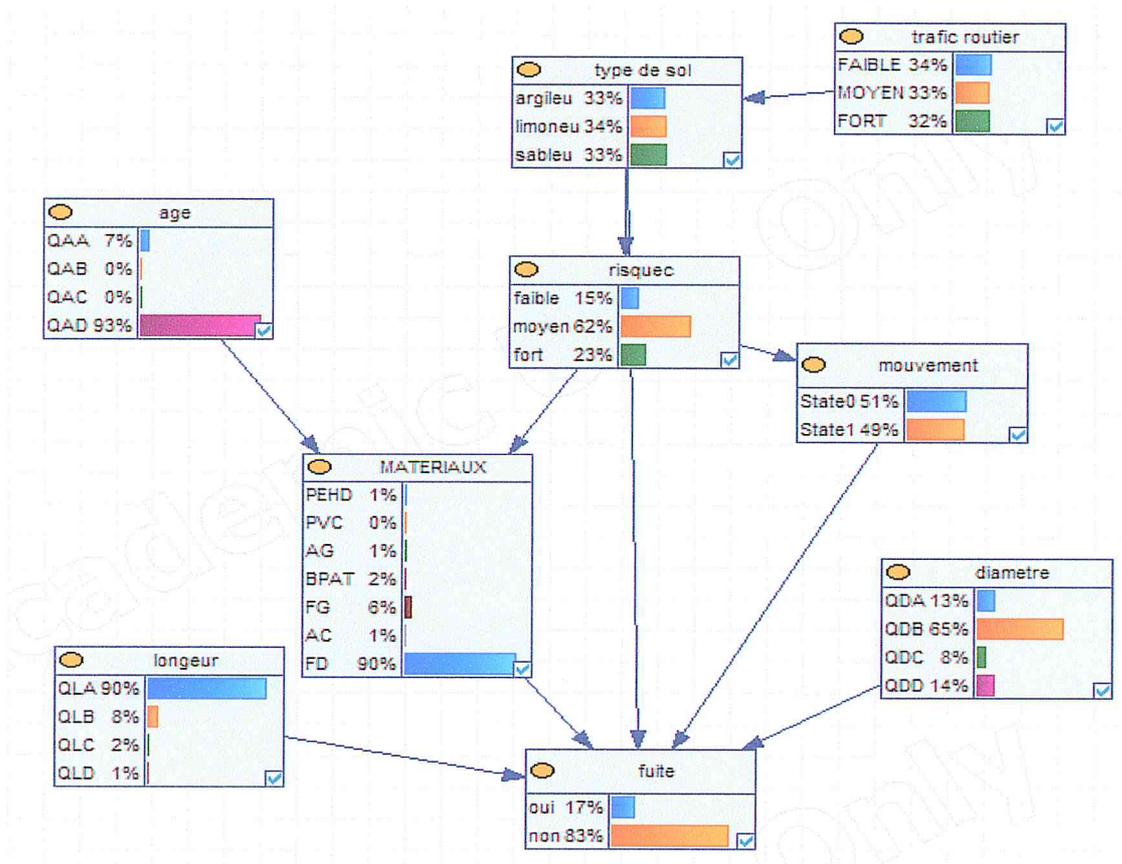


Figure 4. 15:réseau bayésien RBEP

4.4. Mise à jour du réseau bayésien

Dans notre system, il est possible de faire des modifications au niveau de la structure de réseau Bayésien, comme l'ajout des nouveaux nœuds, ou bien au niveau des nœuds comme l'ajout et la suppression des états au nœud précisé.

4.4.1 Ajout des nœuds à la structure

Dans cette étape il faut avoir une structure de réseau crée déjà, pour ajouter d'autres nœuds qui n'existe pas dans le réseau, et donner pour chaque nœud crée les états relatifs de ce nœud avec ses relations, comme il montre le tableau suivant :

| Nœud | États relatifs |
|---------------------|-------------------------|
| Déboitement | OUI/NON |
| Qualité des travaux | Certifiée/non certifiée |

Tableau 4. 1: Les nœuds et ses états relatifs.

