

Une approche probabiliste pour la gestion des réseaux de distribution d'eau potable

Probabilistic approach for the management of drinking water distribution networks

Zine Ghemari ¹

Electrical Engineering Department
University of M'sila
M'sila, Algeria
ghemari-zine@live.fr

Abdelaziz Lakehal ²

Department of Mechanical Engineering
Mohamed Chérif Messaadia University
P.O. Box 1553, Souk-Ahras, 41000, Algeria,
lakehal21@yahoo.fr

Résumé— Un réseau de distribution d'eau potable (RDE) se compose de plusieurs éléments, dont les principaux sont : les canalisations et les robinets à vannes. Les canalisations sont des éléments statiques qui permettent le transport de l'eau potable jusqu'à l'abonné, tandis que les vannes sont des éléments dynamiques qui assurent la gestion du flux d'eau. Cet article présente une approche bayésienne qui permet une gestion prévisionnelle de la distribution d'eau sur la base de l'évaluation de la fiabilité des éléments constitutifs du réseau. Une modélisation sur la base d'un réseau bayésien statique (RBS) est mise en œuvre pour analyser qualitativement et quantitativement la disponibilité d'eau dans les différents tronçons du réseau. Les réseaux bayésien dynamiques (RBD) sont ensuite utilisés pour évaluer la fiabilité du système de robinetterie en fonction du temps, ce qui permet une gestion prévisionnelle de la distribution d'eau basée sur l'évaluation de la disponibilité des différents tronçons. Finalement une application sur les données d'une fraction de réseau de distribution alimentant une ville est présentée pour montrer l'efficacité et la forte contribution des réseaux bayésien (RBs) dans ce domaine.

Mots clés—réseau de distribution d'eau (RDE) ; fiabilité des canalisations ; robinets à vannes ; réseaux bayésien dynamique (RBD) ; disponibilité d'eau.

Abstract— Drinking water distribution network (WDN) consists of several elements the main ones: pipes and valves. The pipes are static elements that allow the transport of drinking water to the subscriber, while the valves are dynamic components which perform ensure management of water flow. This paper presents a Bayesian approach that allows management of water distribution based on the evaluation of the reliability of network components. Modelling based on a Static Bayesian Network static (SBN) is implemented to analyze qualitatively and quantitatively the availability of water in the different sections of the network. Dynamic Bayesian networks (DBN) are then used to assess the vales reliability function of time, which allows for management of water distribution based on the availability assessment of different sections. Finally an application on data of a fraction of a distribution network supplying a town is presented to show the effectiveness and the strong contribution of Bayesian networks (BNs) in this area.

Keywords—water distribution network (WDN); Pipelines reliability; Valves; Dynamic Bayesian Networks (DBN); water availability.

I. INTRODUCTION

Les réseaux de distribution d'eau (RDEs) sont des infrastructures souterraines, ils ont pour vocation l'alimentation en eau des consommateurs, à une pression d'utilisation comprise à l'intérieur d'une fourchette bien précise. Ces réseaux comprennent principalement des conduites, des branchements, des systèmes de comptage, et des vannes. Actuellement, les réseaux sont constitués de conduites en polyéthylène. A l'aval de ces réseaux, se situent des branchements individuels ou collectifs eux même en polyéthylène, et des conduites montantes dans le cas des immeubles collectifs, qui alimentent les installations intérieures des clients.

A travers cet article nous allons chercher à donner une contribution à la gestion des RDEs par l'évaluation de la fiabilité. La disponibilité de l'eau dans un RDE dépend de la disponibilité du system de pompage, de la qualité de l'eau, du comportement mécanique des composants du réseau, et des paramètres hydraulique. Tous ces paramètres contribuent à l'évaluation et l'analyse de la fiabilité des RDEs. [1] définit la fiabilité sur la base de la qualité de l'eau par la fraction de la qualité délivrée. [2] ont défini la fiabilité sur la base de la qualité de l'eau par la proportion de temps dans la quelle le réseau était en mesure de fournir la qualité souhaitée d'eau. Les deux paramètres ci-dessus sont basés sur la proportion de temps pendant laquelle un réseau fournit une eau de qualité. [3] ont proposé une méthodologie d'analyse de la fiabilité basée sur la qualité d'eau à l'aide de deux paramètres : la fiabilité hydraulique du système et la qualité de l'eau. Ces paramètres de fiabilité : hydrauliques et qualité d'eau décrivent ainsi la fiabilité du RDE. L'inconvénient majeur dans l'obtention de ces paramètres est lié à la méthode de modélisation [4]. Quantitativement, la fiabilité d'un système de distribution d'eau peut être définie comme le complément



