Partenariat 2013 – Domaines Savoirs – Action 06

# Surveillance chimique : optimisation des fréquences de mesure pour la surveillance des eaux souterraines en vue de répondre à la DCE s'agissant de la prise en compte des tendances d'évolution des contaminations

**Rapport final**

**B. Lopez, A. Leynet, N. Croiset, J.P. Ghestem (BRGM)**

**Septembre 2014**

Document élaboré dans le cadre de :
La Directive Cadre sur l'Eau

- **AUTEURS**

**Benjamin LOPEZ**, ingénieur hydrogéologue (BRGM), b.lopez@brgm.fr

**Aurélien LEYNET**, ingénieur géostatistique (BRGM), a.leynet@brgm.fr

**Nolwenn CROISET**, ingénieur mathématiques (BRGM), n.croiset@brgm.fr

**Jean-Philippe GHESTEM**, ingénieur chimiste (BRGM), j.p.ghestem@brgm.fr

- **CORRESPONDANTS**

**Onema : Pierre-François STAUB**, pierre-francois.staub@onema.fr

**DEB/MEDDE : Sarah BONNEVILLE**, sarah.bonneville@developpement-durable.gouv.fr

**Partenaire : Laurence GOURCY**, correspondante Onema (BRGM), l.gourcy@brgm.fr

**Droits d'usage : Accès libre**

**Niveau géographique : National**

**Couverture géographique** : France

**Niveau de lecture : Professionnels, experts**

- **RESUME**

L'état chimique des eaux souterraines au sens réglementaire du terme (Directive 2000/60/CE et directive eaux souterraines 2006/118/CE) est estimé en France à partir des données de concentrations en éléments acquises notamment au sein des réseaux de contrôle de surveillance et de contrôle opérationnel (RCS et RCO respectivement). Ces réseaux sont dimensionnés dans l'espace (nombre, type et localisation des points de prélèvements), dans le temps (fréquences de prélèvements) et en liste de substances recherchées dans l'objectif de répondre aux exigences de la Directive Cadre sur Eau (DCE). Celle-ci impose en particulier aux États-membres d'identifier les tendances et les inversions des tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Dans la perspective de la révision des réseaux de surveillance qui doit intervenir pour le prochain cycle de gestion 2016-2021, l'action a donc pour but de tester les capacités des réseaux actuels à fournir des données permettant d'identifier les tendances et, plus largement, d'optimiser les fréquences de prélèvements dans le but de rationaliser les réseaux tout en gardant la capacité de répondre aux exigences réglementaires.

L'action a débuté par le développement d'une méthode qui permet de générer des chroniques virtuelles de suivi de la qualité des eaux. Cette méthode repose sur la définition de 4 modèles mathématiques d'évolution temporelle des contaminants chimiques dans les eaux souterraines : évolution monotone, cyclique annuelle, cyclique pluriannuelle et à double cycles annuel et pluriannuel. La formulation des modèles d'évolution est issue de l'analyse géostatistique de chroniques réelles d'évolution des concentrations en nitrates et produits phytosanitaires du bassin Seine-Normandie réalisée en 2011 . Des chroniques virtuelles de suivi de la qualité des eaux ont ensuite été générées en prélevant, dans les chroniques d'évolutions des contaminants, selon une fréquence donnée et pendant un temps donné, des valeurs de concentrations entachées d'une incertitude analytique équivalente. Cette méthode a permis d'obtenir un jeu de chroniques conséquent, aux caractéristiques connues et paramétrables, sur lesquelles l'outil d'identification des tendances HYPE a été appliqué. Les tendances vraies des chroniques étant connues car définies dans les modèles mathématiques d'évolution, il a été possible de calculer, pour chaque modèle de comportement et chaque type de chronique, la probabilité d'identifier les tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines.

Afin de faciliter l'analyse et la lecture des résultats, des abaques ont été construits, présentant l'évolution des probabilités de détection des tendances en fonction de la longueur de la chronique, de la valeur de la pente de la tendance et de la fréquence de prélèvement, et ce, pour chaque modèle de comportement temporel et valeur d'incertitude analytique équivalente. Les résultats montrent que, d'une manière générale, ce sont les évolutions temporelles des contaminants selon des cycles pluriannuels qui nécessitent les fréquences de suivi les plus serrées. Pour ces cas particuliers, en considérant des chroniques longues de 12 années, soit 2 cycles complets de gestion, les fréquences de prélèvements les plus élevées préconisées dans la DCE (12 analyses par an) ne suffisent pas à identifier les tendances testées selon un niveau de confiance de 95 %, même en réduisant de manière drastique l'incertitude analytique. Les résultats confirment aussi la nécessité de bien comprendre les modalités qui guident les évolutions temporelles des contaminants dans les eaux souterraines, notamment lorsqu'il s'agit de définir les réseaux au travers desquels sont réalisés les suivis. Cette connaissance sera néanmoins toujours favorisée par l'augmentation du nombre de données robustes disponibles, et donc par l'augmentation des fréquences de suivis de la qualité des eaux.



- **MOTS-CLES : EAUX SOUTERRAINES, FREQUENCE DE SURVEILLANCE, TENDANCE, DIRECTIVE CADRE SUR L'EAU**

- **SYNTHESE POUR L'ACTION OPERATIONNELLE**

## CONTEXTE GENERAL

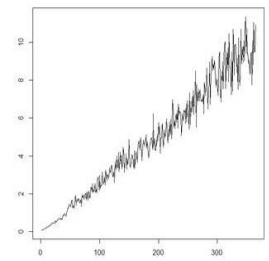
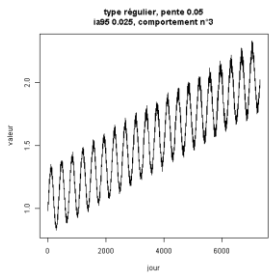
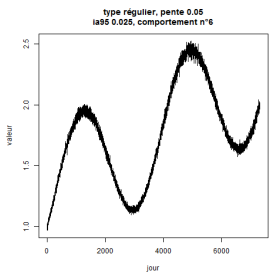
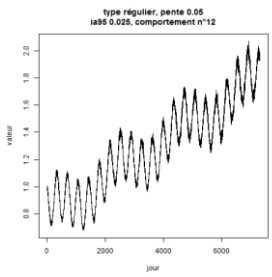
Ce rapport est destiné en premier lieu aux gestionnaires de la ressource en eaux souterraines qui travaillent en lien étroit avec la mise en application de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE), notamment sur le volet qui concerne le suivi de la qualité des eaux. Plus précisément, les résultats présentés dans le rapport aideront les gestionnaires à optimiser les réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines en termes de fréquences de prélèvement afin de répondre à l'objectif d'identification des tendances d'évolution.

La présente action a été réalisée dans le cadre de la convention partenariale qui lie le BRGM à l'ONEMA sur le cycle 2013-2015 et plus particulièrement dans la thématique « Protection des ressources en eau contre les pollutions » inscrite dans la convention. Elle entend aider à répondre aux objectifs de la Directive 2000/60/CE et la directive eaux souterraines 2006/118/CE qui impose aux États-membres d'identifier les tendances et les inversions des tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines. L'action s'appuie sur les données issues des réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines RCS et RCO destinés entre autres à « détecter la présence de tendances à la hausse à long terme de la pollution induite par l'activité anthropogénique » (annexe V.2 de la DCE). Les travaux interviennent dans un contexte de révision des programmes de surveillance qui doit intervenir pour le prochain cycle de gestion qui débute en 2016. Cette action fait suite à la revue bibliographique et aux premiers tests des méthodes statistiques existantes pour l'identification des tendances d'évolution des contaminants dans les eaux souterraines réalisés sous convention ONEMA-BRGM en 2010 (Lopez et Leynet, 2011 ; rapport BRGM/RP-59515-FR). Elle fait aussi suite au projet national tendance (convention ONEMA-BRGM 2012) mené en partie dans le cadre de l'État des lieux 2013 avec l'élaboration de « fiches tendance » par masse d'eau souterraine et permettant le développement d'un outil de calcul des tendances et de classement des chroniques en fonction de leurs caractéristiques (HYPE, Croiset et Lopez, 2013 ; rapport BRGM/RP-63066-FR). L'action proposée fait enfin suite à l'action AQUAREF menée en 2010 sur la surveillance de polluants dans les eaux souterraines : impact de l'incertitude de mesure sur l'évaluation des tendances (Ghestem et al., 2010 ; rapport BRGM/RP-59432-FR).

Les objectifs précis de l'étude étaient : (i) de développer une méthode de génération de chroniques théoriques d'évolution de la qualité des eaux souterraines simulant les évolutions réelles in situ et reprenant les caractéristiques des suivis actuels ; (ii) de fournir des outils (abaques) indiquant – par grand type d'évolution temporelles des contaminants dans les eaux souterraines – la capacité théorique d'un réseau de surveillance donné à identifier une tendance en fonction de la fréquence d'acquisition des données, de la longueur de la chronique et de la famille analytique des substances (c'est-à-dire en fonction des gammes d'incertitudes d'analyses) et (iii) d'estimer dans quelle mesure les fréquences de prélèvement définies dans les programmes actuels de la surveillance de la qualité des eaux souterraines et leur variabilité peuvent influencer la capacité à identifier une tendance.

## PRINCIPAUX ACQUIS

La première phase des travaux engagés au titre de l'action a abouti à l'élaboration d'une méthode de génération de chroniques virtuelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Basée sur l'analyse géostatistique par variogramme des chroniques des concentrations en nitrate et produits phytosanitaires dans les eaux souterraines réalisée en 2011 à l'échelle du bassin Seine-Normandie (Lopez et al., 2012 ; rapport BRGM/RP-60402-FR), 4 grands « modèles » d'évolution temporelle de la chimie des eaux ont été définis. Ces modèles mathématiques permettent de générer des évolutions théoriques (courbes continues) selon 4 structures : monotone, cyclique annuelle, cyclique pluriannuelle et à double cycles annuel et pluriannuel. Les modèles sont paramétrables sur la variables « cyclicité » (période et amplitude), « bruit environnemental » (variance du signal) et il est possible d'y affecter une tendance. Des tracés exemples des 4 types d'évolutions théoriques générées selon cette méthode sont présentés ci-dessous (variance de 0,2 et pente de + 5% de la valeur initiale par an) :

| 1) Evolution monotone | 2) Evolution cyclique annuelle | 3) Evolution cyclique pluriannuelle | 4) Evolution à double cyclces annuel et pluriannuel (partition 50/50) |
|---|---|---|---|
|  |  |  |  |

***Exemple d'évolutions théoriques de la chimie des eaux souterraines selon les 4 modèles définis dans l'étude affectés d'une variance de 0,2 et d'une pente de + 5 % de la valeur initiale par an.***

À partir de ces évolutions théoriques de la chimie des eaux souterraines, le suivi de la qualité est simulé en prélevant dans ces signaux, selon une certaine fréquence, des valeurs de concentrations affectées par un certain bruit (assimilable à l'incertitude de mesure incluant l'incertitude sur les opérations d'échantillonnage/prélèvement à la station et l'incertitude analytique au laboratoire). Cet exercice permet de reproduire de manière théorique les chroniques de suivi de la qualité des eaux souterraines disponibles dans les bases de données et à partir desquelles est calculé l'état chimique des eaux dont l'identification des tendances fait partie. Les chroniques sont caractérisées par leur longueur (L), leur fréquence de prélèvements (f) et l'incertitude analytique qui affecte les valeurs de concentrations (ia). Pour l'exercice, et afin de se rapprocher des conditions réelles de suivi tel que réalisé au titre de la DCE, 4 longueurs de chroniques (6, 12, 18 et 24 ans) ; 4 fréquences de prélèvements régulières (0,5 ; 1 ; 2 ; 4 et 12 par an) et 4 types d'incertitudes analytiques équivalentes (+/- 2,5 ; +/- 10 ; +/- 30 et +/- 50 %) ont été appliqués. Cette méthode de génération de chroniques virtuelles d'évolution de la chimie des eaux souterraines, paramétrables sur des variables caractéristiques des suivis réglementaires, apparait très utile pour la mise en œuvre de tests probabilistes qui nécessitent de disposer de grand jeux de données. Par rapport à une recherche de chroniques réelles dans les bases de données mises à disposition, la méthode présente le double avantage de maitriser le type et les caractéristiques des chroniques extraites ainsi que de pouvoir les générer « à la volée » et en très grand nombre.

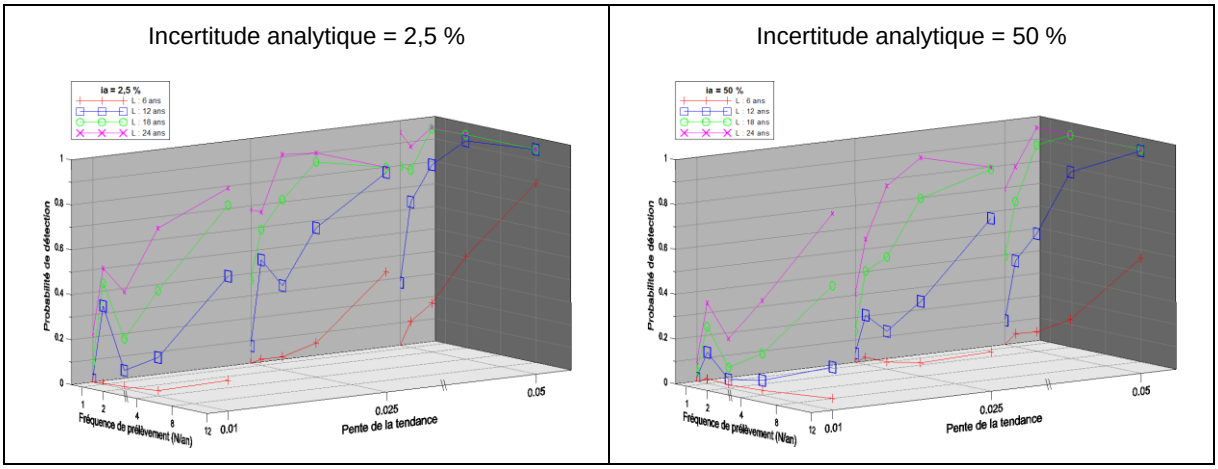
L'objectif de l'action étant de tester la capacité des réseaux de surveillance à identifier les tendances d'évolution des contaminants dans les eaux souterraines, l'outil HYPE d'identification des tendances – développé en 2012 sous convention avec l'ONEMA – a été appliqué sur un jeu de chroniques virtuelles reprenant les caractéristiques énoncées précédemment. Pour chaque modèle de comportement, variance, longueur, fréquence de prélèvement et incertitude analytique équivalente (soit 5 120 types différents de chroniques), 10 000 chroniques virtuelles ont été générées et testées avec l'outil HYPE, soit un total de 51 200 000 tests réalisés. La tendance vraie de chaque chronique virtuelle étant connue par construction, la comparaison avec les résultats issus de HYPE a permis de donner, pour chaque type de chroniques, la probabilité de détection de la tendance vraie. Les résultats acquis selon cette méthode constituent un prisme observable suivant les différentes facettes que sont les paramètres de construction des chroniques virtuelles. Il est ainsi possible de s'intéresser, à modèle de comportement, variance, fréquence de prélèvements et incertitude analytique constants, à la longueur de chronique minimum nécessaire à l'identification, par application de l'outil HYPE, d'une pente donnée. Dans l'optique de révision des programmes de surveillance à venir pour le prochain cycle de gestion 2016-2021, il apparait pertinent d'estimer les fréquences optima de suivis de la chimie des eaux souterraines dans le but d'identifier les tendances d'évolution. Ainsi, pour des chroniques longues de 12 ans (2 cycles de gestion) et des variances de 0,2, les fréquences optima de prélèvements dans les eaux souterraines pour identifier 95 fois sur 100 les tendances d'évolutions (d'une pente de 5 % de la valeur initiale par an) sont données dans le tableau suivant :

| | Incertitudes analytiques équivalentes (ordre de grandeur pour des incertitudes élargies à facteur k = 2) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 2,5 %<br>*$NO_3$ aux alentours de 25-50 mg/L* | 10 %<br>*Métaux traces aux alentours de 1-10 µg/l* | 30 %<br>*Pesticides classiques à des concentrations de l'ordre de 0,1 µg/l* | 50 %<br>*Polluants émergents / Substances plus classiques mais à des concentrations proches des LQ* |
| 1) Évolution monotone | 0,5 /an | 0,5 /an | 2 /an | 4 /an |
| 2) Évolution cyclique annuelle | 4 /an | 4 /an | 4 /an | 12 /an |
| 3) Évolution cyclique pluriannuelle | P = 89,6 % pour 12 /an | P = 89,1 % pour 12 /an | P = 87,6 % pour 12 /an | P = 84,7 % pour 12 /an |
| 4) Évolution à double cylces annuel et pluriannuel (partition 50/50) | 12 /an | 12 /an | 12 /an | P = 92 % pour 12 /an |

***Fréquences de suivi optima (en nombre d'analyses par an – calendrier régulier) pour l'identification des pentes des tendances d'évolution de la chimie des eaux souterraines (5% de la valeur initiale par an) en fonction de l'incertitude analytique équivalente associée aux résulats et pour des chroniques d'évolution aux caractéristiques « moyennes » (longueur = 12 ans ; variance = 0,2). P = probabilité de détecter la tendance vraie (en l'absence d'indication P ≥ 95%).***

Les résultats montrent que, d'une manière générale, ce sont les évolutions de la chimie selon des cycles pluriannuels qui nécessitent les fréquences de suivi les plus serrées. Pour les types de chroniques présentées en exemple (L = 12 ans et variance = 0,2), les fréquences de suivi testées les plus élevées (12 analyses par an) ne suffisent pas à identifier les tendances dans 95 % des cas au moins, et ce même pour les incertitudes analytiques les plus faibles de +/- 2,5 %. La probabilité de détection des tendances atteint dans ce dernier cas est de 89,6 %. D'une manière générale pour les évolutions selon des cycles périodiques, une augmentation de la variance tend à diminuer la probabilité de détection de la tendance vraie.