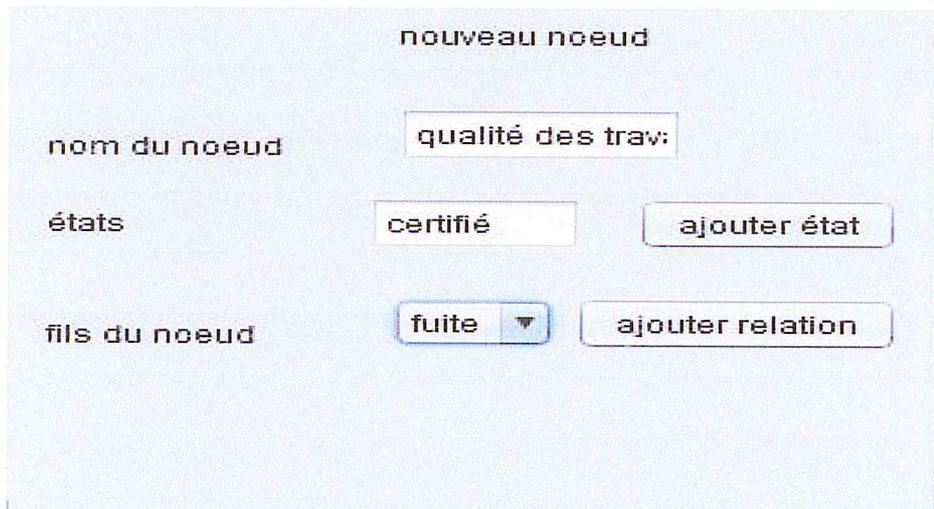


Figure 4. 16:La création des nœuds avec les états et relations.

Un nœud avec ses états et relations :

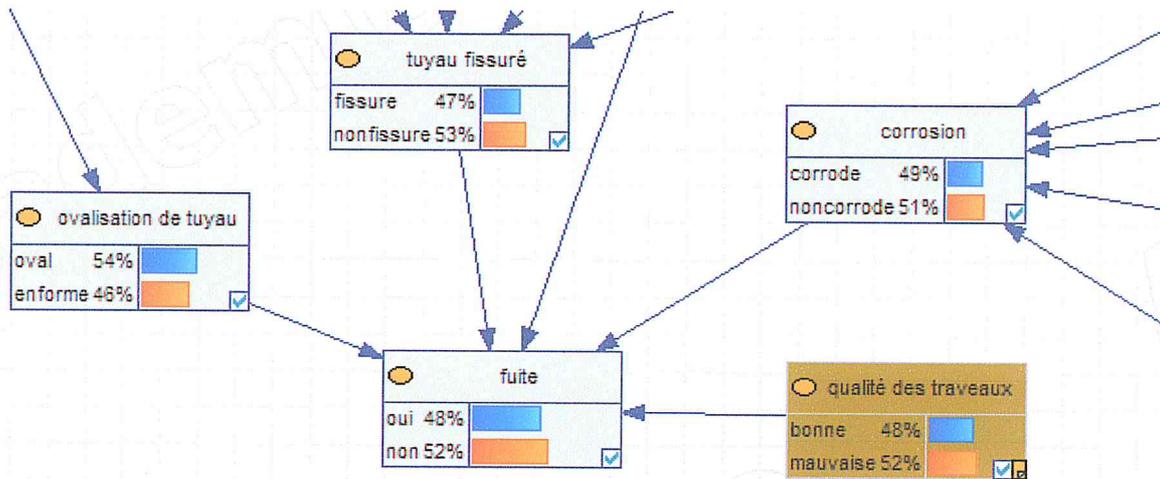


Figure 4. 17:Le nœud ajouté dans le réseau bayésien

4.4.2. Modification au niveau du nœud

- Suppression d'un état

| noeud | états |
|--------------------|---------------------|
| trafic routier | FAIBLE,MOYEN,FORT |
| MATERIAUX | PEHD,PVC,AG,BPAT... |
| RISQUE DE CORRO... | FAIBLE,MOYEN,FORT |
| type de sol | LIMONEU,ARGILEU,... |
| longeur | CLA,CLB |
| age de conduite | CAA,CAB,CAC |