La 3ème **C**onférence **I**nternationale sur la **M**aintenance et la
Sécurité **I**ndustrielle (**CIMSI**)
Skikda; le 09 et 10 Novembre 2015

UNE APPROCHE PROBABILISTE POUR LA GESTION DES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE

Zine Ghemari

Electrical Engineering Department

University of M'sila

M'sila, Algeria

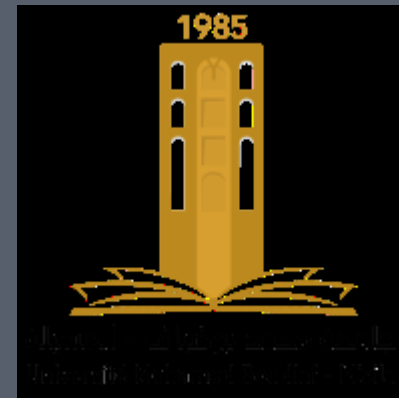
ghemari-zine@live.fr

1

Abdelaziz Lakehal,

Department of Mechanical Engineering,
Mohamed Chérif Messaadia University, P.O.

Box 1553, Souk-Ahras 41000, Algeria.



PLAN DE TRAVAIL

- **Introduction**
- **Les Modèles Bayésiens**
- **Développement du Modèle Bayésien de Disponibilité**
- **Application et Discussion**
- **Conclusions**

INTRODUCTION

Les réseaux de distribution d'eau comprennent principalement des conduites, des branchements, des systèmes de comptage, et des vannes.



A travers cet présentation nous allons chercher à donner une contribution à la gestion des RDEs par l'évaluation de la fiabilité.

La disponibilité de l'eau dans un RDE dépend de la disponibilité du system de pompage, de la qualité de l'eau, du comportement mécanique des composants du réseau, et des paramètres hydraulique.

Tous ces paramètres contribuent à l'évaluation et l'analyse de la fiabilité des RDEs.

- Quantitativement, la fiabilité d'un système de distribution d'eau peut être définie comme le complément de la probabilité que le système échoue, un échec étant défini comme l'incapacité du système à fournir l'eau aux consommateurs.
- Deux types d'événements peuvent provoquer l'échec d'un système de distribution d'eau: la défaillance des composants du système (par exemple :
 - les tuyaux et / ou les éléments de commande hydraulique),
 - et / ou la demande (transport de quantités désirées d'eau à des pressions souhaitées à des endroits appropriés souhaités à des moments appropriés souhaités).

Dans la suite on s'intéresse à la fiabilité mécanique des éléments constitutifs du RDE, dont la défaillance de l'un de ces éléments peut mettre une fraction du RDE hors service et par conséquent interrompre l'alimentation en eau d'une population.

Plusieurs auteurs ont basé leurs études dans le domaine des RDEs sur la l'évaluation de la fiabilité par les méthodes d'intelligences artificielle, soit dans la phase conception, ou dans la phase exploitation.

La méthodologie présentée ci-après, est basée sur l'évaluation de la disponibilité de l'eau dans le RDE sur la base de la modélisation de la fiabilité de la tuyauterie et des vannes par réseau bayésien (RB).

LES MODÈLES BAYÉSIENS EN GÉNÉRALE

Chaque événement indésirable a une ou plusieurs causes.

Donc dans l'exploitation des RDEs chaque scénario a une structure de type cause – conséquence:

➤ *par exemple une interruption d'alimentation en eau est la conséquence d'une fuite, ou encore des travaux de maintenance sur le RDE, chaque scénario des deux a une probabilité individuelle qui influence notre croyance et change la probabilité de la conséquence finale.*

les causes ont une probabilité d'occurrence définie a priori par mesure, ou suite d'un avis d'expert.