Afin de faciliter l'analyse et la lecture des résultats de l'application de l'outil HYPE sur l'intégralité des chroniques virtuelles générées, des abaques présentant l'évolution des probabilités de détection des tendances en fonction de la longueur, de la valeur de la pente de la tendance et de la fréquence de prélèvement ont été construits pour chaque modèle de comportement temporel et valeur d'incertitude analytique théorique. Ces abaques prennent la forme de graphiques en 3 dimensions comme présentés dans l'exemple ci-dessous (modèle de comportement n°2 cyclique annuel et variance de 0,2) :




***Exemple d'abaques présentant l'évolution de la probabilité de détection des tendances d'évolution de la chimie des eaux souterraines selon un modèle de comportement temporel cyclique annuel affecté d'une variance de 0,2 et pour 2 incertitudes analytiques théoriques de +/- 2,5 et 50 %.***

L'exemple montre bien que la probabilité de détection des tendances est corrélée positivement avec la longueur des chroniques et la pente des tendances, et qu'elle est anticorrélée avec l'incertitude analytique théorique. En revanche, dans le cas de modèle de comportement de type cyclique annuel comme celui présenté en exemple, il est intéressant de noter qu'une fréquence de prélèvement régulière de 2 analyses par an est particulièrement défavorable à l'identification des tendances, la probabilité de détection pouvant, dans certains cas, être plus faible que lorsque le suivi n'est réalisé qu'avec une fréquence de 1 analyse par an seulement. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pente de la tendance représente une faible part de la variance globale du signal. Ce constat confirme certaines conclusions émises en 2011 lors de l'analyse de la puissance et de la robustesses des méthodes statistiques pour l'identification des tendances (Lopez et Leynet, 2011). Il avait été montré à la fois l'impact négatif de l'autocorrélation induite par la cyclicité des signaux sur les méthodes statistiques et le fait qu'un calendrier de suivi irrégulier ou troué permet de « casser » l'expression de cette autocorrélation via les chroniques. Dans le cas spécifique de comportements cycliques annuels et dans l'objectif particulier d'identifier les tendances d'évolution avec l'outil HYPE, il pourra être préféré, par rapport à une fréquence de prélèvement régulière de 2 analyses par an, une fréquence de prélèvements plus faible de 1 analyse par an ou bien une même fréquence de prélèvement mais irrégulièrement répartie sur l'année.

Les nouveaux résultats acquis dans la présente action, au-delà de constituer un outil opérationnel pour la gestion du suivi de la qualité des ressources, confirment la nécessité de bien comprendre les modalités qui guident les évolutions temporelles des contaminants dans les eaux souterraines, notamment lorsqu'il s'agit de définir les réseaux au travers desquels sont réalisés les suivis. Cette connaissance sera néanoins toujours favorisée par l'augmentation du nombre de données robustes disponibles, et donc par l'augmentation des fréquences de suivis de la qualité des eaux.

Document public

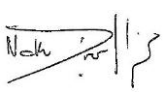
# Surveillance chimique : optimisation des fréquences de mesure pour la surveillance des eaux souterraines en vue de répondre à la DCE s'agissant de la prise en compte des tendances d'évolution des contaminations

Rapport final

**BRGM/RP-63845-FR**
Septembre 2014

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2013-2015

**B. Lopez, A. Leynet, N. Croiset, J.P. Ghestem**

| **Vérificateur :** | **Approbateur :** |
|---|---|
| Nom : Alexandre Brugeron | Nom : Nathalie Dörfliger |
| Date : 10/10/2014 | Date : 13/11/2014 |
| Signature : | Signature :  |

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

**Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 14002:2013.**

Géosciences pour une Terre durable
brgm

**Mots-clés** : Eaux souterraines, Surveillance, Tendance, Directive Cadre sur l'Eau

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Lopez B., Leynet A., Croiset N., Ghestem J.P.** (2014) – Surveillance chimique : optimisation des fréquences de mesure pour la surveillance des ESO en vue de répondre à la DCE s'agissant de la prise en compte des tendances d'évolution des contaminations. Rapport final BRGM/RP-63845-FR. 102 p., 7 ill., 16 ann.

© BRGM, 2014, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

# Sommaire

**1. Introduction ..... 7**

1.1. CADRE DE L'ACTION ..... 7

1.2. OBJECTIFS VISES ..... 7

**2. Définitions et principe de la méthode ..... 9**

2.1. DEFINITIONS PREALABLES ..... 9

2.2. METHODE MISE EN OEUVRE ..... 10

**3. Génération et test des chroniques théoriques ..... 13**

3.1. MODELES D'EVOLUTION CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES ..... 13

3.1.1. Modèles théoriques ..... 13

3.1.2. Analogie avec les comportements observés in situ ..... 14

3.2. GENERATION DES EVOLUTIONS THEORIQUES ET DES CHRONIQUES VIRTUELLES ..... 16

3.3. APPLICATION DES TESTS DE TENDANCES ..... 18

**4. Résultats ..... 21**

4.1. CONSTRUCTION DES ABAQUES ..... 21

4.2. ANALYSE DES RESULTATS ..... 23

4.2.1. Evolution monotone - Modèle gaussien ..... 23

4.2.2. Evolutions cycliques périodiques - Modèles variogrammes ..... 24

4.2.3. Fréquences de prélèvements optimales pour les cas les plus courants ..... 24

**5. Conclusion ..... 27**

**6. Bibliographie ..... 29**

## Liste des illustrations

Illustration 1 – Modèles mathématiques d'évolutions théoriques des concentrations en éléments dans les eaux souterraines avec m : moyenne ; e : ecart type ; a : pente de la tendance et p : pépite. ..... 14

Illustration 2 : Liste et caractéristiques des évolutions théoriques à partir desquelles sont générées les chroniques virtuelles. ..... 17

Illustration 3 : Valeurs des paramètres des chroniques virtuelles ..... 17

Illustration 4 : Evolution du taux de détection de tendance en fonction du nombre d'itérations pour un jeu de paramètre de chronique virtuelle donné. ..... 18

Illustration 5 : Nombre de détections (sur 10 000 itérations) de la tendance « vraie » par au moins une méthode statistique implémentée dans HYPE, pour des évolutions théoriques monotones, une incertitude analytique équivalente de 50 % et en fonction des fréquences de prélèvements, de l'intensité de la pente de la tendance et de la longueur des chroniques virtuelles. ..... 22

Illustration 6 : Probabilité de détection de la tendance vraie d'un élément mesuré avec une incertitude analytique équivalente de 50 %, qui suit une évolution théorique monotone (modèle gaussien) en fonction de la fréquence de prélèvement, de la pente de la tendance et pour différentes longueurs de chroniques. ..... 23

Illustration 7 : Fréquences de prélèvement optimales (fréquence minimale pour une probabilité p de 95 % de détecter la tendance vraie établie à 5 % de la valeur initiale par an) en fonction des longueurs des chroniques et pour les combinaisons « modèles d'évolution temporelle (variance de 0,2) / incertudes analytiques équivalentes » les plus couramment rencontrées dans la réalité. ..... 25

## Liste des annexes

Annexe 1 Comportement 1 : Evolution monotonique ..... 31

Annexe 2 Comportement 2.1 : Evolution cyclique annuelle ..... 35

Annexe 3 Comportement 2.2 : Evolution cyclique annuelle ..... 39

Annexe 4 Comportement 2.3 : Evolution cyclique annuelle ..... 43

Annexe 5 Comportement 3.1 : Evolution cyclique pluriannuelle ..... 47

Annexe 6 Comportement 3.2 : Evolution cyclique pluriannuelle ..... 51

Annexe 7 Comportement 3.3 : Evolution cyclique pluriannuelle ..... 55

Annexe 8 Comportement 4.1.1 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 59

Annexe 9 Comportement 4.1.2 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 63

Annexe 10 Comportement 4.1.3 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 67

Annexe 11 Comportement 4.2.1 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 71

Annexe 12 Comportement 4.2.2 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 75

Annexe 13 Comportement 4.2.3 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 79

Annexe 14 Comportement 4.3.1 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 83

Annexe 15 Comportement 4.3.2 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 87

Annexe 16 Comportement 4.3.3 : Double cycles annuel et pluriannuel ..... 91

# 1. Introduction

## 1.1. CADRE DE L'ACTION

La Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE et la directive fille eaux souterraines 2006/118/CE imposent aux États-membres d'identifier les tendances et les inversions des tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Ces exercices doivent *a minima* s'appuyer sur les données issues des réseaux de surveillance de la qualité des eaux souterraines RCS[1] et RCO[2] destinés, entre autres, à « détecter la présence de tendances à la hausse à long terme de la pollution induite par l'activité anthropogénique » (annexe V.2 de la DCE). En 2013 et dans ce contexte réglementaire, le BRGM, sous convention et en partenariat avec l'ONEMA, a proposé de tester les capacités des réseaux de surveillance à fournir des données permettant d'identifier les tendances d'évolution des contaminants dans les eaux souterraines. L'objectif était d'étayer la révision des programmes de surveillance~~s~~ qui doit intervenir pour le prochain cycle de gestion en 2016. Cette action a fait suite à la revue bibliographique et aux premiers tests des méthodes statistiques existantes pour l'identification des tendances d'évolution des contaminants dans les eaux souterraines réalisés sous convention ONEMA-BRGM en 2010 (Lopez et Leynet, 2011). Elle a aussi fait suite au projet national tendance (convention ONEMA-BRGM 2012) mené en partie dans le cadre de l'État des lieux 2013 qui a abouti à l'élaboration de « fiche tendance » par masse d'eau souterraine (Lopez et al., 2013) et permit le développement d'un outil de caractérisation des chroniques d'évolution de la qualité des eaux souterraines et de calcul des tendances nommé HYPE (Croiset et Lopez, 2013). L'action proposée bénéficiait enfin de l'expérience acquise dans le cadre d'une action AQUAREF menée en 2010 sur la surveillance de polluants dans les eaux souterraines : impact de l'incertitude de mesure sur l'évaluation des tendances (Ghestem et al., 2011).

## 1.2. OBJECTIFS VISES

Des premiers tests de méthodes statistiques réalisés en 2010 sur des chroniques simulées (Lopez et Leynet, 2011) avaient montré, entre autres, que les méthodes statistiques de détection des tendances sont sensibles aux variations de fréquences de prélèvements. De plus, Ghestem et al. ont montré en 2010 l'intérêt d'analyser l'impact des incertitudes analytiques sur l'évaluation des tendances. Enfin en 2012, à la suite du projet national sur les tendances, un outil de classement/caractérisation des chroniques d'évolution de la qualité des eaux souterraines et de calcul des tendances selon différentes méthodes validées a été mis à disposition des agences de l'eau.

À la suite de ces travaux et afin d'accompagner les gestionnaires dans l'optimisation de la surveillance des eaux souterraines, il est proposé de leur fournir des outils

[1] Réseau de contrôle de surveillance

[2] Réseau de contrôle opérationnel

(abaques) indiquant la capacité théorique d'un réseau de surveillance donné à identifier une tendance en fonction de différents paramètres comme :

- la fréquence d'acquisition des données, c'est-à-dire la fréquence des prélèvements en eaux souterraines ;
- l'incertitude analytique associée aux résultats d'analyse des substances dans les eaux ;
- la longueur (durée) de la chronique,
- le type d'évolution temporelle (comportement) de l'élément chimique dans l'aquifère,
- le niveau de confiance ciblé,

Il s'agit à la fois i) d'estimer dans quelle mesure les fréquences de prélèvement définies dans les programmes actuels de surveillance de la qualité des eaux souterraines et leur variabilité peuvent influencer la capacité des tests statistiques à identifier une tendance et ii) de prévoir la surveillance à mettre en œuvre en terme de fréquence de mesure pour être en capacité de détecter les tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines.

# 2. Définitions et principe de la méthode

## 2.1. DEFINITIONS PREALABLES

L'estimation de la capacité des réseaux de surveillance à détecter les tendances d'évolution de la chimie des eaux souterraines, telle que réalisée dans l'étude, est basée sur une méthode faisant appel à des concepts qu'il convient de définir. Les définitions énoncées ci-après peuvent être spécifiques à l'exercice réalisé. Elles n'ont pas valeur de définition universelle mais fixent certaines idées importantes pour comprendre l'état d'esprit et le déroulé de la méthode développée.

■ L'évolution : correspond aux variations temporelles continues réelles de la concentration d'un élément chimique dissout dans les eaux souterraines en un point donné. L'évolution est ce que l'on cherche à connaitre. Dans le cas d'un suivi chimique classique, chaque analyse correspond à la valeur de concentration à l'instant t précis du prélèvement. Une image partielle de l'évolution est donnée par la suite chronologique des analyses issues de prélèvements réalisés en un même point : la chronique.

■ Le comportement : d'un élément chimique dissout dans un aquifère correspond aux caractéristiques de son évolution temporelle en un point donné de l'aquifère. Le comportement dépend à la fois des propriétés intrinsèques de l'élément chimique qui vont guider sa mobilité et des propriétés hydrogéologiques et hydrodynamiques de l'aquifère dans lequel circulent les eaux contenant l'élément chimique. De grandes classes de comportement peuvent être définies en regroupant des évolutions aux caractéristiques proches.

■ La chronique (Ct) : est la suite chronologique des résultats des analyses chimiques réalisées sur des échantillons prélevés en un même point. La chronique est constituée de valeurs discrètes de concentration en un élément chimique auxquelles sont associées des dates de prélèvement. La chronique supporte l'information à partir de laquelle on estime l'évolution. La chronique est caractérisée par une longueur (date de début et date de fin) et une fréquence de prélèvement (nombre de prélèvement par unité de temps). Les valeurs de concentrations qui constituent la chronique sont affectées par un bruit formé d'une composante environnementale, d'une composante liée au prélèvement et d'une composante due à l'incertitude analytique. Ce bruit engendre un écart plus ou moins important entre la valeur vraie de l'évolution au moment du prélèvement et la valeur de concentration reportée dans la chronique.

■ L'incertitude analytique (ia) : L'incertitude caractérise la dispersion des résultats qu'on peut attribuer à un objet « mesuré ». Dans le cadre de ce rapport, l'incertitude théorique à prendre en compte est une incertitude de mesure composée de l'incertitude liée aux opérations de prélèvement à la station et d'une incertitude analytique donnée par le laboratoire. Afin de simplifier le raisonnement et compte tenu du peu d'informations disponibles sur les incertitudes liées au prélèvement, le terme utilisé est « incertitude analytique ». Une incertitude peut être exprimée de différentes

façons Elle peut être uniquement exprimée sous la forme d'un écart-type ou d'un multiple $k$ de celui-ci ($k$ étant appelé facteur d'élargissement). On peut parler d'incertitude élargie ($k$=2 par exemple) ou pas ($k$=1). La notion d'élargissement se traduit par une notion de probabilité de trouver la valeur vraie dans l'intervalle +/- *ku*. Pour $k$=1 la probabilité est de 68%. Elle est de 95% pour $k$=2. Les exigences sont le plus souvent de rendre les incertitudes avec un facteur d'élargissement de $k$=2. Dans ce rapport les incertitudes sont exprimées sous la forme d'une incertitude élargie $k$=2. Cette seconde définition a été utilisée pour simuler les chroniques d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Il est aussi primordial de noter que les valeurs d'incertitudes sont fonctions de la valeur de concentration, et notamment qu'elles augmentent fortement pour des valeurs proches des limites de quantification (LQ) (Ghestem et al., 2014). Il est donc impossible en théorie de donner une incertitude globale pour un paramètre. Afin d'illustrer le type de paramètres correspondant aux valeurs d'incertitude utilisées dans ce rapport, on peut citer de façon très schématique les exemples suivant:

- +/- 2,5 % (jusqu'à 8 %) : $NO_3$ vers 25-50 mg/l
- +/- 10 % (jusqu'à 20 %) : globalement des métaux traces aux alentours de 1-10 µg/l
- +/- 30 % (de 20 à 40%) : des pesticides classiques à des concentrations de l'ordre de 0,1 µg/l
- +/- 50 % (de 40 à plus de 80 %) : des émergents ou des substances plus classiques mais à des concentrations proches des LQ.

## 2.2. METHODE MISE EN OEUVRE

Idéalement, l'estimation de la capacité des réseaux de surveillance à identifier les tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines devrait être réalisée à partir des données réelles de surveillance. Il est néanmoins impossible de connaitre précisément l'évolution réelle des contaminants dans les aquifères à partir des données disponibles et notamment les tendances d'évolution. Une image partielle de cette évolution réelle est donnée par les chroniques acquises en différents points de mesure et à des pas de temps définis. Toutefois, ces données, discrètes, sont entachées de « bruits » à la fois environnementaux et anthropiques (dus aux pratiques de prélèvements et aux procédés analytiques). Or afin de vérifier l'efficience d'une méthode pour détecter la tendance d'évolution d'un contaminant, il faut avant tout travailler à partir d'une chronique de données pour laquelle sa tendance d'évolution est connue.

Afin de contourner ce problème, la première tâche de l'étude a consister à créer de manière théorique des évolutions continues de concentrations en élément chimique suivant des modèles de comportement estimés à partir d'observations réelles. Une fois ces évolutions créées (reproduction d'une réalité théorique), des valeurs de concentrations sont « prélevées » dans le signal temporel afin de réaliser un suivi virtuel de la qualité des eaux. Les données sont prélevées avec une certaine fréquence et les valeurs de concentrations sont affectées par un certain bruit, assimilé dans l'étude à l'incertitude analytique. La suite chronologique des valeurs discrètes de

concentrations ainsi collectées forme la chronique virtuelle de suivi de la qualité des eaux en un point de prélèvement particulier.

La tendance vraie des évolutions théoriques est connue par construction du modèle mathématique. Elle est recherchée à travers l'analyse statistique des chroniques virtuelles de suivi qualité. L'outil d'analyse des tendances utilisé est HYPE, développé en 2012 sous convention ONEMA-BRGM (Croiset et Lopez, 2013). Par rapport à une recherche de chroniques réelles dans les bases de données mises à disposition, la méthode théorique présente le double avantage de maitriser à la fois le type et les caractéristiques des chroniques de suivi de la qualité des eaux ainsi que de pouvoir les générer « à la volée » et en très grand nombre. L'objectif consiste à calculer, par type de comportement temporel et en fonction des caractéristiques du suivi de la qualité des eaux (longueur de la chronique, fréquences de prélèvements, incertitude analytique), la probabilité d'identifier une tendance. Il est donc nécessaire de générer un grand nombre de chroniques dont on maitrise les caractéristiques.