ajouter le noeud supprimer état

Figure 4. 18: Supprimer un état du nœud

- Ajoute d'un état de nœud :

| noeud | états | nouveau noeud | |
|--------------------|---------------------|---------------|---|
| trafic routier | FAIBLE,MOYEN,FORT | nom du noeud | <input type="text" value="longeur"/> |
| MATERIAUX | PEHD,PVC,AG,BPAT... | | |
| RISQUE DE CORRO... | FAIBLE,MOYEN,FORT | états | <input type="text" value="QLC"/> |
| type de sol | LIMONEU,ARGILEU,... | | <input type="button" value="ajouter état"/> |
| longeur | CLA,CLB | | |
| age de conduite | CAA,CAB,CAC | | |

Figure 4. 19: L'ajout d'un nouvel état

| noeud | états |
|--------------------|---------------------|
| trafic routier | FAIBLE,MOYEN,FORT |
| MATERIAUX | PEHD,PVC,AG,BPAT... |
| RISQUE DE CORRO... | FAIBLE,MOYEN,FORT |
| type de sol | LIMONEU,ARGILEU,... |
| longeur | CLA,CLB |
| age de conduite | CAA,CAB,CAC |

Figure 4. 20: Supprimer un état du nœud

- Ajouter un état

| noeud | états | nouveau noeud | |
|--------------------|---------------------|---------------|---|
| trafic routier | FAIBLE,MOYEN,FORT | nom du noeud | <input type="text" value="longeur"/> |
| MATERIAUX | PEHD,PVC,AG,BPAT... | | |
| RISQUE DE CORRO... | FAIBLE,MOYEN,FORT | états | <input type="text" value="QLC"/> |
| type de sol | LIMONEU,ARGILEU,... | | <input type="button" value="ajouter état"/> |
| longeur | CLA,CLB | | |
| age de conduite | CAA,CAB,CAC | | |

Figure 4. 21:L'ajout d'un nouvel état

5. Lancement des requêtes

Après avoir terminé la création du réseau bayésien on peut faire des tests sur les conduites de deux manières :