Un RB (figure 1) est défini par un graphe acyclique orienté (DAG) tel que

$$p(V_1, V_2, \dots, V_n) = \prod_{i=1}^n p(V_i / C(V_i)) \quad (1)$$

Où $C(V_i)$ est l'ensemble des parents (ou causes) de V_i dans DAG.

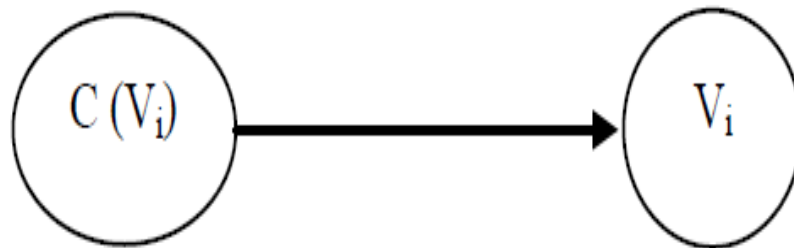


Figure 1 : Représentation graphique d'un simple RB

DÉVELOPPEMENT DU MODÈLE BAYÉSIEN DE DISPONIBILITÉ

○ *Modélisation par réseau bayésien statique*

La disponibilité de l'eau dans un tronçon dépend de la fiabilité de la tuyauterie et celle de la vanne.

La modélisation par RB est semblable à celle de l'arbre de défaillance

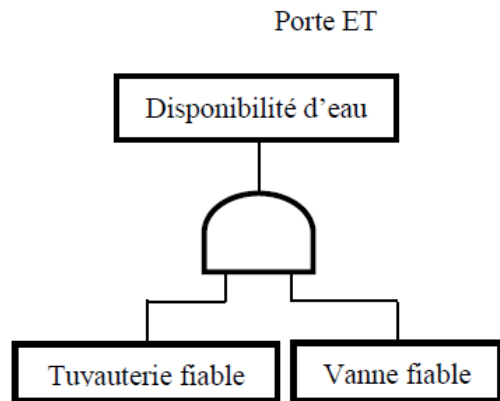


Figure 2.a

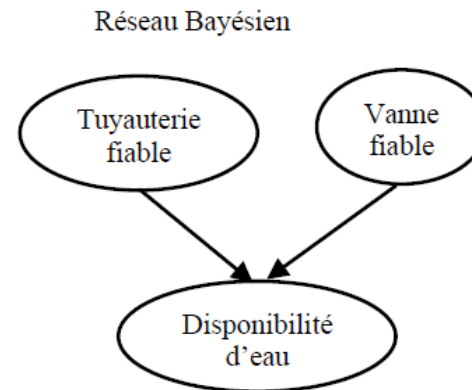


Figure 2.b

Figure 2 : Conversion d'un arbre de défaillance en RB

○ *Modélisation par réseau bayésien dynamique*

Un RB est un outil de modélisation qui traite les problématiques où la variable est statique. Dans un tel domaine, chaque variable a une valeur unique et fixe.

Les réseaux bayésiens dynamiques (RBDs) sont des modèles graphiques permettant de représenter de manière compacte les incertitudes inhérentes à des systèmes dynamiques évoluant au cours du temps.

Dans le cadre de cette étude nous allons utiliser les RBDs pour évaluer la fiabilité des vannes, et par conséquent prédire les différentes situations d'alimentation des différents tronçons.

Afin de maîtriser l'alimentation en eau il faut contrôler et suivre l'évolution dans le temps des variables (disponibilité d'eau) pour chaque fraction du RDE.

Pour atteindre cet objectif l'idée est d'inférer quelle est la possibilité par exemple que l'eau soit disponible dans une fraction de RDE en fonction des séquences de fermeture de la vanne.