La méthode mise en œuvre pour tester la capacité des suivis à détecter les tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines est divisée en 3 étapes :

1 – Définition des modèles mathématiques d'évolution de la chimie des eaux souterraines basée sur l'analyse géostatistique de chroniques réelles réalisée en 2011 à partir des données du bassin Seine-Normandie. Cette étape nécessite de définir les formules mathématiques des courbes temporelles et les gammes de valeur des différents paramètres entrant dans les modèles. Une tendance linéaire (qui peut prendre la valeur 0 pour simuler une évolution stationnaire) est ajoutée à chaque modèle d'évolution.

2 – Pour chaque modèle, génération d'un jeu d'évolutions continues dont les paramètres peuvent prendre de façon aléatoire l'ensemble des valeurs définies pour chaque modèle et au sein desquelles des valeurs sont extraites pour former les chroniques virtuelles de suivi de la qualité des eaux souterraines.

3 – Application des tests de tendance disponible dans l'outil dédié HYPE sur l'ensemble des chroniques virtuelles générées avec, pour chaque test effectué, une analyse automatique de l'erreur du test statistique (pente de la tendance connue a priori) par rapport à la tendance vraie contenue dans l'évolution théorique.

Les nombreux résultats acquis selon cette méthode constituent un prisme observable suivant les différentes facettes que représente l'ensemble des paramètres de construction des chroniques virtuelles. Aussi, afin de faciliter l'analyse et la lecture des résultats, des abaques présentant l'évolution des probabilités de détection des tendances en fonction de la longueur, de la valeur de la pente de la tendance et de la fréquence de prélèvement, sont construits pour chaque modèle de comportement temporel et chaque valeur d'incertitude analytique équivalente.

# 3. Génération et test des chroniques théoriques

## 3.1. MODELES D'EVOLUTION CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

### 3.1.1. Modèles théoriques

Les évolutions chimiques théoriques des eaux souterraines sont créées dans un souci de reproduire au mieux des situations environnementales réalistes, sinon observées. Les modèles d'évolution sont ainsi inspirés d'études antérieures menées par le BRGM et les Agences de l'eau Loire-Bretagne et Seine-Normandie sur les tendances d'évolution des nitrates et des produits phytosanitaires dans les eaux souterraines (Baran et al., 2009 ; Lopez et al., 2012). Les auteurs ont en effet montré, qu'en plus des évolutions plus ou moins aléatoires de la chimie des eaux souterraines, dans certains contextes particuliers, les concentrations en certains éléments comme les nitrates par exemple pouvaient évoluer selon des cycles périodiques. Ces cycles s'établissent généralement sur des périodes annuelles et/ou pluriannuelles (de 6 à 12 ans) qui suivent les cycles hydroclimatiques. Une analyse plus poussée de ces chroniques via des méthodes géostatistiques a montré la possibilité de décrire la distribution des données d'évolution des concentrations dans les eaux souterraines par des variogrammes théoriques à cycles plus ou moins longs de la forme :

- *γ1 = e² × (Pépite(p) + (1-p) × (Cosinus(0,9 ; 365 j) + Exponentielle(0,1 ; 3650j)))*
  pour des cycles annuels et
- *γ2 = e² × (Pépite(p) + (1-p) × (Cosinus(0,9 ; 3650 j) + Exponentielle(0,1 ; 3650j)))*
  pour des cycles à période de 10 ans.

Les composantes des variogrammes sont les suivantes :

- Pépite (p) = h ⟼ p si h ≠ 0, 0 si h = 0
- Cosinus (palier, période) = h ⟼ ½ × palier × (1−cos(h ÷ période))
- Exponentielle (palier, portée) = h ⟼ palier × (1−exp(−h ÷ portée))

Partant des conclusions de ces études précédentes, 2 modèles mathématiques définissant 4 types d'évolution ont été retenus pour tester la capacité des réseaux de surveillance à détecter les tendances :

- l'évolution dite monotone à distribution normale des données suivant le modèle mathématique 1 : $\left(\frac{\alpha t}{365}+1\right) \times V_0 \times \boldsymbol{\mathcal{N}}\left(\mathbf{1};\boldsymbol{\sigma^2}\right)$
- l'évolution cyclique annuelle dont la distribution des données est décrite par le modèle 2 variogramme théorique *γ1*,
- l'évolution cyclique pluriannuelle dont la distribution des données suit le formalisme énoncé par le modèle 2 variogramme théorique *γ2,*
- l'évolution à double cycles annuel et pluriannuel dont la distribution est issue d'une combinaison entre les variogrammes *γ1 et γ2*.

La description des modèles retenus et de leurs paramètres est reportée dans le tableau en Illustration 1. Les modèles d'évolutions stationnaires sont doublés en ajoutant une tendance linéaire de pente a. Cette tendance supprime la stationnarité des chroniques et augmente l'autocorrélation des données temporelles dont Lopez et Leynet ont montré en 2011 l'impact négatif sur la robustesse des tests d'identification de tendance. Le phénomène d'autocorrélation est présent par défaut dans les chroniques à distributions simulées par variogrammes.

| **Modèles** | **Évolutions** | **Paramètres** | **Description** | **Stationnarité** | **Autocor-rélation** |
|---|---|---|---|---|---|
| 1) Loi gaussienne | Monotone | m, e | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{G}(m, e)$ | Oui | Non |
| | Monotone + tendance | m, e, a | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{G}(m, e) + a \cdot t$ | Non | Oui |
| 2) Variogramme | Cyclique annuelle | m, e, p | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{K}(\gamma_1) + m$ | Oui | Oui |
| | Cyclique annuelle + tendance | m, e, p, a | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{K}(\gamma_1) + m + a \cdot t$ | Non | Oui |
| | Cyclique pluriannuelle | m, e, p | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{K}(\gamma_2) + m$ | Oui | Oui |
| | Cyclique annuelle + tendance | m, e, p, a | $\mathscr{Z}(t) = \mathscr{K}(\gamma_2) + m + a \cdot t$ | Non | Oui |
| | Double cycles annuel et pluriannuel | $m_1$, $m_2$, $e_1$, $e_2$, p | $\mathscr{Z}(t) = [\mathscr{K}(\gamma_1) + m_1] + [\mathscr{K}(\gamma_2) + m_2]$ | Oui | Oui |
| | Double cycles annuel et pluriannuel + tendance | $m_1$, $m_2$, $e_1$, $e_2$, p, a | $\mathscr{Z}(t) = [\mathscr{K}(\gamma_1) + m_1] + [\mathscr{K}(\gamma_2) + m_2] + a \cdot t$ | Non | Oui |

*Illustration 1 – Modèles mathématiques d'évolutions théoriques des concentrations en éléments dans les eaux souterraines avec m : moyenne ; e : ecart type ; a : pente de la tendance et p : pépite.*

### 3.1.2. Analogie avec les comportements observés in situ

Les modèles mathématiques d'évolutions théoriques de la chimie des eaux souterraines créés pour l'étude dessinent globalement 2 grands types de comportements :

- l'évolution plus ou moins aléatoire de la chimie des eaux dont les données de concentration sont distribuées suivant une loi gaussienne (pour l'étude) = évolution monotone ;
- l'évolution des concentrations structurée dans le temps suivant des cycles périodiques corrélés ou anticorrélés aux évolutions hydroclimatiques =

évolutions à cycle annuel, à cycle pluriannuel et à double cycles annuel et pluriannuel.

Or, le comportement temporel de la chimie des eaux souterraines est fonction de trois facteurs principaux : (i) les caractéristiques intrinsèques de l'élément considéré ; (ii) les contextes hydroclimatique et hydrogéologique dans lesquels il évolue ; (iii) l'évolution temporelle de l'émission de l'élément considéré vers le milieu souterrain.

Le premier type de comportement – l'évolution monotone – correspond plutôt aux éléments dont les concentrations dans le milieu souterrain sont peu affectées par les évolutions hydroclimatiques c'est-à-dire par les cycles de recharge et de vidange des nappes. Ceci peut être dû, soit aux caractéristiques intrinsèques de la molécule dont la réactivité dans le milieu (adsorption et dégradation essentiellement) affecte plus les concentrations que les évolutions de la matrice dans laquelle elle est dissoute, soit aux périodes et aux volumes des apports de la molécule dans le milieu qui guident de manière prépondérante l'évolution des concentrations dans l'aquifère. Entrent dans ces deux cas de figure les micropolluants organiques actifs du type pesticides et médicaments, les éléments minéraux aux fortes capacités d'adsorption et tous les contaminants émis de manière ponctuelle (dans le temps et dans l'espace) comme les polluants industriels par exemple. Les concentrations en ces éléments évoluent en effet généralement de manière assez rapide et brutale dans les aquifères en formant des signaux aléatoires et non structurés dans le temps.

Le second type de comportement – l'évolution cyclique périodique – se rapporte aux éléments dont les concentrations dans les eaux souterraines évoluent suivant les fluctuations hydroclimatiques (alternance de phases de fortes pluies efficaces et de périodes sèches) et/ou hydrodynamiques de l'aquifère (hausses et baisses des niveaux piézométriques). Ce type de comportement chimique nécessite que l'élément considéré soit stable en milieu aqueux (ne s'adsorbe et/ou ne se dégrade pas ou très peu) ou bien qu'il soit présent dans le milieu en quantité suffisante pour que les phénomènes d'atténuations naturelles aient peu d'impact sur les valeurs de concentrations. C'est par exemple notoirement le cas des nitrates d'origine agricole, polluant diffus émis depuis plusieurs décennies dans l'environnement et dont les concentrations en eaux souterraines, même si des phénomènes de dénitrification peuvent exister, sont généralement guidées par les fluctuations des niveaux des nappes et des débits des sources. Ce cas de figure concerne aussi généralement les paramètres physico-chimiques des nappes comme la conductivité par exemple. On distingue alors :

- les aquifères réactifs aux variations saisonnières des pluies efficaces qui, lorsqu'ils sont contaminés par des éléments stables dans l'eau, induisent des variations saisonnières (cycles annuels) des concentrations. C'est généralement le cas des aquifères à nappe libre très ouverts sur la pression atmosphérique (aquifères karstiques ou aquifères à faible épaisseur de zone non saturée (ZNS) par exemple) ;
- les aquifères dits inertiels, peu réactifs aux variations saisonnières de recharge mais sensibles aux grandes oscillations climatiques globales comme la NAO (North Atlantic Oscillation). L'aquifère de Beauce est un bon exemple d'aquifère à comportement temporel inertiel.

Les évolutions des concentrations en eaux souterraines peuvent alors être corrélées aux fluctuations du niveau des nappes ou bien, à l'inverse, anticorrélées. En effet, si la nappe est moins concentrée en contaminant que le sol ou la ZNS, une arrivée dans l'aquifère d'eaux récentes ayant lessivé le sol (cas des karsts notamment) ou une remontée de nappe dans la ZNS provoquera une augmentation des concentrations mesurées dans les eaux souterraines. Ce schéma correspond à une corrélation positive entre les évolutions du niveau des nappes et les concentrations en eaux souterraines. A l'inverse, si la nappe est plus concentrée en contaminants que le sol ou la ZNS, une arrivée d'eaux récentes provoquera une dilution et donc une baisse des concentrations, anticorrélées avec les fluctuations piézométriques ou des débits des sources.

## 3.2. GENERATION DES EVOLUTIONS THEORIQUES ET DES CHRONIQUES VIRTUELLES

Les évolutions théoriques sont créées selon les modèles mathématiques de comportement définis au § 3.1.1. Pour les évolutions générées à partir des variogrammes, 3 amplitudes de cycles sont testées en faisant varier la variance du signal de 0,1 ; 0,2 et 0,5. Pour l'évolution à double cycles, 3 partitions entre cycle annuel et cycle pluriannuel sont testées (0,1 ; 0,5 et 0,9). 16 types d'évolutions théoriques sont ainsi générés comme listées en Illustration 2.

| N° | Nom | Modèle mathématique | Caractéristiques |
|---|---|---|---|
| 1 | Évolution monotone | Gaussien | |
| 2.1 | Évolution cyclique annuelle | Variogramme $\gamma 1$ | Variance 0,1 |
| 2.2 | Évolution cyclique annuelle | Variogramme $\gamma 1$ | Variance 0,2 |
| 2.3 | Évolution cyclique annuelle | Variogramme $\gamma 1$ | Variance 0,3 |
| 3.1 | Évolution cyclique pluriannuelle | Variogramme $\gamma 2$ | Variance 0,1 |
| 3.2 | Évolution cyclique pluriannuelle | Variogramme $\gamma 2$ | Variance 0,2 |
| 3.3 | Évolution cyclique pluriannuelle | Variogramme $\gamma 2$ | Variance 0,3 |
| 4.1.1 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,1<br>Variance 0,1 |
| 4.1.2 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,1<br>Variance 0,2 |
| 4.1.3 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,1<br>Variance 0,5 |
| 4.2.1 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,5<br>Variance 0,1 |
| 4.2.2 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,5<br>Variance 0,2 |
| 4.2.3 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,5<br>Variance 0,5 |

| N° | Nom | Modèle mathématique | Caractéristiques |
|---|---|---|---|
| 4.3.1 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,9<br>Variance 0,1 |
| 4.3.2 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,9<br>Variance 0,2 |
| 4.3.3 | Évolution à double cycles annuel et pluriannuel | Variogramme $\gamma 1 + \gamma 2$ | Partition 0,9<br>Variance 0,5 |

*Illustration 2 : Liste et caractéristiques des évolutions théoriques à partir desquelles sont générées les chroniques virtuelles.*

En outre, 4 pentes de tendance, exprimées en pourcentage de la valeur initiale, sont appliquées sur chacune des évolutions théoriques :

- Nulle
- + 1 % /an
- + 2,5 % /an
- + 5 % /an

Les chroniques virtuelles de suivi sont générées à partir de ces évolutions théoriques continues en y prélevant des valeurs selon une certaine fréquence. Les « prélèvements » des valeurs au sein des évolutions sont réalisés selon un mode de tirage régulier, c'est-à-dire que les espacements entre les dates de prélèvements sont égaux. Les autres paramètres (longueur et incertitude analytique équivalente), choisis car représentatifs des suivis tels qu'ils peuvent être réalisés par les Agences de l'Eau pour la DCE, prennent différentes valeurs afin de constituer un jeu de chroniques virtuelles analogues à ce qui est disponible dans les bases de données brutes. Les valeurs des paramètres des chroniques virtuelles sont listées dans le tableau en Illustration 3.

| Paramètres | Valeurs testées |
|---|---|
| Longueur | 6 ; 12 ; 18 et 24 ans |
| Fréquence de prélèvement | 0,5 ; 1 ; 2 ; 4 et 12 /an |
| Incertitude analytique équivalente | +/- 2,5 ; 10 ; 30 et 50 % de la valeur initiale |

*Illustration 3 : Valeurs des paramètres des chroniques virtuelles*

Les longueurs de chroniques testées sont des multiples de 6 ans, soit la durée d'un cycle de gestion DCE. Les fréquences de prélèvements sont choisies en fonction de celles préconisées dans la directive 2000/60/CE pour les suivis de la chimie des eaux souterraines – *fréquence suffisante avec au minimum 1 mesure par an (art. 2.4.3)* – et pour la surveillance des points de captage d'eau potable – *4 fois par an pour une population desservie < à 10 000 habitants et 12 fois par an pour plus de 30 000 usagers (art. 1.3.5).* L'argumentaire pour le choix des incertitudes analytiques équivalentes est quant à lui développé au § 2.1.

Pour chaque modèle de comportement (type d'évolution théorique), chaque classe de pente, chaque calendrier (longueur et fréquence de prélèvements) et chaque classe d'incertitude analytique – représentant 5120 combinaisons possibles – un jeu de chroniques virtuelles est généré.

## 3.3. APPLICATION DES TESTS DE TENDANCES

Les tendances des chroniques virtuelles ont été recherchées grâce à l'outil HYPE dédié (Lopez et al., 2013 ; Croiset et Lopez, 2013). Cet outil a en effet été développé en 2012 sous convention ONEMA-BRGM spécialement pour répondre aux exigences de la DCE sur le volet de l'identification des tendances d'évolution des polluants dans les eaux souterraines. Il est utilisé depuis par les agences de l'eau dans cet objectif. HYPE est codé en langage de programmation R et permet de caractériser les séries temporelles d'évolution des contaminants en calculant les statistiques de base de manière automatique et d'identifier les tendances et les ruptures des séries chronologiques. Pour l'identification des tendances, HYPE applique automatiquement la méthode statistique la plus appropriée après analyse des conditions initiales issues des chroniques analysées (nombre et distribution des données, autocorrélation).

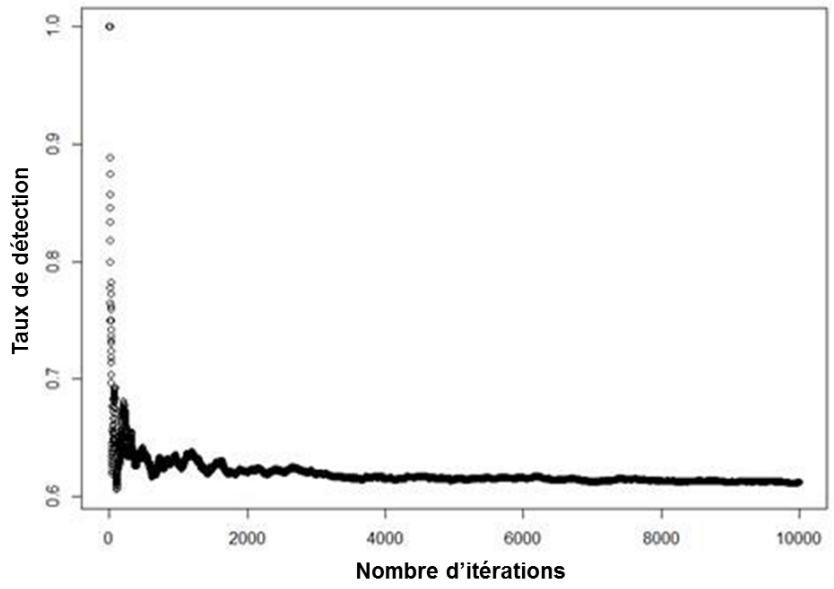



*Illustration 4 : Évolution du taux de détection de tendance en fonction du nombre d'itérations pour un jeu de paramètre de chronique virtuelle donnée.*

Les tendances des chroniques virtuelles sont connues car paramétrées dans les modèles mathématiques (gaussiens et variogrammes) des évolutions à partir desquels sont générées les séries temporelles analysées. Une analyse automatique de l'erreur du test statistique est donc mise en œuvre en comparant les résultats de l'analyse des chroniques virtuelles par HYPE avec la tendance vraie des évolutions dont elles sont issues. Cette comparaison est faite en automatique en raison du nombre conséquent de chroniques. Les tests de faisabilité de la méthode mise en œuvre ont en effet montré qu'un nombre de 10 000 itérations par jeu de paramètres de chronique virtuelle

était nécessaire pour stabiliser les taux de détection des tendances (Illustration 4). On montre en effet que si ce taux se stabilise grossièrement après 2 000 itérations environ, un nombre de 10 000 permet d'assurer des résultats statistiquement robustes. Ce sont ainsi 5 120 combinaisons de paramètres possibles × 10 000 itérations qui ont été générées pour l'étude, soit 51 200 000 tests de tendance réalisés. L'exercice a permis de donner, pour les 5 120 types de chroniques virtuelles testées, la probabilité de détecter la tendance « vraie » de l'évolution théorique de la chimie des eaux souterraines.