➤ Tester une conduite de la base de données

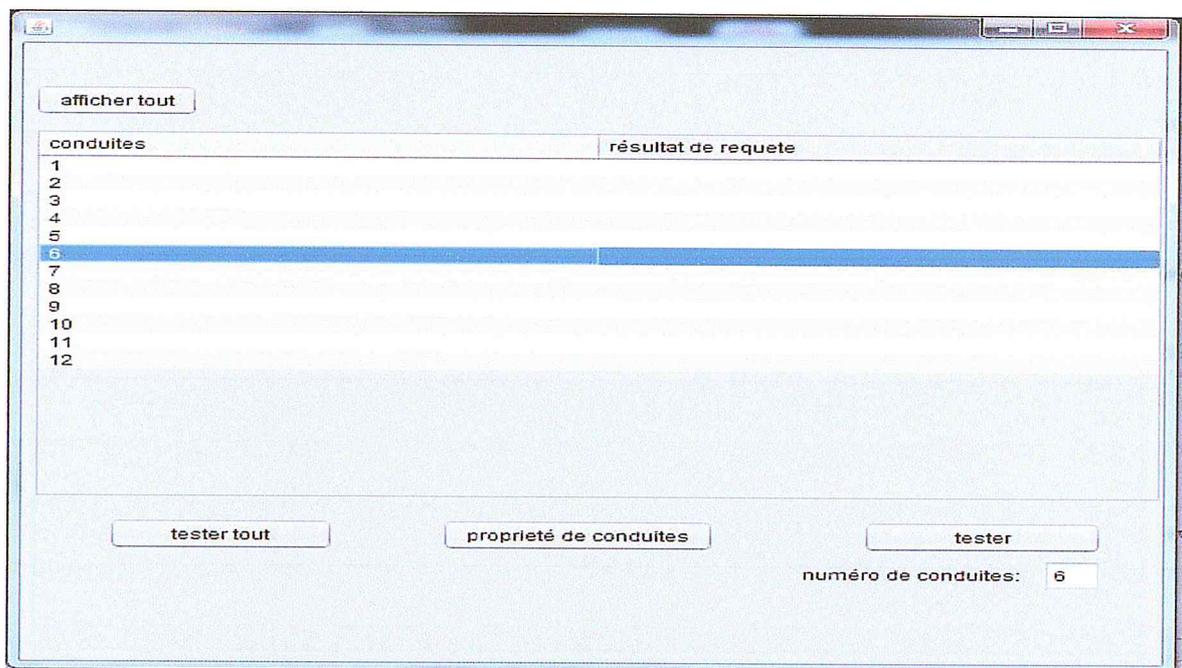
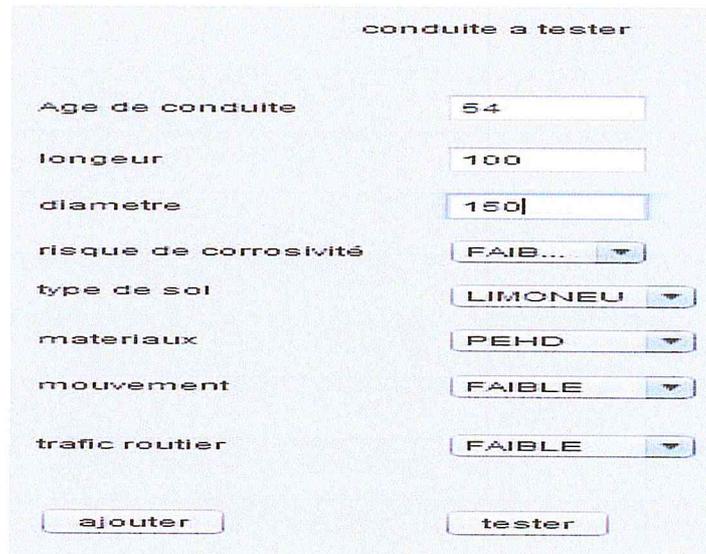


Figure 4. 22: Tester une conduite de la base de données.

➤ Tester une conduite aléatoire

Faire le test sur une conduite aléatoire qui n'existe pas dans la base de données et qui a des symptômes compatibles avec notre système, l'utilisateur doit remplir tous les facteurs montrés dans l'interface suivante :



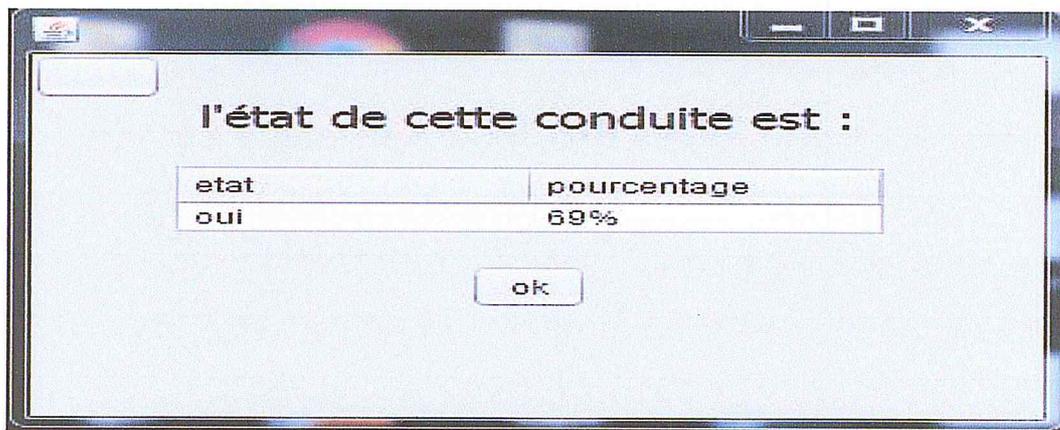
conduite a tester

| | |
|-----------------------|---------|
| Age de conduite | 54 |
| longeur | 100 |
| diametre | 150 |
| risque de corrosivité | FAIB... |
| type de sol | LIMONEU |
| matériaux | PEHD |
| mouvement | FAIBLE |
| trafic routier | FAIBLE |