Dans ce cas la variable aléatoire caché c'est (disponibilité d'eau)_t avec deux état (vrai) et (faux), et la variable observé c'est (état de la vanne)_t. et la satisfaction de ces suppositions est modélisé par les dépendances entre toutes les variables du modèle ce qui est donné par le RBD de la figure 3 :

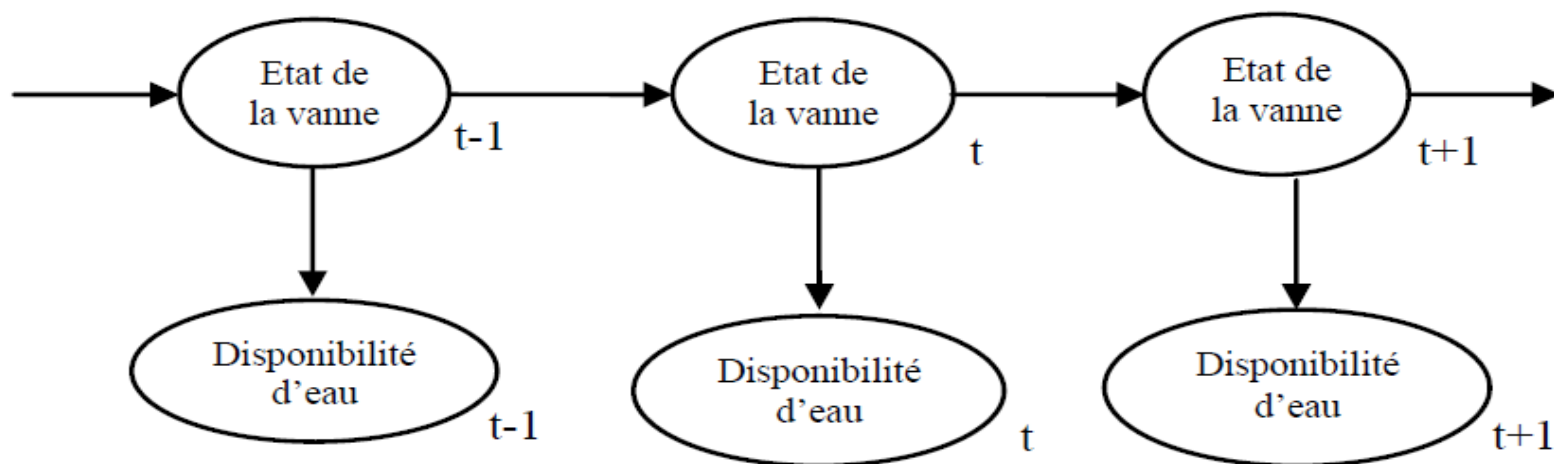


Figure 3 : Modélisation de l'isolation d'une zone par réseau bayésien dynamique

Sur la figure 3, le fait d'indiquer un arc entre les deux variables $(\text{Disponibilité d'eau})_t$ et $(\text{état de la vanne})_t$, cela signifie que la disponibilité d'eau dépend de l'état et la fiabilité de la vanne à l'instant t , et de même la fiabilité de la vanne à l'instant t dépend de sa fiabilité à l'instant $t-1$.

A partir de ce RBD il est possible de calculer la distribution à postériori la plus récente de la variable $(\text{disponibilité d'eau})_t$, comme il est possible de calculer la probabilité à postériori dans un temps futur de la variable $(\text{disponibilité d'eau})_{t+n}$, ou n le nombre de pas de temps, , tel que :

$$P(V_t/V_{t-1}) = \prod_{i=1}^N P(V_{i,t}/C(V_i)_{i,t}) \quad (2)$$

APPLICATION ET DISCUSSION

Les données utilisées dans l'étude de cas présentée dans la suite de cette présentation concernent un réseau de distribution d'eau alimentant une ville.

Il existe deux architectures pour les RDEs : soit réseau en antenne, soit réseau maillé (bouclé).

Dans le premier cas la fraction du réseau est commandé par une seule vanne, donc la disponibilité de l'eau dans le cadre de cette étude dépend principalement de la fiabilité de la tuyauterie et celle de la vanne (figure 4).