# 4. Résultats

## 4.1. CONSTRUCTION DES ABAQUES

Étant donné le nombre très important de résultats obtenus, il a été nécessaire de penser leur mise en forme afin d'en faciliter la lecture et l'exploitation opérationnelle. Par ailleurs, chaque paramètre utilisé pour la génération des chroniques virtuelles (c'est-à-dire le type d'évolution temporelle, la pente des tendances, la longueur des chroniques, la fréquence de prélèvements et l'incertitude analytique équivalente) constitue un angle d'attaque possible pour l'interprétation des résultats. On peut par exemple s'intéresser à la longueur optimale de chronique, évoluant selon un modèle de comportement donné et caractérisée par une fréquence de prélèvements définie, pour détecter, selon une probabilité donnée, une certaine tendance. On peut aussi vouloir estimer dans quelles proportions une diminution de l'incertitude analytique améliore la capacité d'un programme de mesure à détecter les tendances. Les résultats permettent encore de suivre l'évolution de la probabilité de détection des tendances en fonction des fréquences de prélèvements – ce qui correspond à l'objectif premier de l'étude – mais aussi en fonction des longueurs des chroniques, du type de comportement temporel, de la tendance et de l'incertitude analytique.

Les résultats peuvent être mis sous la forme de tableaux qui, pour chaque évolution théorique et incertitude analytique équivalente, renvoient le nombre de détection de la tendance vraie en fonction des paramètres des chroniques virtuelles. L'Illustration 5 montre ce type de tableau pour des évolutions de type monotone (modèle mathématique gaussien) et une incertitude analytique équivalente de 50 %. Le nombre d'itérations par combinaisons de paramètres étant de 10 000, il est facile de transformer les résultats en probabilité de détection de la tendance vraie. Les valeurs en gras dans le tableau de l'Illustration 5 correspondent par exemple aux combinaisons pour lesquelles la probabilité de détecter la tendance est supérieure à 95 % (par analogie avec le seuil de confiance de 5 % généralement utilisé en statistiques environnementales).

L'avantage de ce type de présentation réside dans le fait que tous les résultats bruts issus des tests réalisés pour l'étude sont disponibles et exploitables. Ce type de rendu présente néanmoins l'inconvénient de devoir multiplier de manière importante le nombre de tableaux. En effet, étant donné qu'il est attendu un tableau par type d'évolution théorique et par incertitude analytique équivalente, ce sont 64 tableaux – néanmoins regroupés par 4 (les 4 incertitudes analytiques équivalentes) dans les annexes – qui sont présentés.

| Ia eq. = 50 % | | Longueur des chroniques virtuelles | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Fréquences** | **Pente [% de V0]** | **6 ans** | **12 ans** | **18 ans** | **24 ans** |
| **0.5 /an** | 1 % | 0 | 458 | 917 | 1463 |
| | 2,5 % | 0 | 1039 | 2513 | 4581 |
| | 5 % | 0 | 2347 | 5591 | 8300 |
| **1 /an** | 1 % | 355 | 768 | 1411 | 2530 |
| | 2,5 % | 535 | 1881 | 4589 | 7440 |
| | 5 % | 1012 | 4627 | 8466 | **9842** |
| **2 /an** | 1 % | 506 | 1074 | 2191 | 4148 |
| | 2,5 % | 869 | 3433 | 7399 | **9587** |
| | 5 % | 1923 | 7479 | **9885** | **10000** |
| **4 /an** | 1 % | 645 | 1618 | 3968 | 7001 |
| | 2,5 % | 1371 | 5713 | 9481 | **9994** |
| | 5 % | 3347 | **9584** | **9999** | **10000** |
| **12 /an** | 1 % | 933 | 3696 | 8193 | **9886** |
| | 2,5 % | 3027 | **9573** | **10000** | **10000** |
| | 5 % | 7383 | **9999** | **10000** | **10000** |

*Illustration 5 : Nombre de détections (sur 10 000 itérations) de la tendance « vraie » par au moins une méthode statistique implémentée dans HYPE, pour des évolutions théoriques monotones, une incertitude analytique équivalente (Ia eq) de 50 % et en fonction des fréquences de prélèvements, de l'intensité de la pente de la tendance et de la longueur des chroniques virtuelles.*

Les graphiques sont généralement préférés aux tableaux de valeurs car plus lisibles et faciles à manipuler. Néanmoins, la représentation du tableau en Illustration 5 sous forme d'un graphique à deux dimensions n'est pas envisageable car le tableau est à 3 entrées : les fréquences de prélèvements, les pentes et les longueurs des chroniques virtuelles. C'est pourquoi il a été décidé de présenter les résultats sous la forme de graphiques à 3 dimensions. Un exemple reprenant les résultats du tableau en Illustration 5 est reporté en Illustration 6. Ces graphiques sont les abaques finaux de l'étude. Ils présentent, pour un type d'évolution théorique et une valeur d'incertitude analytique équivalente, la probabilité de détection de la tendance vraie en fonction de la fréquence de prélèvement, de la pente de tendance et pour différentes longueurs de chroniques. À l'instar des tableaux de résultats, 64 abaques, regroupés par type d'évolutions théoriques, sont présentés en Annexe 1 à 16.

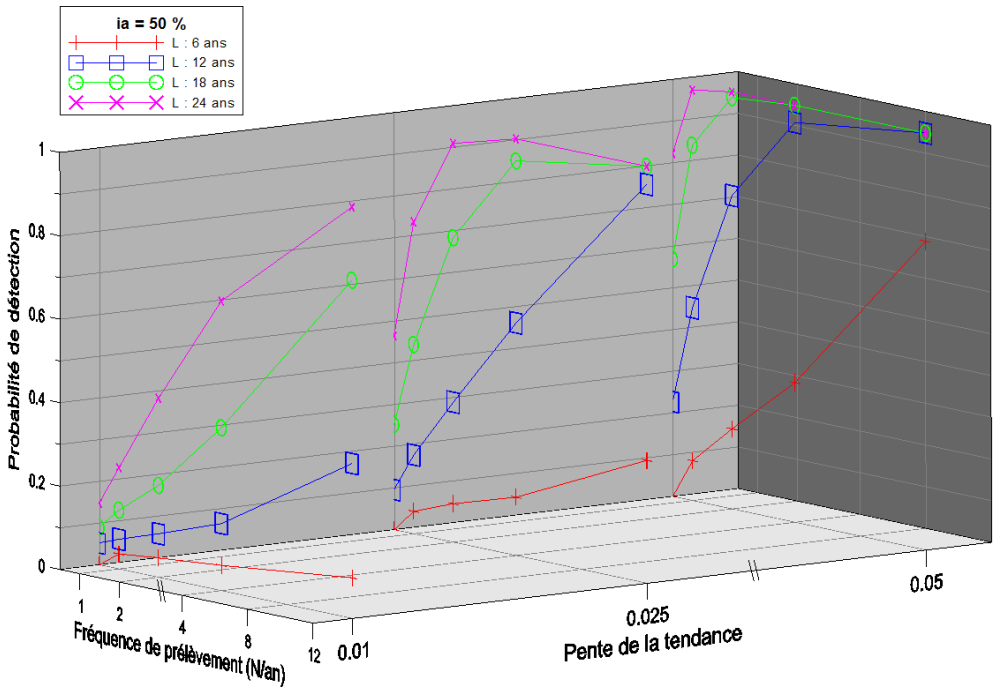



*Illustration 6 : Probabilité de détection de la tendance vraie d'un élément mesuré avec une incertitude analytique équivalente de 50 %, qui suit une évolution théorique monotone (modèle gaussien) en fonction de la fréquence de prélèvement, de la pente de la tendance et pour différentes longueurs de chroniques.*

## 4.2. ANALYSE DES RESULTATS

### 4.2.1. Évolution monotone - Modèle gaussien

L'analyse des résultats obtenus pour les chroniques issues des évolutions théoriques monotones montrent que, de manière logique, la probabilité de détecter une tendance est maximale lorsque l'incertitude analytique est la plus faible, que la longueur des chroniques est la plus importante, que la fréquence de prélèvement est la plus élevée et la pente la plus grande. Une dégradation d'un ou de plusieurs de ces paramètres engendre nécessairement une diminution de la probabilité de détecter les tendances.

Néanmoins, lorsque l'incertitude analytique équivalente est faible (+/- 2,5 %, Annexe 1 a), HYPE détecte 100 % des tendances vraies pour pratiquement toutes les combinaisons testées, sauf logiquement lorsque le nombre de données dans la chronique est trop faible (1 analyse tous les 2 ans pour des longueurs de 6 ans) ou le nombre juste suffisant mais la pente très faible (la probabilité de détection p = 81,1 % pour une fréquence de 1 /an, une longueur de 6 ans et une tendance de 1 % de la valeur initiale par an).

Dès que l'incertitude analytique augmente (Annexe 1 b, c et d), à longueur de chronique constante, il est nécessaire d'augmenter la fréquence de prélèvement afin de garder une probabilité p forte de détecter les tendances. Pour une longueur de

chronique de 12 ans par exemple, un suivi à la fréquence de 1 analyse tous les deux ans suffit à détecter les tendances de 5 % pour des éléments affectés de 10 % d'incertitude analytique équivalente, alors qu'il est nécessaire de les suivre 2 fois par ans s'ils sont affectés d'une incertitude de 30 % et 4 fois par an si cette incertitude atteint 50 %.

Un constat similaire peut être fait en faisant varier indépendamment, soit la longueur des chroniques, soit les pentes des tendances, soit les fréquences de prélèvements. Il en résulte que toutes les courbes présentées dans les abaques relatifs aux modèles de comportement gaussien et présentés en Annexe 1 sont croissantes.

### 4.2.2. Évolutions cycliques périodiques - Modèles variogrammes

Les évolutions théoriques issues des modèles variographiques sont caractérisées par leur cycle périodique qui engendre de l'autocorrélation dans les signaux. Or cette autocorrélation a tendance à biaiser les tests de tendance et donc à diminuer la probabilité de leur détection (Lopez et Leynet, 2012). Ce phénomène est bien mis en évidence par les résultats acquis à partir des chroniques issues des évolutions cycliques. À paramètres équivalents, les probabilités de détection sont en effet globalement plus faibles que pour les évolutions monotones.

Parmi les chroniques générées à partir des modèles variographiques, ce sont les évolutions de la chimie selon des cycles pluriannuels qui nécessitent les fréquences de suivi les plus serrées. Pour les types de chroniques longues de 12 ans et avec une variance de 0,2 par exemple, les fréquences de suivi testées les plus élevées (12 analyses par an) ne suffisent pas à identifier les tendances dans 95 % des cas au moins, et ce même pour les incertitudes analytiques les plus faibles de +/- 2,5 %. La probabilité de détection des tendances atteint dans ce dernier cas est de 89,6 %.

De plus, les résultats montrent que pour les évolutions cycliques annuelles et pluriannuelles, les probabilités de détection des faibles pentes diminuent lorsque la fréquence de prélèvement passe de 1 fois par an à 2 fois par an. Dans ces cas particuliers, et dans l'objectif précis de détecter les tendances en utilisant l'outil dédié HYPE, les résultats sont meilleurs lorsque le suivi est réalisé une fois par an par rapport à un suivi régulier 2 fois par an. Ce phénomène peut être expliqué par le fait que la périodicité qui induit l'autocorrélation est artificiellement plus exprimée dans les chroniques à plus fortes fréquences de prélèvement.

### 4.2.3. Fréquences optimales de prélèvements pour quelques cas courants

L'Illustration 7 présente les fréquences optimales de suivi pour identifier des tendances d'évolutions à pente de + 5 % de la valeur initiale de la chronique pour les combinaisons « type d'évolutions théoriques/incertitudes analytiques équivalentes » les plus courantes. Les analogies entre ces combinaisons théoriques et la réalité des suivis de la chimie des eaux souterraines sont les suivantes :

- évolution monotone et forte incertitude analytique équivalente (ia eq. = 30 et 50 %) = certains micropolluants organiques (type pesticides par exemple) en

faibles concentrations proches des LQ ou polluants émergents analysés avec de fortes incertitudes analytiques ; les concentrations en ces éléments évoluant dans le temps de manière relativement aléatoire, tout du moins décorrélée des variations hydroclimatiques ou hydrodynamiques.

- évolution cyclique annuelle à faible incertitude analytique équivalente = éléments majeurs de type nitrate dans des milieux réactifs, soit à venue d'eau de recharge rapide dans le système aquifère comme les karsts, soit à fort stock d'éléments mobilisables dans la ZNS régulièrement noyée/dénoyée.
- évolution cyclique pluriannuelle à faible incertitude analytique équivalente = éléments majeurs de type nitrate dans des milieux inertiels peu réactifs aux variations saisonnières de recharge des aquifères mais sensibles aux grandes oscillations climatiques comme la NAO (North Atlantic Oscillation).

| **Evolution théoriques** | **ia eq.** | **Longueur des chroniques virtuelles** | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | **6 ans** | **12 ans** | **18 ans** | **24 ans** |
| Evolution monotone | 30 % | 12 /an | 2 /an | 1 /an | 0,5 /an |
| Evolution monotone | 50 % | p = 73,8 % pour 12 /an | 4 /an | 2 /an | 1 /an |
| Evolution cyclique annuelle | 2,5 % | p = 85 % pour 12 /an | 4 /an | 2 /an | 2 /an |
| Evolution cyclique pluriannuelle (cycle de 10 ans) | 2,5 % | p = 60,2 % pour 12 /an | p = 89,6 % pour 12 /an | 4 /an | 0,5 /an |
| Evolution à double cycles annuel et pluriannuel (partition 50/50) | 2,5 % | p = 59,5 % pour 12 /an | 12 /an | 2 /an | 0,5 /an |

*Illustration 7 : Fréquences de prélèvement optimales (fréquence minimale pour une probabilité p de 95 % de détecter la tendance vraie établie à 5 % de la valeur initiale par an) en fonction des longueurs des chroniques et pour les combinaisons « modèles d'évolution temporelle (variance de 0,2) / incertudes analytiques équivalentes » les plus couramment rencontrées dans la réalité.*

Ces résultats montrent que d'une manière générale et pour les combinaisons présentées en Illustration 7 plus précisément, la détection des tendances atteint des probabilités acceptables pour des longueurs correspondant à deux cycles de gestion (12 ans). Pour ces longueurs de chroniques, disponibles actuellement pour des éléments comme les nitrates et certains pesticides, 2 analyses par an apparaissent comme un minimum pour pouvoir détecter les tendances. Si de l'autocorrélation apparait dans les signaux (cycles périodiques), un minimum de 4 prélèvements par an sera nécessaire, voire plus si les cycles ont des périodes pluriannuelles. Il est à noter que pour les polluants émergents, il est à l'heure actuelle peu vraisemblable de pouvoir disposer de chroniques assez longues pour détecter des tendances.

# 5. Conclusion

Une méthode permettant de générer des chroniques virtuelles de suivi de la qualité des eaux (souterraines et de surface)a été développée dans le but d'optimiser la qualité des réseaux de surveillance en terme de fréquence, de durée/longueur de chroniques et d'intégration de l'incertitude analytique ; cette optimisation est attendue avec la révision des réseaux de surveillance des eaux souterraines pour le prochain cycle de gestion de la directive cadre sur l'eau (2016-2021).

Cette méthode repose sur la définition de 4 modèles mathématiques d'évolution temporelle des contaminants dans les eaux souterraines : évolution monotone, cyclique annuelle, cyclique pluriannuelle et double cycles annuel et pluriannuel. La formulation des modèles d'évolution est issue de l'analyse géostatistique de chroniques réelles d'évolution des concentrations en nitrates et produits phytosanitaires du bassin Seine-Normandie réalisée en 2011. Des chroniques virtuelles de suivi de la qualité des eaux ont ensuite été générées en prélevant dans ces évolutions théoriques des contaminants, selon une fréquence donnée et pendant un temps donné, des valeurs de concentrations entachées d'une incertitude analytique dite équivalente. Cette méthode a permis d'obtenir un jeu de chroniques conséquent, aux caractéristiques connues et paramétrables, sur lesquelles l'outil d'identification des tendances HYPE a été appliqué. Les tendances vraies des chroniques étant connues car définies dans les modèles mathématiques d'évolution théorique, il a été possible de calculer, pour chaque modèle de comportement et chaque type de chronique, la probabilité d'identifier les tendances d'évolution de la qualité des eaux souterraines. Afin de faciliter l'analyse et la lecture des résultats, des abaques présentant l'évolution des probabilités de détection des tendances en fonction de la longueur, de la valeur de la pente de la tendance et de la fréquence de prélèvement ont été construits pour chaque modèle de comportement temporel et valeur d'incertitude analytique théorique.