ajouter tester

Figure 4.23: Test de conduite aléatoire

L'utilisateur doit choisir des nœuds évidences et définir ses observations (un état du nœud choisit est précis), après il clique sur le bouton tester pour lancer la requête et afficher le résultat dans la figure suivante :



l'état de cette conduite est :

| etat | pourcentage |
|------|-------------|
| oui | 69% |

ok

Figure 4.24: Résultat du test

Ce résultat indique que la probabilité d'avoir une fuite dans la conduite testée est égale à oui avec un pourcentage de 69%

6. La validation croisée

La validation croisée est un moyen pour prédire l'efficacité d'un modèle sur un ensemble de validation hypothétique lorsqu'un ensemble de validation indépendant et explicite n'est pas disponible, pour minimiser l'influence du choix du partitionnement de l'ensemble des exemples, la validation croisée subdivise l'ensemble d'entraînement initial en k sous ensemble disjoints D_1, D_2, \dots, D_k de même taille. L'entraînement et le test sont effectués k fois. A l'itération i le sous-ensemble D_i est réservé pour le test et le reste des exemples sont utilisés pour entraîner le modèle. La précision finale du modèle est égale à la moyenne des k précisions de test.

Dans notre cas $K=10$ et le calcul des précisions du système se fait suivant les étapes suivantes :

À chaque itération, le modèle est entraîné sur $k - 1$ parties, et testé sur la partie restante. On obtient à la fin k précisions, la précision du modèle est égale à leur moyenne.