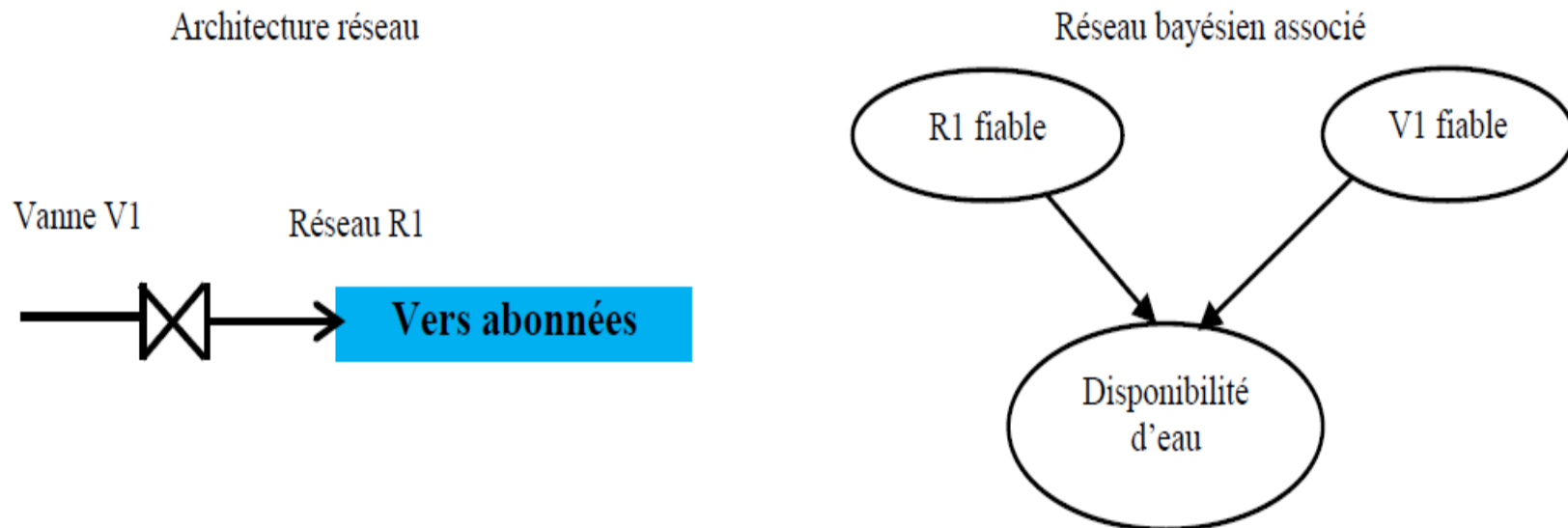


Figure 4 : réseau en antenne

Dans le deuxième cas la disponibilité de l'eau est essentiellement fonction de la fiabilité de la tuyauterie et des vannes de sectionnement (dans cette étude de cas existe deux vannes) (figure 5).