Les résultats montrent que, d'une manière générale, la probabilité de détection des tendances est corrélée positivement avec la longueur des chroniques et la pente des tendances, et qu'elle est anticorrélée avec l'incertitude analytique théorique. De plus, les tests montrent que ce sont les évolutions de la chimie selon des cycles pluriannuels qui nécessitent les fréquences de suivi les plus importantes. Pour des chroniques longues de 12 ans et affectées d'une variance de 0,2 par exemple, les fréquences de suivi testées les plus élevées (12 analyses par an) ne suffisent pas à identifier les tendances dans 95 % des cas au moins, et ce même pour les incertitudes analytiques équivalentes les plus faibles de +/- 2,5 %. En outre, dans le cas de modèle de comportement de type cyclique annuel, une fréquence de prélèvement régulière de 2 analyses par an est particulièrement défavorable à l'identification des tendances, la probabilité de détection pouvant, dans certains cas, être plus faible que lorsque le suivi n'est réalisé qu'avec une fréquence de 1 analyse par an seulement. Ce phénomène est d'autant plus marqué que la pente de la tendance représente une faible part de la variance globale du signal. Ce constat confirme certaines conclusions émises en 2011 lors de l'analyse de la puissance et de la robustesses des méthodes statistiques pour l'identification des tendances (Lopez et Leynet, 2011). Il avait été montré à la fois l'impact négatif de l'autocorrélation induite par la cyclicité des signaux sur les

méthodes statistiques et le fait qu'un calendrier de suivi irrégulier ou troué permet de « casser » l'expression de cette autocorrélation via les chroniques. Dans le cas spécifique de comportements cycliques annuels et dans l'objectif particulier d'identifier les tendances d'évolution avec l'outil HYPE, il pourra être préféré, par rapport à une fréquence de prélèvement régulière de 2 analyses par an, une fréquence de prélèvements de 1 analyse par an ou bien une même fréquence de prélèvement mais irrégulièrement répartie sur l'année.

Les abaques pourraient être intégrés dans l'outil HYPE en restituant par exemple, pour une chronique analysée, les fréquences de prélèvement optimum pour identifier différents ordres de grandeurs de tendance. Ces fréquences pourraient être comparées au suivi réel afin d'estimer s'il est nécessaire d'augmenter, ou à l'inverse possible de réduire, la fréquence de suivi du paramètre conserné au point considéré. L'outil HYPE permettrait alors de caractériser les évolutions de la qualité des eaux souterraines et de mieux identifier l'impact de mesures de protection prises d'une part, et, d'autre part, d'optimiser le suivi de la qualité des eaux et donc de faire des économies de gestion.

Néanmoins, au-delà de ces applications spécifiques, les résultats confirment la nécessité de bien comprendre les modalités qui guident les évolutions temporelles des contaminants dans les eaux souterraines, notamment lorsqu'il s'agit de définir les réseaux au travers desquels sont réalisés les suivis. Cette connaissance sera toujours favorisée par l'augmentation du nombre de données robustes disponibles, et donc par l'augmentation des fréquences de suivis de la qualité des eaux.

Enfin, si dans le cadre de cette action, les travaux ce sont focalisés sur les tendances d'évolutions de la qualité des eaux souterraines, la méthode globale de génération de chroniques virtuelles à partir de modèles mathématiques d'évolutions pourrait être réutilisée et/ou adaptée afin de répondre à d'autres objectifs. De nombreux indicateurs sont en effet calculés au titre de l'état chimique à partir des données issues des suivis de la qualité des eaux. Les « erreurs » pourraient alors être estimées en analysant les différences entre les résultats des calculs réalisés sur les chroniques virtuelles et les valeurs vraies connues des évolutions théoriques, et ce en fonction des caractéristiques des suivis de la qualité des eaux.

# 6. Bibliographie

**Baran N., Gourcy L., Lopez B., Bourgine B., Mardhel V.** (2009) – Transfert des nitrates à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Phase 1 : temps de transfert et typologie des aquifères. Rapport BRGM RP-54830-FR, 105 p

**Croiset N., Lopez B.** (2013) – HYPE : Outil d'analyse statistique des séries temporelles d'évolution de la qualité des eaux souterraines – Manuel d'utilisation. BRGM/RP-63066-FR. 64 p., 33 fig.

**Ghestem J.P.** (2011) – Estimation des incertitudes de mesure dans les programmes de surveillance DCE : situation actuelle et impact des exigences européennes. Rapport final BRGM/RP-60611-FR, 45 pages- Décembre 2011 - Rapport AQUAREF 2011

**Ghestem J.P., Guiges N., Yardin C.** (2010) – Surveillance de polluants dans les eaux souterraines : impact de l'incertitude de mesure sur l'évaluation des tendances. Rapport AQUAREF / BRGM-RP-59342-FR, 108 pages 1 Annexe, 19 Figures, 16 Tableaux.

**Ghestem J.P., Leynet A., Demeyer S., Fisher N., Lalere B.** (2014) – Niveau de confiance sur l'indicateur réglementaire de l'état chimique d'une masse d'eau. Rapport final. BRGM/RP-63228-FR, 45 p., 10 ill.

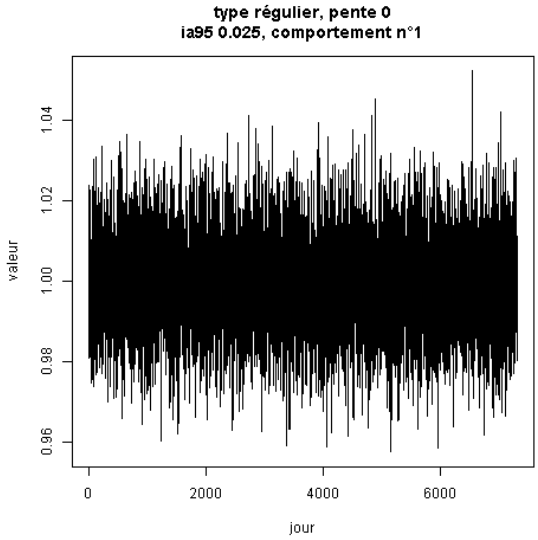
**Lopez B., Baran N., Bourgine B., Brugeron A., Gourcy L.** (2012) - Pollution diffuse des aquifères du bassin Seine-Normandie par les nitrates et les produits phytosanitaires : temps de transfert et tendances. Rapport final BRGM/RP-60402-FR ; 326p.

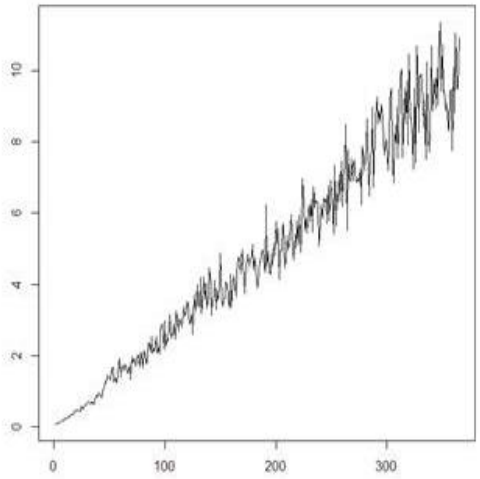
**Lopez B., Croiset N., Surdyk N., Brugeron A.** (2013) – Développement d'outils d'aide à l'évaluation des tendances dans les eaux souterraines au titre de la DCE. Rapport final. BRGM/RP-61855-FR, 98 p., 45 ill., 1 ann.

**Lopez B., Leynet A., Blum A., Baran N.** (2011) – Evaluation des tendances d'évolution des concentrations en polluants dans les eaux souterraines. Revue des méthodes statistiques existantes et recommandations pour la mise en œuvre de la DCE. Rapport final. BRGM/RP-59515-FR, 166 p., 48 ill.

# Annexe 1

# Comportement 1 : Evolution monotonique

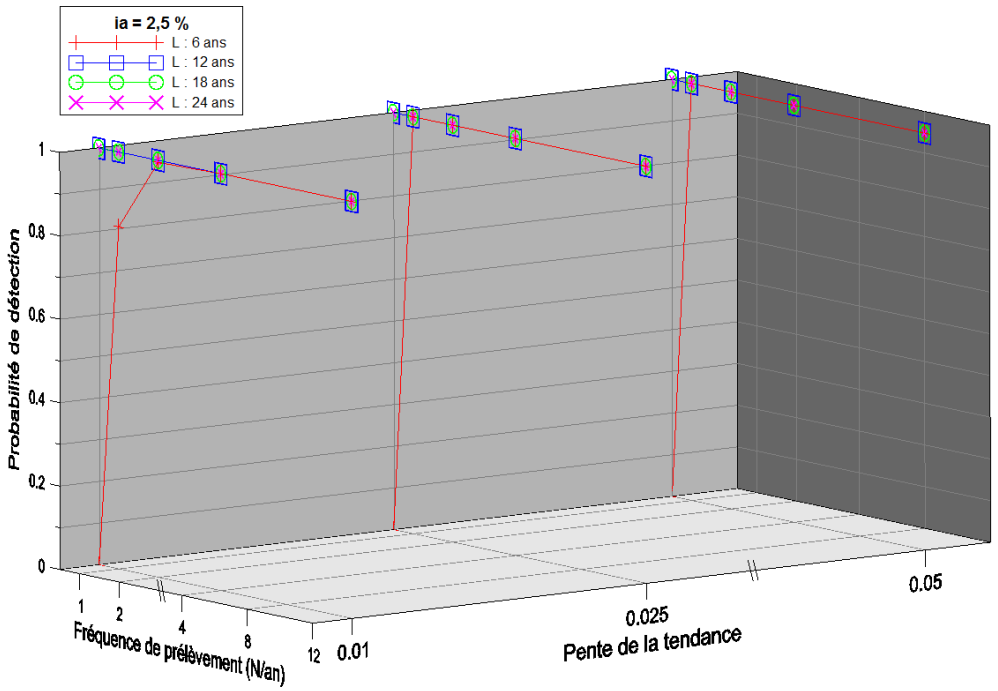


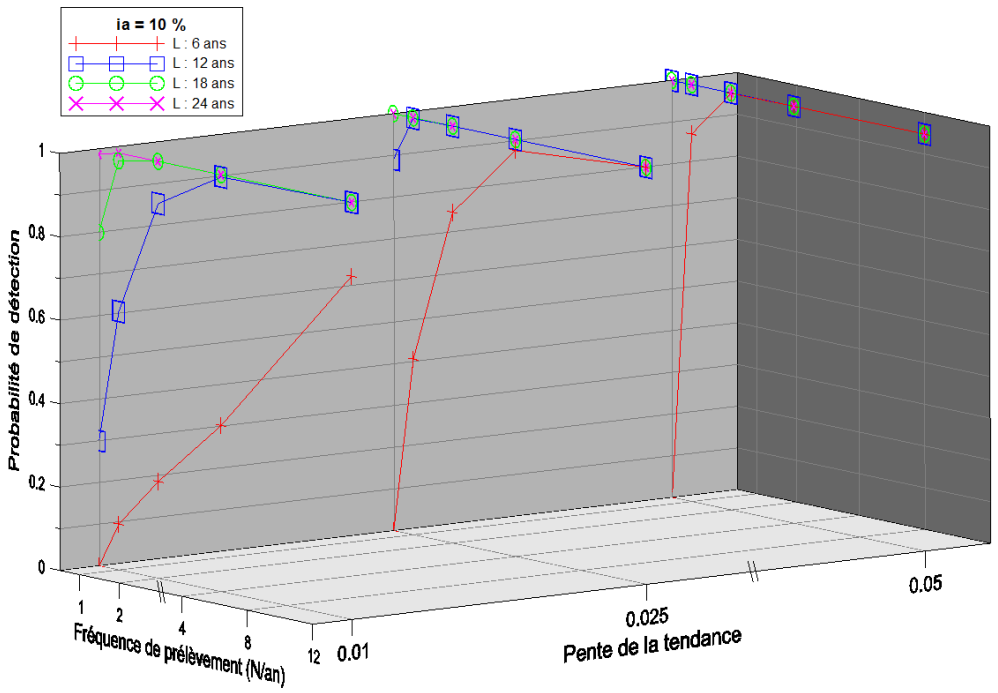
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 81.8% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 99.4% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 30.3% | 79.5% | 98.6% |
| **10** | **0.01** | **1** | 12.0% | 63.3% | 97.9% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **2** | 22.6% | 89.7% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **4** | 40.5% | 99.5% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **12** | 83.3% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 88.8% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **1** | 43.4% | 99.8% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **2** | 78.6% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **4** | 97.7% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **12** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **1** | 88.6% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **2** | 99.9% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **4** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **12** | 100.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 7.1% | 16.7% | 31.1% |
| **30** | **0.01** | **1** | 4.2% | 13.2% | 29.0% | 54.8% |
| **30** | **0.01** | **2** | 6.7% | 20.3% | 49.7% | 82.0% |
| **30** | **0.01** | **4** | 9.4% | 34.9% | 78.4% | 98.4% |
| **30** | **0.01** | **12** | 17.6% | 76.4% | 99.7% | 100.0% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 20.6% | 56.1% | 85.4% |
| **30** | **0.025** | **1** | 8.4% | 42.0% | 85.2% | 99.0% |
| **30** | **0.025** | **2** | 16.2% | 69.9% | 98.8% | 100.0% |
| **30** | **0.025** | **4** | 28.8% | 94.2% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.025** | **12** | 65.6% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 49.0% | 92.1% | 99.6% |
| **30** | **0.05** | **1** | 20.5% | 85.7% | 99.9% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **2** | 43.1% | 99.1% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **4** | 69.9% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **12** | 99.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 4.6% | 9.2% | 14.6% |
| **50** | **0.01** | **1** | 3.6% | 7.7% | 14.1% | 25.3% |
| **50** | **0.01** | **2** | 5.1% | 10.7% | 21.9% | 41.5% |
| **50** | **0.01** | **4** | 6.5% | 16.2% | 39.7% | 70.0% |
| **50** | **0.01** | **12** | 9.3% | 37.0% | 81.9% | 98.9% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 10.4% | 25.1% | 45.8% |
| **50** | **0.025** | **1** | 5.4% | 18.8% | 45.9% | 74.4% |
| **50** | **0.025** | **2** | 8.7% | 34.3% | 74.0% | 95.9% |
| **50** | **0.025** | **4** | 13.7% | 57.1% | 94.8% | 99.9% |
| **50** | **0.025** | **12** | 30.3% | 95.7% | 100.0% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 23.5% | 55.9% | 83.0% |
| **50** | **0.05** | **1** | 10.1% | 46.3% | 84.7% | 98.4% |
| **50** | **0.05** | **2** | 19.2% | 74.8% | 98.9% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **4** | 33.5% | 95.8% | 100.0% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **12** | 73.8% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 1.**