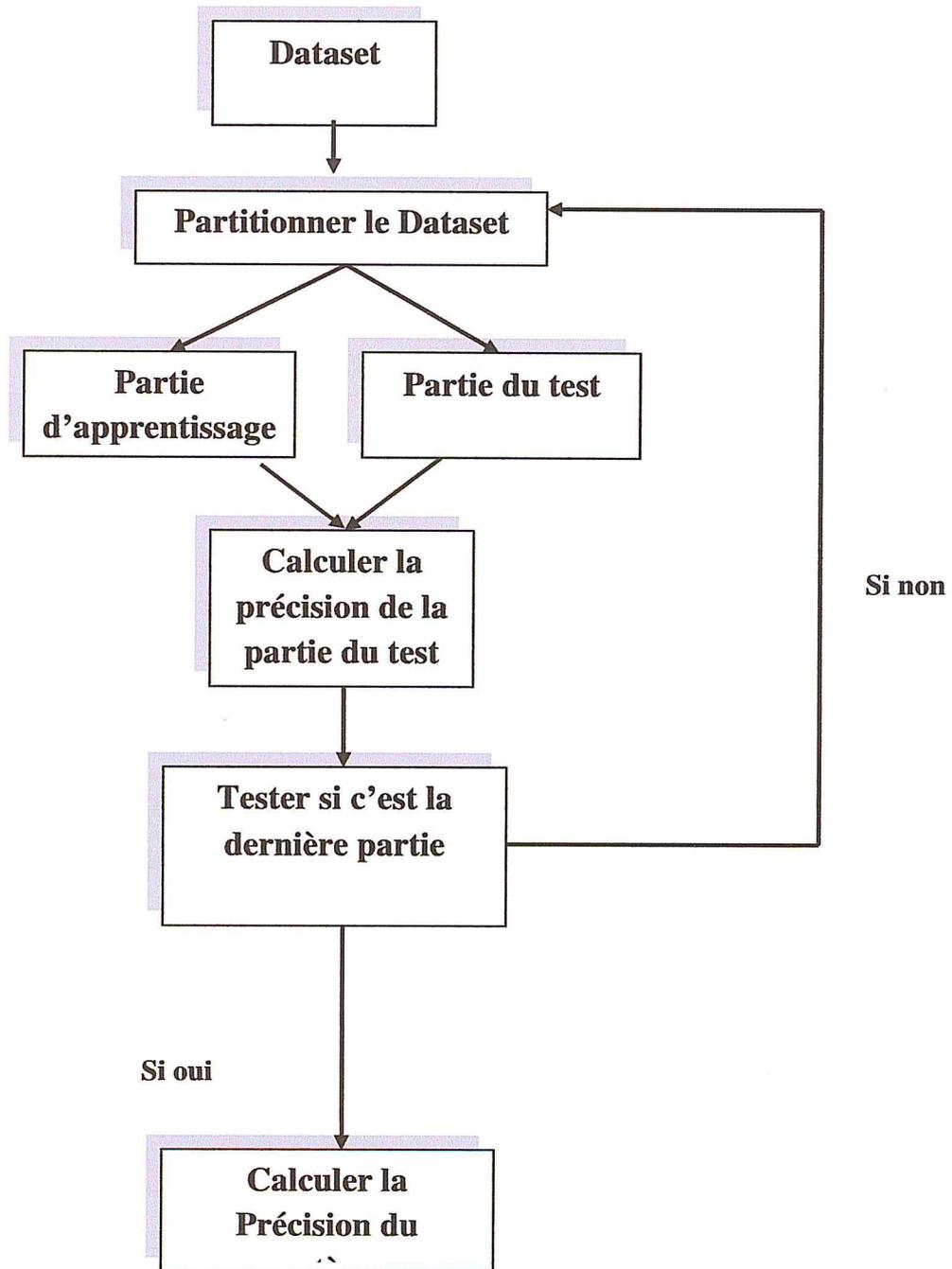


Figure 4. 25 : calculer la précision du système

Après l'exécution du système on a trouvé une précision qui égale à 88%.

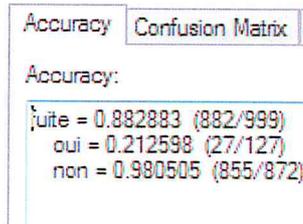


Figure 4. 26: Précision du système

La figure précédente nous montre le résultat de l'exécution de la validation croisée

-Dans l'état « oui » ou se produire la fuite 27 résultats obtenues de la validation croisée similaires avec les états des conduites réels du dataset qui égale a 127 « état=oui », donc ca nous donne un pourcentage de 21 % .

-Dans l'état « non » ou se produire la fuite 855 résultats obtenues de la validation croisée similaires avec les états des conduites réels du dataset qui égale a 872 états= non, donc ca nous donne un pourcentage 98% .

-La somme de ces deux états nous donne 882 résultats obtenues similaires avec les états des conduites réels du dataset qui égale a 999 dans les deux cas 'oui'et'non', avec un pourcentage de 88%.

Et pour cette précision prédictive du système pourrait être continuellement améliorée par la mise à jour de nouvelles données provenant des experts.

7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons montré l'implémentation de notre système de la modélisation de l'incertitude dans les réseaux bayésiens avec des captures de notre application, et nous avons testé le système avec un petit réseau bayésien crée.

Conclusion générale :

Dans ce mémoire, nous avons présenté un système conçu pour la prédiction des fuites, il est prouvé que les réseaux bayésien sont des méthodes fiables pour modéliser l'incertain et pour faire des prédictions en se basant sur des faits réels même en présence d'incertitudes autour de ces derniers.

Tout d'abord, nous avons réussi à localiser et extraire les facteurs de risque de fuites à travers des données réelles qui existent dans les bases de données du domaine hydraulique, et ça nous permet de faire le premier pas pour arriver à notre objectif.

Après la première partie, on conclut les méthodes de création du réseau bayésien selon les facteurs extraits, dans notre problème on effectuant la création du RB passant par l'étape de création de la structure d'une manière semi automatique à l'aide de l'expert du domaine qui définit les différents facteurs de risque précisés et leurs liens de causalités avec les autres facteurs et vu qu'on a des données réelles avec des valeurs manquantes ce qui nous amène à utiliser l'algorithme EM pour finaliser la deuxième partie qui consiste à construire les tables de probabilités pour chaque facteur et qui s'appelle l'apprentissage des paramètres .