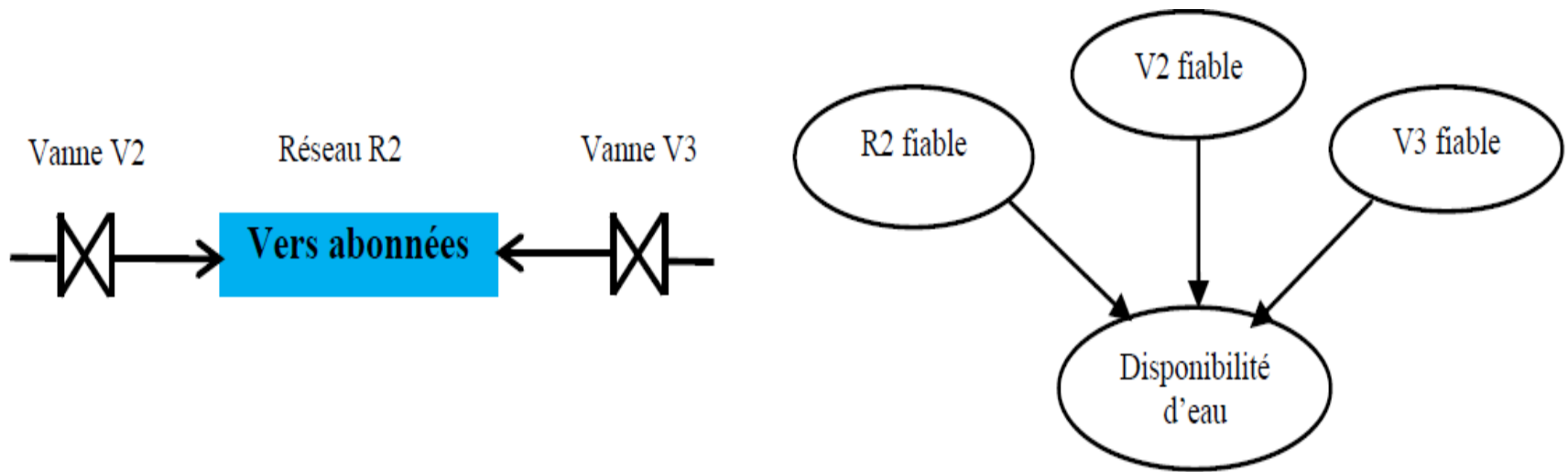


Figure 5 : réseau maillé

Le tableau 1 donne les taux de défaillances par an des tuyauteries R1, et R2, au regard de deux états (vrai) et (faux) et les vannes V1, V2, et V3 au regard du défaut : la vanne ne s'ouvre pas, avec deux états (vrai) et (faux).

Tableau 1 : Probabilités a priori

Eléments	Défaillance	Etat	Probabilité
R1	Fuite	Vrai	0.89
R2	Fuite	Vrai	0.90
V1	Ne s'ouvre pas	Vrai	0.05
V2	Ne s'ouvre pas	Vrai	0.04
V3	Ne s'ouvre pas	Vrai	0.07

Par l'application de la formule (2) et sur la base des TPCs montrées dans les tableaux 2 et 3, on obtient les probabilités de disponibilité de l'eau en fonction du temps. Les résultats sont présentés sur la figure.5, ils dépendent de la fiabilité des vannes et des réseaux, des deux architectures

Tableau 2 : Table de Probabilité Conditionnelle Pour R1

	V1	Vrai		Faux	
	R1	Vrai	Faux	Vrai	Faux
Disponibilité d'eau	Vrai	0	0	1	1
	Faux	1	1	0	0

Tableau 3 : Table de Probabilité Conditionnelle Pour R2

	V2	V				F			
	V3	V		F		V		F	
	R2	V	F	V	F	V	F	V	F
Disponibilité d'eau	Vrai	0	0	1	0	1	0	1	0
	Faux	1	1	0	1	0	1	0	1

V = Vrai ; F = Faux

L'interprétation des TPCs est la suivante : pour la première architecture, si la vanne ne s'ouvre pas donc l'eau est indisponible, et de même si la conduite est défaillante l'eau est indisponible. Pour la deuxième architecture, l'eau est disponible, si une des vannes au moins s'ouvre et la conduite est fiable.

Tableau 2 : Table de Probabilité Conditionnelle Pour R1

	V1	Vrai		Faux	
	R1	Vrai	Faux	Vrai	Faux
Disponibilité d'eau	Vrai	0	0	1	1
	Faux	1	1	0	0

Tableau 3 : Table de Probabilité Conditionnelle Pour R2

	V2	V				F			
	V3	V		F		V		F	
	R2	V	F	V	F	V	F	V	F
Disponibilité d'eau	Vrai	0	0	1	0	1	0	1	0
	Faux	1	1	0	1	0	1	0	1