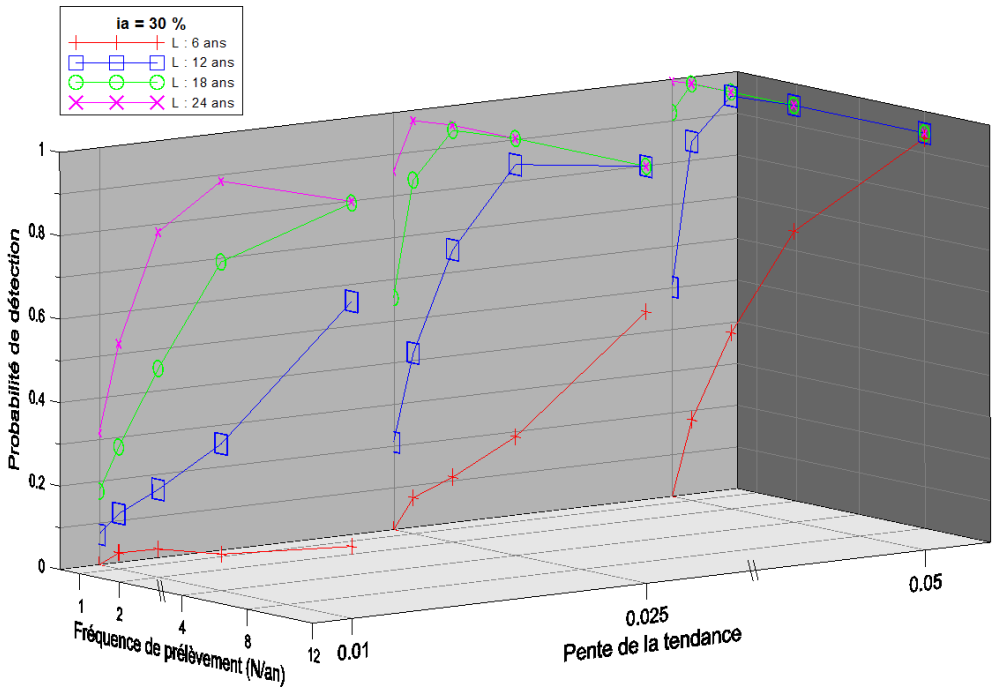
a) Incertitude analytique = 2,5 %



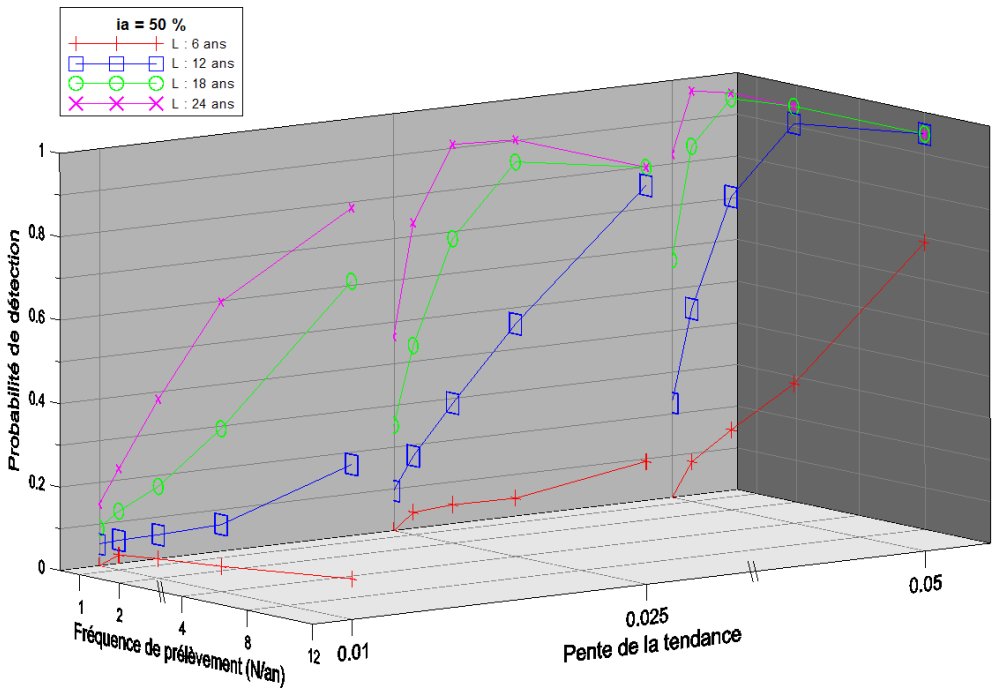

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



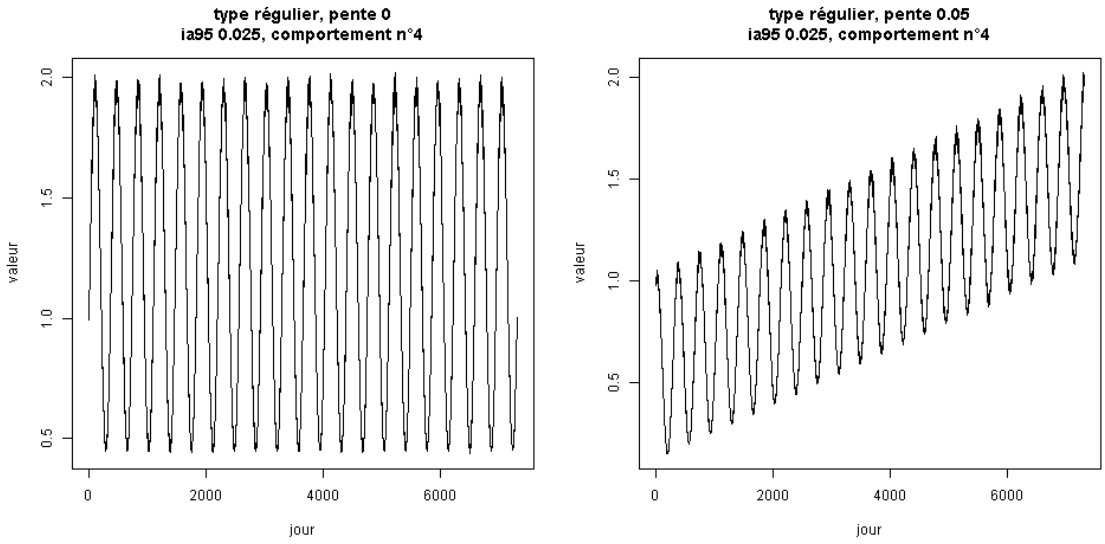

d) Incertitude analytique = 50 %



# Annexe 2

# Comportement 2.1 : Evolution cyclique annuelle

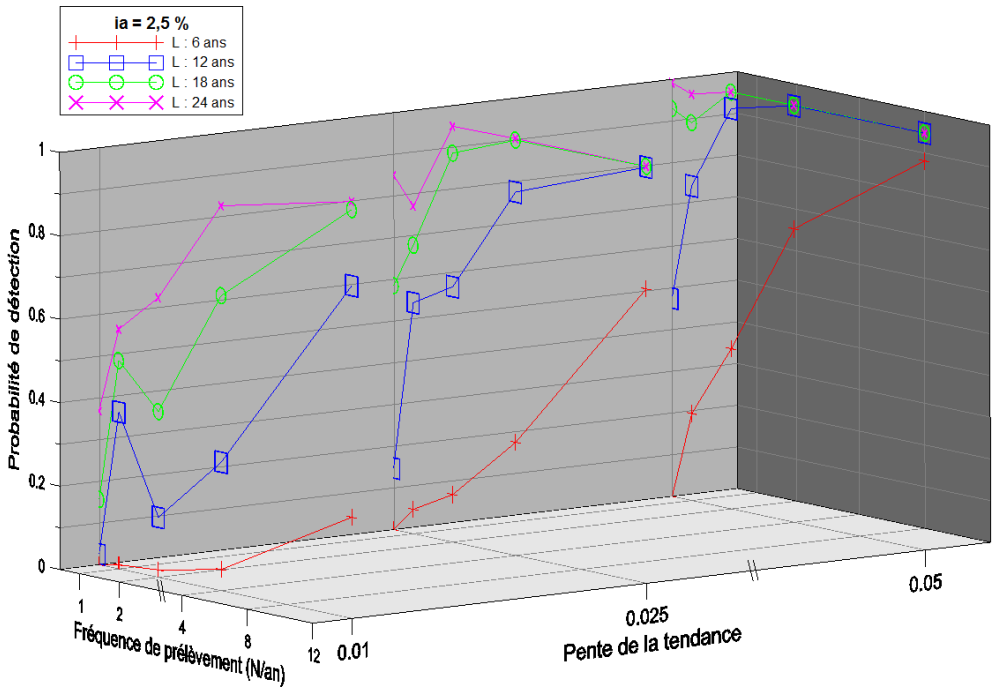
Cycle de 365 j – variance = 0,1.



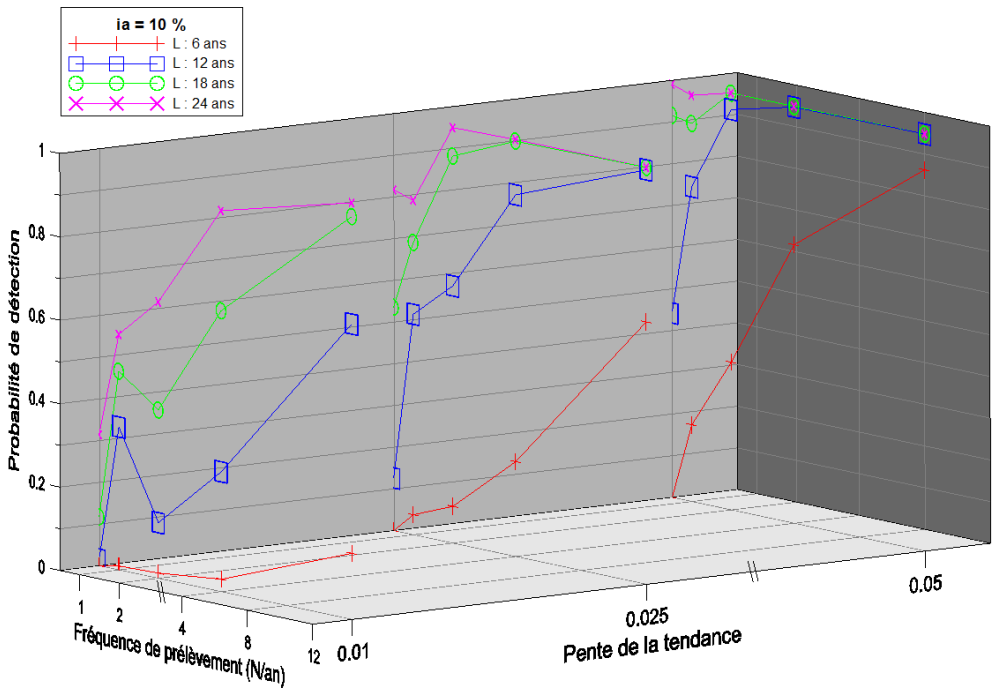
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.6% | 15.7% | 36.9% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 1.0% | 37.6% | 50.0% | 57.5% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 1.8% | 14.4% | 39.8% | 67.1% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 5.1% | 30.8% | 70.8% | 92.3% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 24.3% | 79.8% | 98.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 14.8% | 58.6% | 85.0% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 5.9% | 55.4% | 69.2% | 78.6% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 11.5% | 61.3% | 93.3% | 99.7% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 27.2% | 87.2% | 99.6% | 100.0% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 70.6% | 99.8% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 47.6% | 93.1% | 99.2% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 20.9% | 75.5% | 90.6% | 97.5% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 38.4% | 96.0% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 70.4% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 93.3% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.6% | 11.8% | 31.5% |
| 10 | 0.01 | 1 | 1.0% | 34.3% | 47.7% | 56.5% |
| 10 | 0.01 | 2 | 1.3% | 13.4% | 40.4% | 66.3% |
| 10 | 0.01 | 4 | 3.0% | 28.8% | 67.4% | 91.4% |
| 10 | 0.01 | 12 | 15.9% | 70.9% | 96.6% | 99.9% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 12.7% | 53.6% | 81.8% |
| 10 | 0.025 | 1 | 4.8% | 52.9% | 70.1% | 80.2% |
| 10 | 0.025 | 2 | 8.8% | 61.7% | 92.8% | 99.7% |
| 10 | 0.025 | 4 | 22.8% | 86.8% | 99.6% | 100.0% |
| 10 | 0.025 | 12 | 62.9% | 99.4% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 44.2% | 91.7% | 99.1% |
| 10 | 0.05 | 1 | 18.4% | 75.5% | 90.7% | 97.4% |
| 10 | 0.05 | 2 | 35.4% | 96.0% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 66.8% | 99.8% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 91.4% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.4% | 6.7% | 16.2% |
| 30 | 0.01 | 1 | 2.1% | 18.9% | 35.1% | 45.7% |
| 30 | 0.01 | 2 | 1.8% | 6.7% | 22.3% | 49.9% |
| 30 | 0.01 | 4 | 2.8% | 13.7% | 44.1% | 80.8% |
| 30 | 0.01 | 12 | 8.9% | 43.6% | 87.4% | 99.2% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.2% | 30.8% | 61.6% |
| 30 | 0.025 | 1 | 4.7% | 35.4% | 59.3% | 74.4% |
| 30 | 0.025 | 2 | 5.4% | 39.4% | 85.0% | 98.8% |
| 30 | 0.025 | 4 | 11.3% | 69.5% | 98.3% | 100.0% |
| 30 | 0.025 | 12 | 37.9% | 96.4% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 24.8% | 75.0% | 95.0% |
| 30 | 0.05 | 1 | 9.8% | 61.2% | 86.2% | 95.6% |
| 30 | 0.05 | 2 | 18.4% | 89.2% | 99.8% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 40.2% | 99.1% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 82.9% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.6% | 6.2% | 10.3% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.3% | 12.2% | 23.2% | 33.2% |
| 50 | 0.01 | 2 | 2.5% | 5.7% | 14.0% | 29.2% |
| 50 | 0.01 | 4 | 3.3% | 9.9% | 25.9% | 53.9% |
| 50 | 0.01 | 12 | 6.2% | 25.2% | 65.1% | 93.4% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 5.7% | 18.5% | 36.4% |
| 50 | 0.025 | 1 | 3.9% | 21.8% | 43.3% | 60.5% |
| 50 | 0.025 | 2 | 5.4% | 22.1% | 59.5% | 89.8% |
| 50 | 0.025 | 4 | 8.1% | 42.7% | 87.8% | 99.4% |
| 50 | 0.025 | 12 | 21.4% | 85.8% | 99.7% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 14.9% | 45.8% | 75.3% |
| 50 | 0.05 | 1 | 7.2% | 40.6% | 70.8% | 88.8% |
| 50 | 0.05 | 2 | 11.5% | 63.1% | 96.6% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 4 | 22.8% | 90.1% | 99.9% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 60.1% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 2.1.**

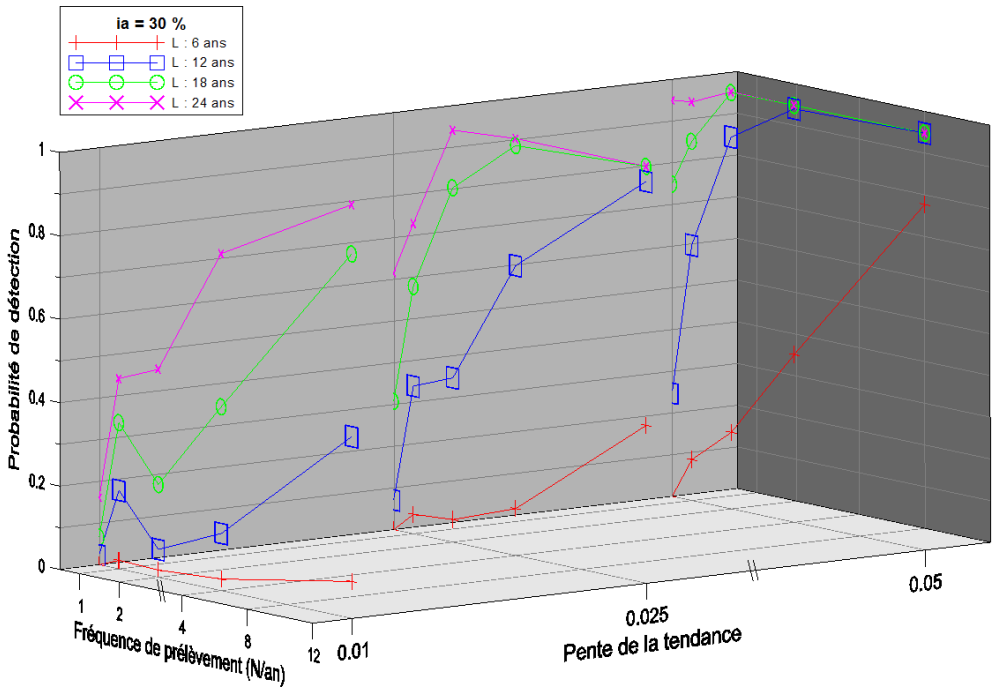
a) Incertitude analytique = 2,5 %



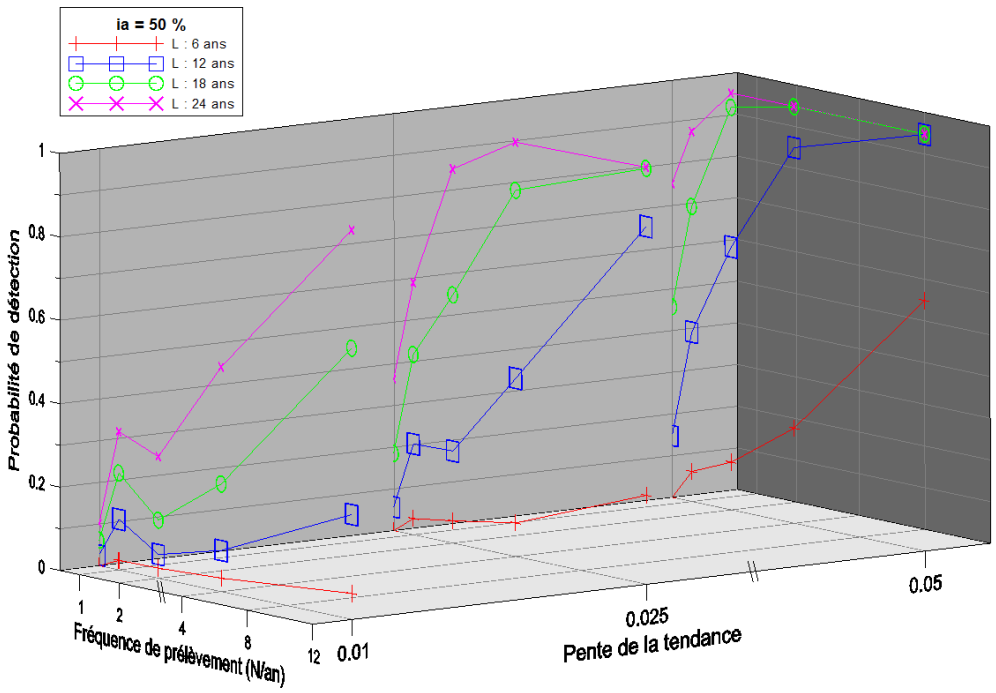

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



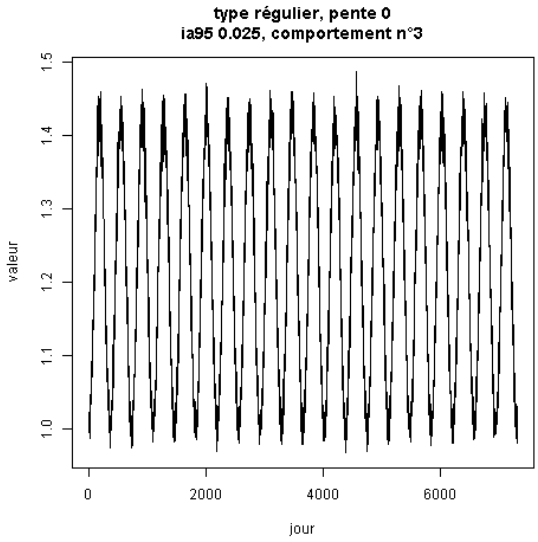

d) Incertitude analytique = 50 %

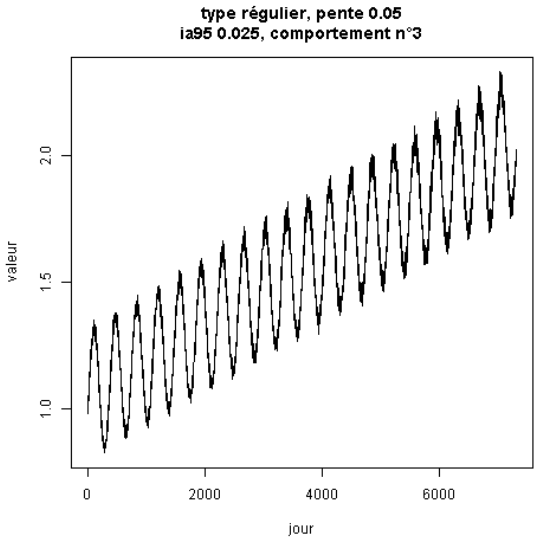


# Annexe 3

# Comportement 2.2 : Evolution cyclique annuelle

Cycle de 365 j – variance = 0,2.