Afin de réussir la partie de création du réseau bayésien, nous avons implémenté notre système et nous l'avons testé à partir d'une base d'exemple qui existe dans le réseau d'AEP, ainsi nous avons montré les différentes interfaces avec leurs fonctionnalités pour les deux parties qui sont déjà implémentées : « création du réseau bayésien » et « test du RB ».

Notre système a donné des résultats satisfaisants que sa précision est égale a 88%, après faire le test sur 10 bases d'exemple et calculer les taux de similarités avec la comparaison des résultats du réseau bayésien et les résultats réels.

Référence :

Alberto martini, m. T. (2014). Automatic leak detection in buried plastic pipes of water supply networks by means of vibration measurements.

Ann.becker, p. N. (1999). *Les réseaux bayésiens: modèles graphiques de connaissance.eyrolles.*

Blîndu, i. (2004). Outil d'aide au diagnostic du reseau d'eau potable pour la ville de chisinau par analyse spatiale.

Claudio, k. (2014). *Maitrise de spertes sur les rés eaux d'eau potable.*

Ettouhami, m. K. (2014). *Contribution aux méthodes de détection des fissures et des obstacles dans les conduites d'eau potable du réseau urbain.*

Favero, r. F. (1994). « *backward simulation in bayesian networks* ».

Francis, r. A. (2006). *Bayesian belief networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks.*

Leu, s.-s. (2016). *Leak prediction model for water distribution networks created using a bayesian network learning approach.*

Loire-bretagne, a. D. (2014). Cahier pédagogique n°3 - l'alimentation en eau potable.

Mashford, j. (2009). *An approach to leak detection in pipe networks using analysis of monitored pressure values by support vector machine.*

Pearl, j. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems. Morgan kaufmann.*

Peot, r. D. (1990). *Simulation approaches to general probabilistic inference on belief networks .*

Rehabilitation reseau eau potable,guide technique. (2013).

Salam, a. U. (2015). *Application of svm and elm methods to predict location and magnitude leakage of pipelines on water distribution network.*

Santos, f. (2015). *L'algorithme em : une courte présentation, cnrs, umr 5199 pacea.*

A. benachenhou. planification et développement en Algérie 1962-1980

Seaal. (2018). *Http://www.seaal.dz.*

Référence

- Steffen I. Lauritzen et david j.spiegelhalter. (1988). « local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems ». *Journal of the royal statistical society, series b*, 50 , 157–224.
- Veolia. (s.d.). L'eau potable, production & distribution.
- Z. Poulakis, d. V. (2003). *Leakage detection in water pipe networks using a bayesian probabilistic framework*.
- alberto martini, m. T. (2014). *Automatic leak detection in buried plastic pipes of water supply networks by means of vibration measurements*.
- Ann.becker, p. N. (1999). *Les réseaux bayésiens: modèles graphiques de connaissance.eyrolles*.
- Blîndu, i. (2004). Outil d'aide au diagnostic du reseau d'eau potable pour la ville de chisinau par analyse spatiale.
- Claudio, k. (2014). *Maitrise de spertes sur les rés eaux d'eau potable*.
- Ettouhami, m. K. (2014). *Contribution aux méthodes de détection des fissures et des obstacles dans les conduites d'eau potable du réseau urbain*.
- Favero, r. F. (1994). « *backward simulation in bayesian networks* ».
- Francis, r. A. (2006). *Bayesian belief networks for predicting drinking water distribution system pipe breaks*.
- Leu, s.-s. (2016). *Leak prediction model for water distribution networks created using a bayesian network learning approach*.
- Loire-bretagne, a. D. (2014). Cahier pédagogique n°3 - l'alimentation en eau potable.
- Mashford, j. (2009). *An approach to leak detection in pipe networks using analysis of monitored pressure values by support vector machine*.
- Pearl, j. (1988). *Probabilistic reasoning in intelligent systems. Morgan kaufmann*.
- Peot, r. D. (1990). *Simulation approaches to general probabilistic inference on belief networks* .
- Rehabilitation reseau eau potable, guide technique*. (2013).
- Salam, a. U. (2015). *Application of svm and elm methods to predict location and magnitude leakage of pipelines on water distribution network*.
- Santos, f. (2015). *L'algorithme em : une courte présentation, cnrs, umr 5199 pacea*.
- Seaal. (2018). [Http://www.seaal.dz](http://www.seaal.dz).