V = Vrai ; F = Faux

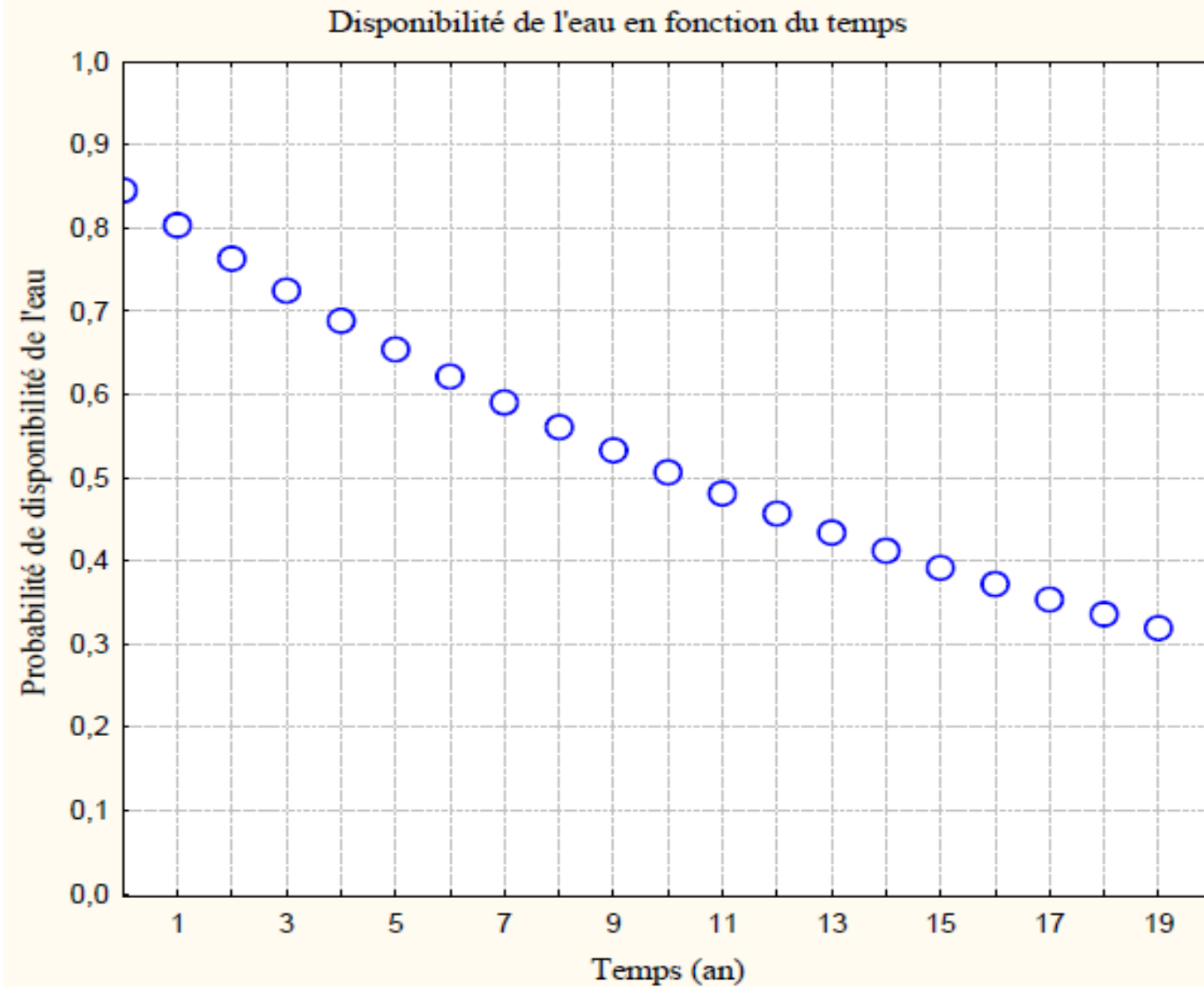


Figure 6 : Disponibilité de l'eau en fonction du temps pour l'architecture réseau en antenne