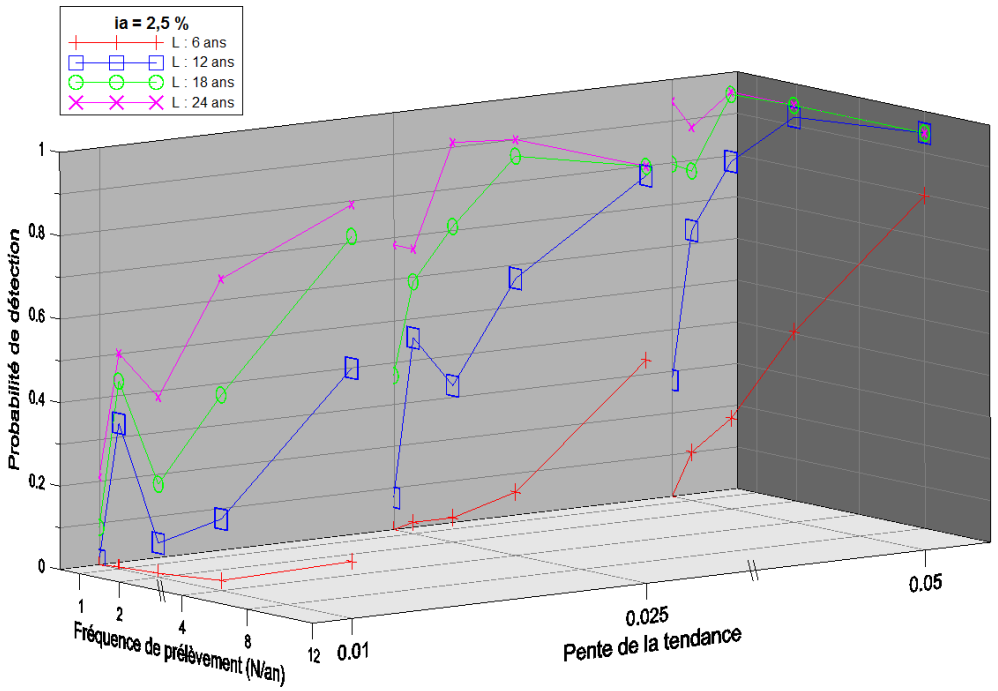


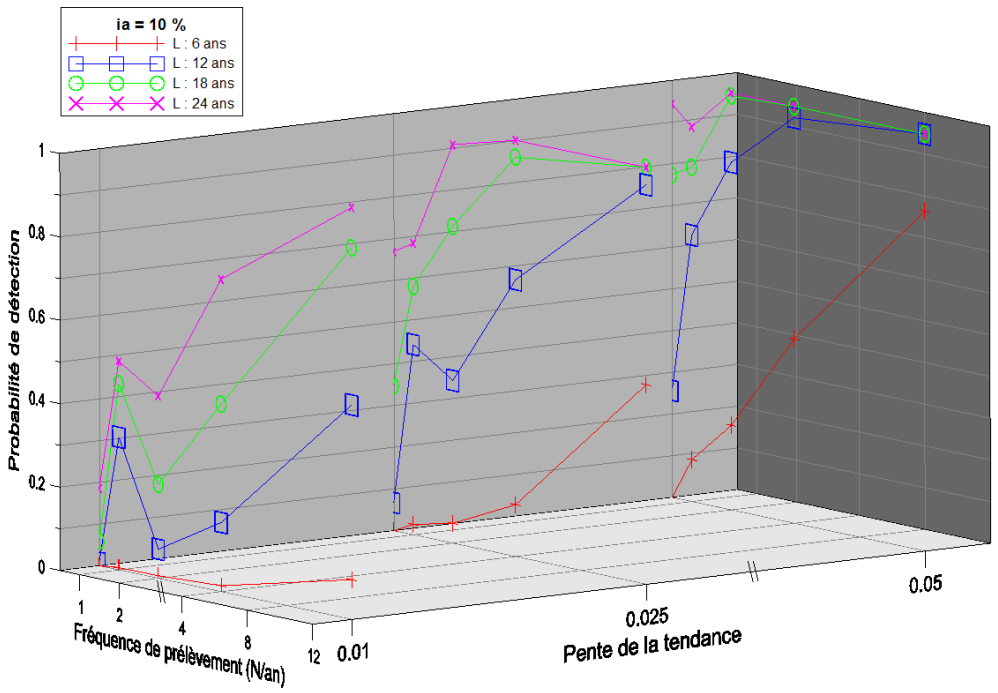
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 1.3% | 9.0% | 21.1% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 0.5% | 34.9% | 45.0% | 51.7% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 1.0% | 8.2% | 22.3% | 43.2% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 2.5% | 17.2% | 46.9% | 74.7% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 13.7% | 60.0% | 91.6% | 99.2% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 7.8% | 37.0% | 68.3% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 2.8% | 47.0% | 60.5% | 68.3% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 5.9% | 37.5% | 75.7% | 95.9% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 15.2% | 66.5% | 95.8% | 99.8% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 53.6% | 97.8% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 28.0% | 79.7% | 94.8% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 11.7% | 64.8% | 79.0% | 89.5% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 21.8% | 83.3% | 99.4% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 45.7% | 97.2% | 100.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 85.0% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.9% | 6.1% | 18.6% |
| **10** | **0.01** | **1** | 0.6% | 31.8% | 44.7% | 50.1% |
| **10** | **0.01** | **2** | 0.6% | 7.0% | 22.5% | 43.7% |
| **10** | **0.01** | **4** | 1.4% | 16.6% | 45.0% | 74.9% |
| **10** | **0.01** | **12** | 9.6% | 51.5% | 89.1% | 98.8% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 6.8% | 34.8% | 66.9% |
| **10** | **0.025** | **1** | 2.5% | 45.6% | 59.6% | 69.9% |
| **10** | **0.025** | **2** | 4.8% | 39.0% | 76.0% | 95.6% |
| **10** | **0.025** | **4** | 12.5% | 66.4% | 95.8% | 99.8% |
| **10** | **0.025** | **12** | 47.9% | 95.8% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 25.7% | 77.4% | 94.5% |
| **10** | **0.05** | **1** | 10.1% | 63.9% | 80.2% | 89.8% |
| **10** | **0.05** | **2** | 20.3% | 83.4% | 99.3% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **4** | 44.2% | 97.2% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **12** | 81.6% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 1.2% | 4.0% | 10.6% |
| **30** | **0.01** | **1** | 1.6% | 20.6% | 36.2% | 43.6% |
| **30** | **0.01** | **2** | 1.2% | 4.3% | 13.8% | 34.7% |
| **30** | **0.01** | **4** | 1.4% | 8.5% | 31.1% | 63.5% |
| **30** | **0.01** | **12** | 5.5% | 31.7% | 75.5% | 95.2% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 4.4% | 20.9% | 49.9% |
| **30** | **0.025** | **1** | 2.7% | 35.2% | 53.6% | 64.7% |
| **30** | **0.025** | **2** | 2.9% | 26.7% | 69.5% | 92.7% |
| **30** | **0.025** | **4** | 7.0% | 53.9% | 92.8% | 99.6% |
| **30** | **0.025** | **12** | 27.7% | 90.3% | 99.8% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 16.3% | 60.6% | 87.9% |
| **30** | **0.05** | **1** | 7.2% | 54.1% | 76.0% | 88.1% |
| **30** | **0.05** | **2** | 11.6% | 76.1% | 98.6% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **4** | 27.9% | 95.4% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **12** | 72.0% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 1.6% | 4.5% | 8.7% |
| **50** | **0.01** | **1** | 2.2% | 14.0% | 25.5% | 36.0% |
| **50** | **0.01** | **2** | 1.5% | 3.9% | 9.2% | 22.0% |
| **50** | **0.01** | **4** | 2.2% | 6.6% | 18.6% | 42.2% |
| **50** | **0.01** | **12** | 5.2% | 19.2% | 55.5% | 87.8% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 4.2% | 13.9% | 30.5% |
| **50** | **0.025** | **1** | 3.3% | 22.1% | 41.7% | 56.0% |
| **50** | **0.025** | **2** | 3.2% | 16.9% | 50.1% | 81.8% |
| **50** | **0.025** | **4** | 6.0% | 33.5% | 79.4% | 97.6% |
| **50** | **0.025** | **12** | 17.6% | 77.2% | 99.0% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 10.9% | 39.3% | 69.5% |
| **50** | **0.05** | **1** | 5.9% | 38.4% | 64.8% | 80.3% |
| **50** | **0.05** | **2** | 8.7% | 52.5% | 92.1% | 99.8% |
| **50** | **0.05** | **4** | 17.4% | 83.2% | 99.7% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **12** | 51.4% | 99.3% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 2.2.**

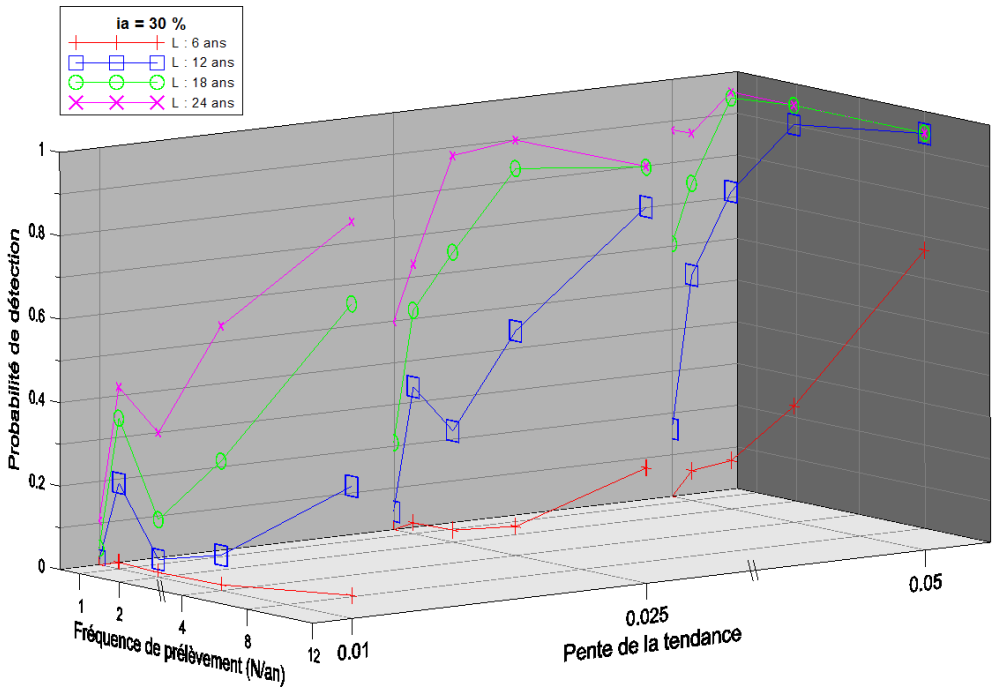
a) Incertitude analytique = 2,5 %



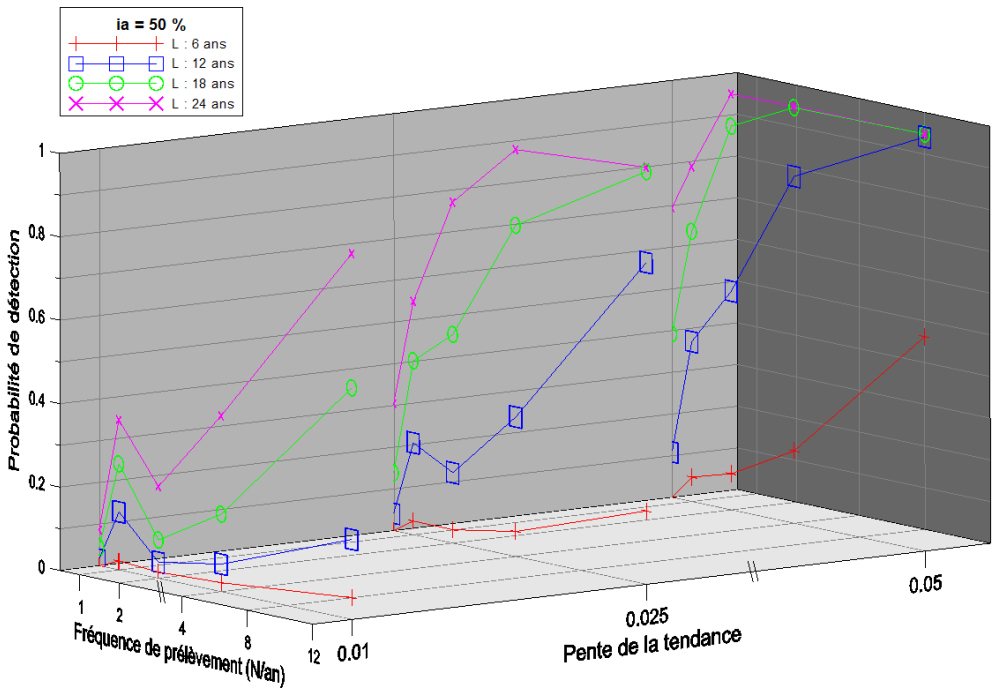

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



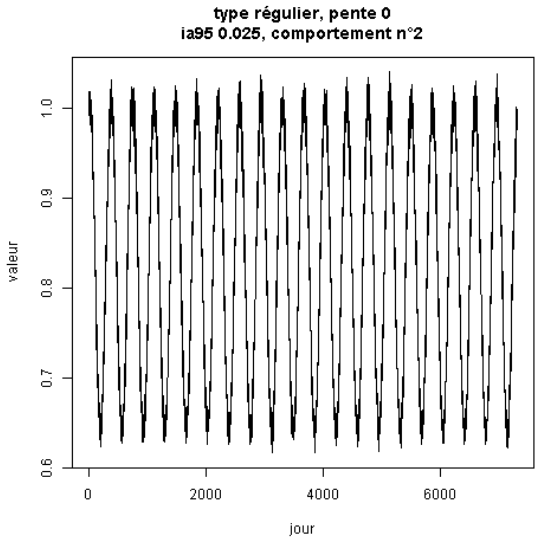

d) Incertitude analytique = 50 %

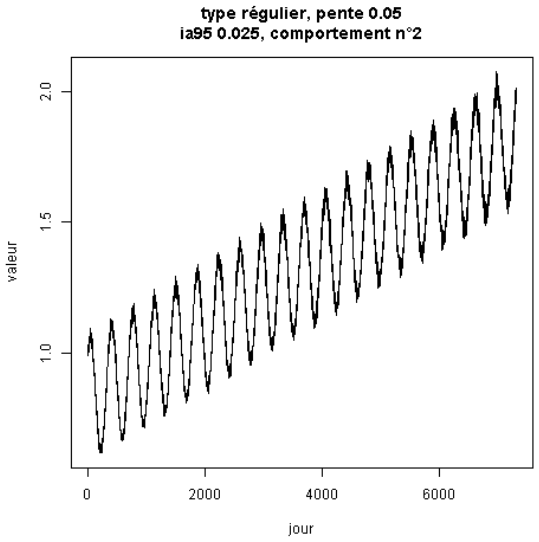


# Annexe 4

# Comportement 2.3 : Evolution cyclique annuelle

Cycle de 365 j – variance = 0,5.