Référence

Steffen I. Lauritzen et david j.spiegelhalter. (1888). « local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems ». *Journal of the royal statistical society, series b*, 50 , 157–224.

Veolia. (s.d.). L'eau potable, production & distribution.

Z. Poulakis, d. V. (2003). *Leakage detection in water pipe networks using a bayesian probabilistic framework*.

Netbeans .[enligne].n<https://fr.wikipedia.org/wiki/netbeans>.

annexe :

Défis et enjeux

Les défis de seaal consistaient, d'une part, à moderniser rapidement le service (eau, assainissement, clientèle, patrimoine...) à un niveau de standard international, et, d'autre part, d'autonomiser, à terme, la structure publique grâce à un transfert de savoir-faire de suiez environnement au profit des équipes locales. Le dispositif organisationnel mis en place assure une communication transparente, claire et fiable entre les acteurs pour atteindre une confiance durable.

eau pour tous.

- **Améliorer la qualité de vie des citoyens**

L'objectif du h24 et d'une eau potable 100% conforme aux exigences de qualité des eaux de consommation humaine a été atteint à alger et le sera prochainement à tipasa.

- **Sécuriser durablement la disponibilité de l'eau**
- **Lutte contre le gaspillage**

Afin de réduire les pertes physiques, seaal a axé ses efforts sur la recherche de fuites, la réduction des délais de réparation, l'éradication des débordements de réservoirs, la régulation et la modulation de pression ainsi que la rénovation ciblée des ouvrages et du réseau obsolètes.

La technologie dans la seaal

Seaal a développé et utilise des technologies de dernière génération pour atteindre ses objectifs et a acquis les savoir-faire opérationnels associés.

- **Un centre de télé-contrôle de dernière génération, véritable : « cœur névralgique » de la gestion des flux dans la capitale**

Afin de garantir une gestion optimum des flux de l'eau dans la capitale, la seaal dispose d'un centre de télé-contrôle de dernière génération. Le monitoring du réseau et la

connaissance en temps réel des débits et pressions de distribution permettent désormais de maîtriser les transferts d'eau et, notamment, de faire face aux incidents d'exploitation avec un impact réduit sur la qualité de service.

- **La modulation de pression :**

C'est une technologie innovante qui permet d'adapter la pression de l'eau distribuée au profil horaire de demande en eau des consommateurs. Cette technique permet de réduire les pertes et de prolonger la durée de vie du réseau, tout en garantissant un confort d'utilisation optimal pour les clients.

- **Un système d'information géographique (sig) performant pour les métiers de l'eau et de l'assainissement**

Développé par seaal, cet outil utilisé au départ comme descripteur patrimonial a été adossé à une base de données d'exploitation (par exemple la localisation des fuites) pour apporter une aide dans le processus décisionnel de priorisation des programmes de maintenance et de renouvellement du réseau de distribution.

- **La carte des pressions**

Cette carte, conçue et exploitée par seaal, permet de visualiser, à tout moment, la pression de service délivrée en 180 points représentatifs du réseau de distribution d'alger. Outil de pilotage, en temps réel, du niveau de service rendu aux clients, elle met en évidence les éventuelles anomalies de distribution et fait gagner du temps dans la mise en œuvre des actions correctives. (seaal, 2018)

Secteur de distribution

Pour des raisons de commodité de gestion, de topographie ou de géographie, un réseau de distribution peut être divisé de façon permanente ou non en zones indépendantes ou secteurs dont chacun est alimenté en un ou plusieurs points. Il constitue une unité géographique facilement isolable, reliée hydrauliquement aux mêmes ouvrages de production et de distribution. Un secteur peut être divisé en sous-secteurs pour l'établissement d'un diagnostic de l'état d'un réseau ou pour la pré-localisation de fuites