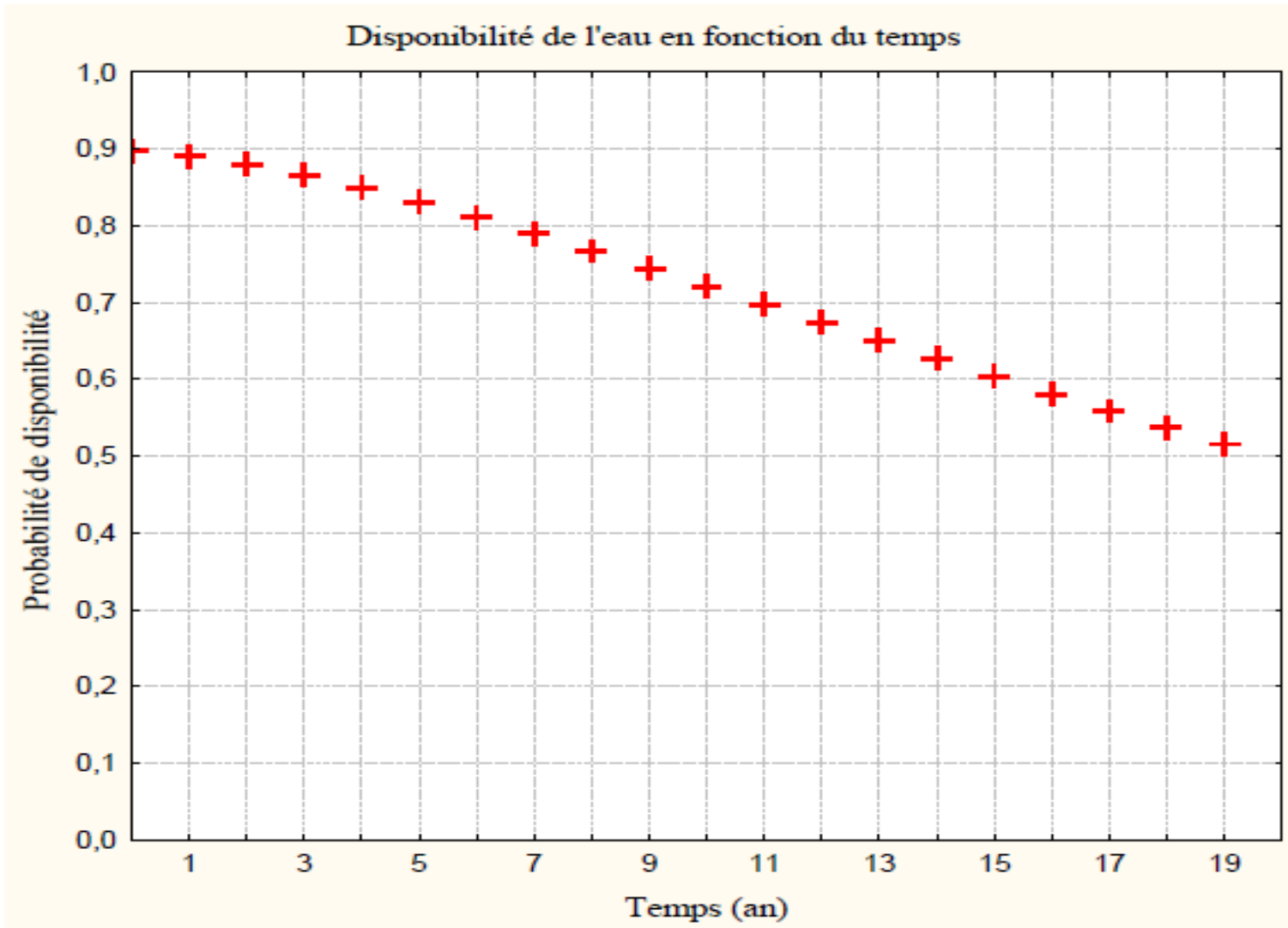


Figure 7 : Disponibilité de l'eau en fonction du temps pour l'architecture réseau maillé

Cette section présente des résultats prévisionnels sur la disponibilité de l'eau, les résultats (figure 6 et figure 7) s'ont fonction de la fiabilité de la tuyauterie et des vannes.

A partir des résultats obtenus par notre modèle il est possible d'extraire facilement les informations et les transformer en donner quantitatives et qualitatives, ce qui permet de prédire le comportement des RDEs et donne la possibilité de faire une gestion prévisionnelle des RDEs d'une part, et de simuler les actions de maintenance ainsi que celle d'investissement d'une autre part

CONCLUSION

Dans cet exposé, nous avons montré une application d'un outil d'aide à la prise de décision qu'est le RB.

Le modèle développé dans ce travail aide les exploitants des RDEs à évaluer la disponibilité de l'eau en fonction de temps ce qui permet une gestion prévisionnelle.

Le recours aux RBDs est dû au caractère comportemental dynamique des organes de manœuvres qui sont les robinets à vanne.

En outre dans l'exploitation des RDEs d'une manière générale il faut que les actions de maintenance et d'investissement soient inscrites dans le temps. Pour ce faire les réseaux bayésien dynamiques sont de puissants outils de simulation de l'impact de ces actions sur la maîtrise des réseaux en fonction de temps.

Dans nos futures travaux, nous allons chercher à développer notre modèle par la prise en compte de la fiabilité hydraulique.

MERCI POUR VOTRE ATTENTION