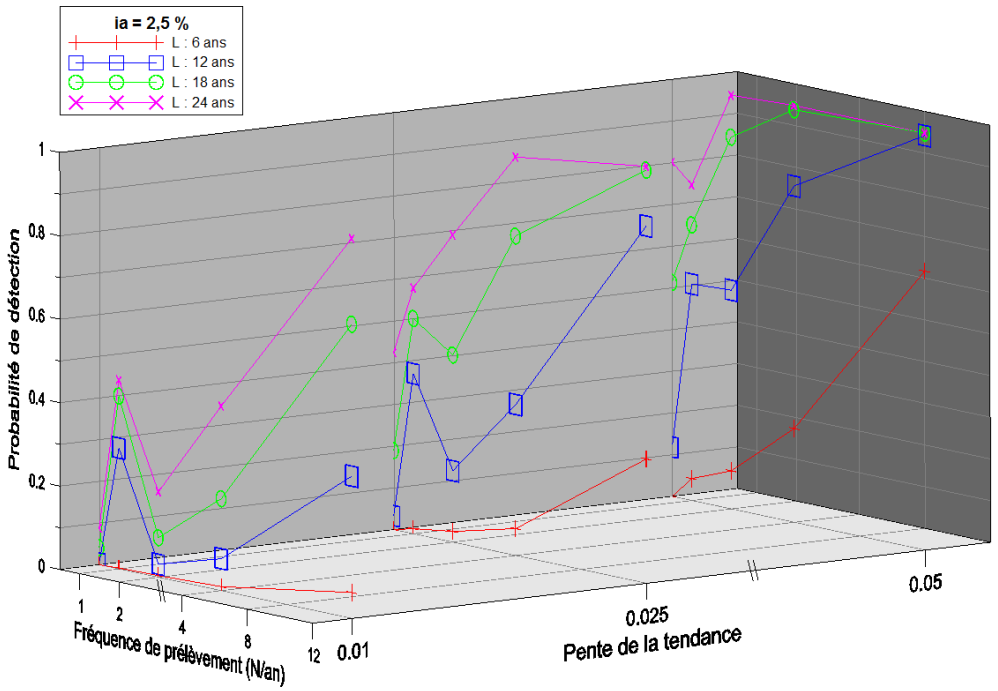


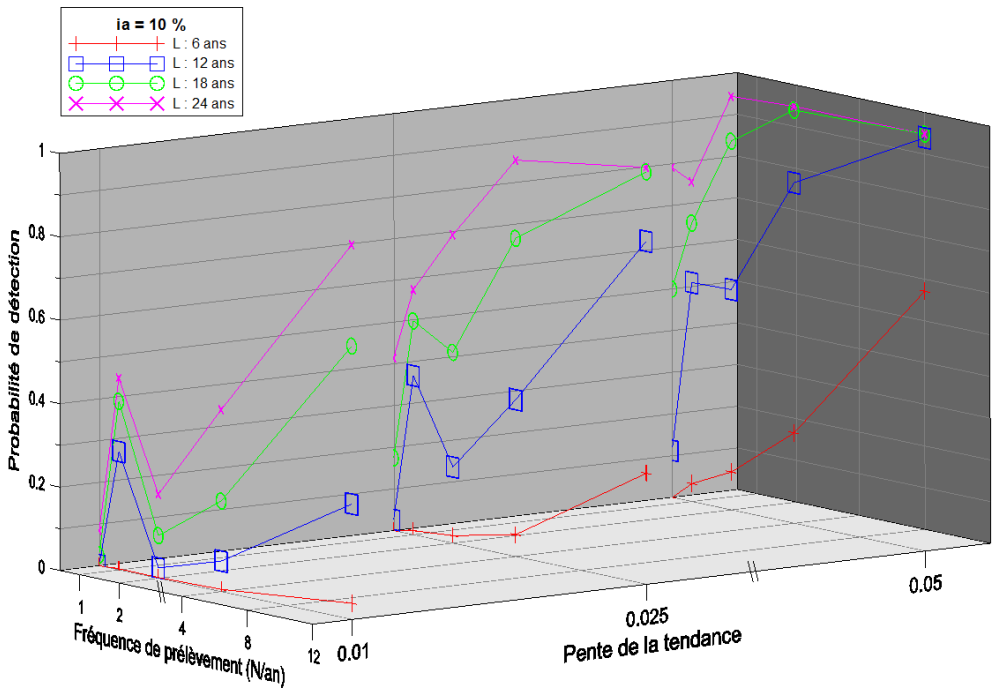
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 4.2% | 8.9% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 0.2% | 29.0% | 41.5% | 45.3% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 0.4% | 3.2% | 9.6% | 20.5% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 1.0% | 7.7% | 22.1% | 44.3% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 6.2% | 34.1% | 70.6% | 91.1% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 3.4% | 19.0% | 42.5% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 1.2% | 38.4% | 51.6% | 58.9% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 2.6% | 17.1% | 44.9% | 73.7% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 6.5% | 36.2% | 76.7% | 95.6% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 29.8% | 85.7% | 99.1% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 11.9% | 51.4% | 80.3% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 5.3% | 52.0% | 66.1% | 75.7% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 9.2% | 52.5% | 89.2% | 99.2% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 22.5% | 80.7% | 99.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 66.9% | 99.4% | 100.0% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.3% | 2.7% | 8.5% |
| **10** | **0.01** | **1** | 0.3% | 28.4% | 40.4% | 46.0% |
| **10** | **0.01** | **2** | 0.2% | 2.5% | 10.3% | 20.2% |
| **10** | **0.01** | **4** | 0.6% | 7.4% | 21.8% | 43.7% |
| **10** | **0.01** | **12** | 3.9% | 27.7% | 65.6% | 89.9% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.7% | 17.5% | 41.4% |
| **10** | **0.025** | **1** | 1.0% | 38.2% | 51.3% | 58.8% |
| **10** | **0.025** | **2** | 1.8% | 18.3% | 45.8% | 73.9% |
| **10** | **0.025** | **4** | 5.3% | 37.6% | 76.3% | 95.1% |
| **10** | **0.025** | **12** | 26.6% | 82.3% | 98.9% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 11.3% | 50.0% | 79.2% |
| **10** | **0.05** | **1** | 4.3% | 52.5% | 66.8% | 76.7% |
| **10** | **0.05** | **2** | 9.1% | 52.8% | 88.5% | 99.2% |
| **10** | **0.05** | **4** | 21.7% | 81.7% | 99.1% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **12** | 62.3% | 99.1% | 100.0% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 2.0% | 6.0% |
| **30** | **0.01** | **1** | 0.8% | 22.5% | 36.3% | 41.5% |
| **30** | **0.01** | **2** | 0.5% | 1.9% | 6.5% | 18.5% |
| **30** | **0.01** | **4** | 0.8% | 4.0% | 15.9% | 37.6% |
| **30** | **0.01** | **12** | 3.1% | 17.5% | 51.4% | 81.2% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.1% | 11.3% | 31.6% |
| **30** | **0.025** | **1** | 1.6% | 31.7% | 47.5% | 55.8% |
| **30** | **0.025** | **2** | 1.3% | 12.8% | 41.8% | 71.3% |
| **30** | **0.025** | **4** | 3.2% | 30.3% | 72.1% | 93.6% |
| **30** | **0.025** | **12** | 15.9% | 72.2% | 97.3% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 7.8% | 39.6% | 71.8% |
| **30** | **0.05** | **1** | 3.6% | 46.7% | 63.9% | 74.7% |
| **30** | **0.05** | **2** | 6.0% | 49.3% | 87.0% | 98.5% |
| **30** | **0.05** | **4** | 14.2% | 78.3% | 98.5% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **12** | 52.7% | 97.7% | 100.0% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.9% | 2.2% | 5.6% |
| **50** | **0.01** | **1** | 1.3% | 16.6% | 29.8% | 36.3% |
| **50** | **0.01** | **2** | 0.8% | 2.4% | 5.8% | 11.9% |
| **50** | **0.01** | **4** | 1.2% | 3.9% | 10.2% | 26.4% |
| **50** | **0.01** | **12** | 3.1% | 11.9% | 39.1% | 70.4% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.3% | 8.6% | 22.0% |
| **50** | **0.025** | **1** | 1.8% | 24.0% | 40.9% | 51.4% |
| **50** | **0.025** | **2** | 1.7% | 9.2% | 31.4% | 62.8% |
| **50** | **0.025** | **4** | 3.0% | 20.5% | 60.7% | 88.9% |
| **50** | **0.025** | **12** | 11.1% | 61.2% | 94.1% | 99.7% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 6.0% | 27.5% | 55.7% |
| **50** | **0.05** | **1** | 3.7% | 36.3% | 56.6% | 70.1% |
| **50** | **0.05** | **2** | 4.7% | 35.5% | 79.5% | 96.9% |
| **50** | **0.05** | **4** | 10.3% | 66.9% | 96.9% | 99.9% |
| **50** | **0.05** | **12** | 38.5% | 95.2% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 2.3.**

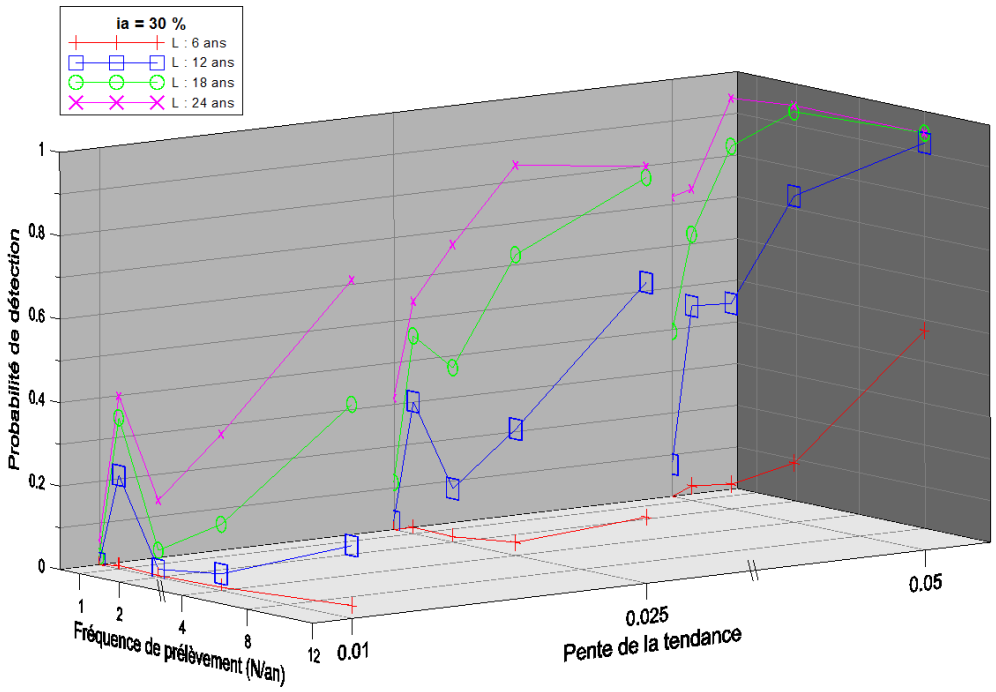
a) Incertitude analytique = 2,5 %



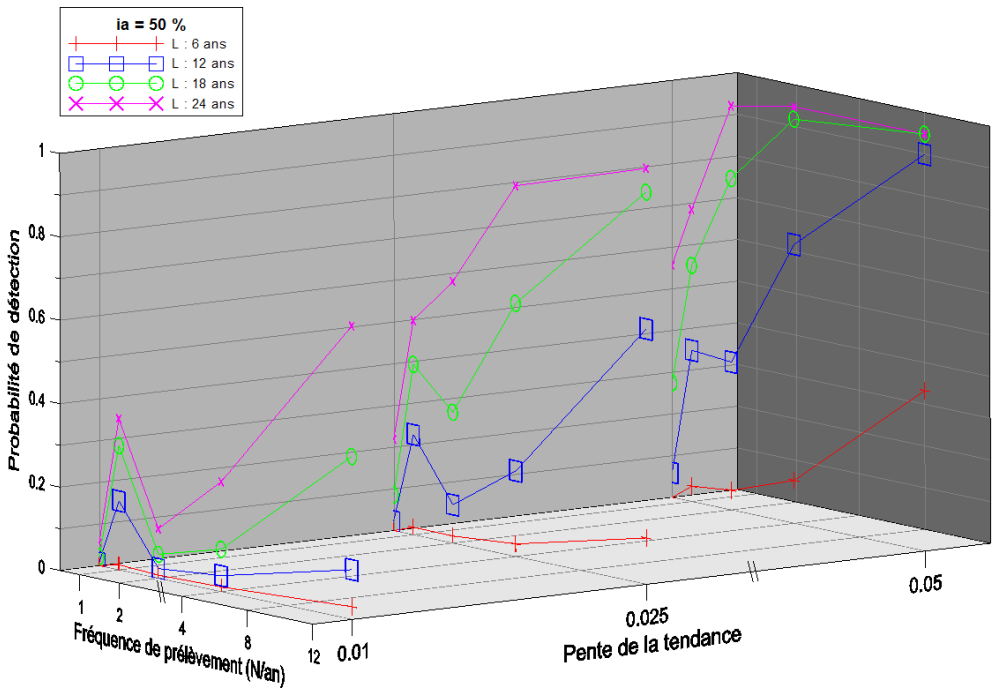

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



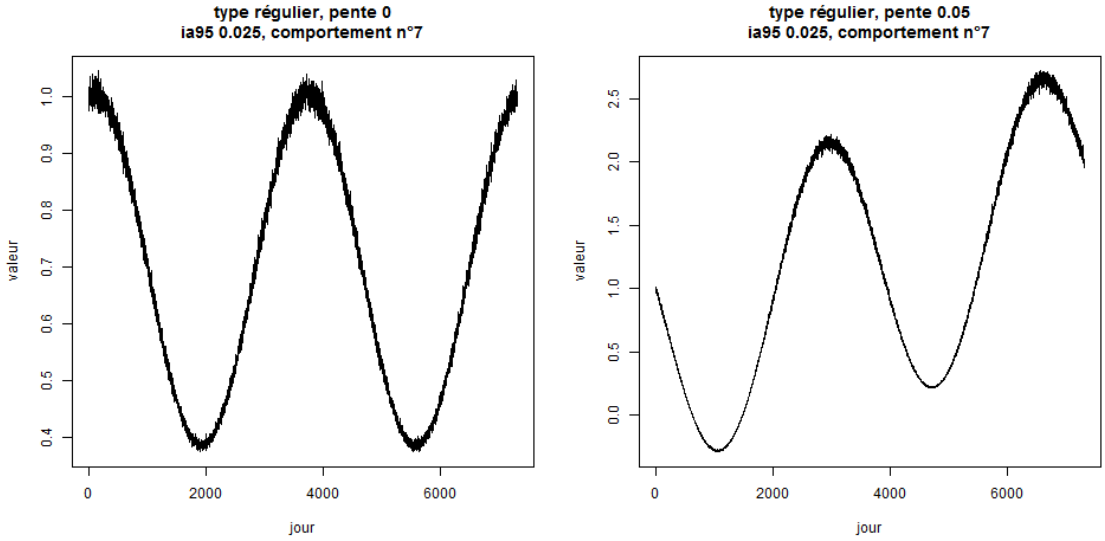

d) Incertitude analytique = 50 %



# Annexe 5

# Comportement 3.1 : Evolution cyclique pluriannuelle

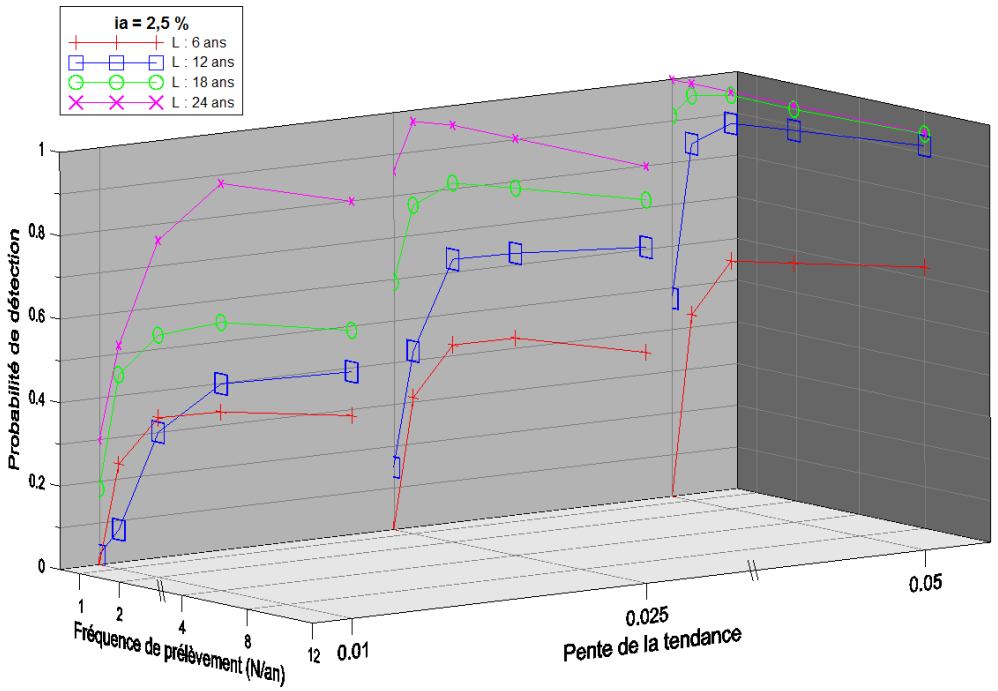
Cycle de 3650 j – variance = 0,1.



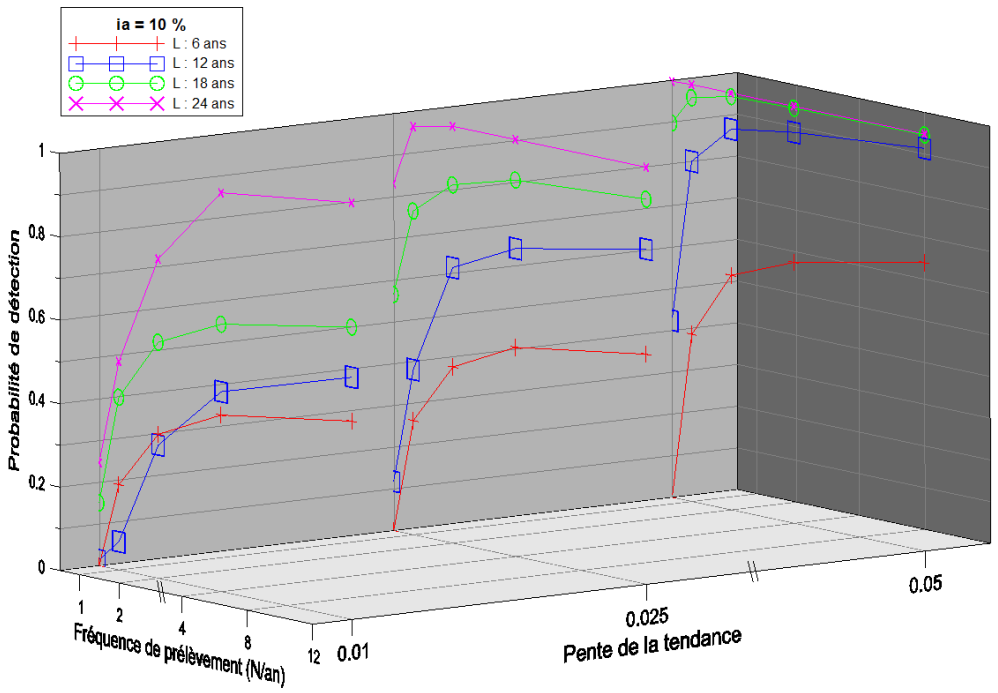
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 2.4% | 18.3% | 30.0% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 25.2% | 9.4% | 46.6% | 53.6% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 38.3% | 34.8% | 58.1% | 80.8% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 42.9% | 49.6% | 64.3% | 97.7% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 48.6% | 59.2% | 69.1% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 15.1% | 59.4% | 86.0% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 32.7% | 43.8% | 78.8% | 98.9% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 47.3% | 67.8% | 86.1% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 52.2% | 72.5% | 88.1% | 100.0% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 55.3% | 80.6% | 92.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 47.6% | 91.4% | 99.9% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 44.5% | 85.6% | 97.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 59.5% | 92.5% | 99.2% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 62.1% | 94.0% | 99.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 67.8% | 96.9% | 99.8% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 1.5% | 15.2% | 24.8% |
| **10** | **0.01** | **1** | 20.5% | 6.8% | 41.4% | 50.0% |
| **10** | **0.01** | **2** | 34.6% | 32.0% | 56.6% | 76.6% |
| **10** | **0.01** | **4** | 42.4% | 48.0% | 64.2% | 95.7% |
| **10** | **0.01** | **12** | 47.6% | 58.1% | 70.1% | 99.9% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 11.9% | 56.7% | 83.2% |
| **10** | **0.025** | **1** | 27.4% | 39.6% | 77.6% | 97.9% |
| **10** | **0.025** | **2** | 42.3% | 66.1% | 86.0% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **4** | 50.2% | 73.9% | 90.3% | 100.0% |
| **10** | **0.025** | **12** | 55.2% | 80.4% | 92.4% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 42.5% | 89.8% | 99.8% |
| **10** | **0.05** | **1** | 40.1% | 81.6% | 96.9% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **2** | 56.3% | 91.3% | 99.1% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **4** | 62.6% | 93.8% | 99.6% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **12** | 69.2% | 96.6% | 99.8% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 2.0% | 8.5% | 12.8% |
| **30** | **0.01** | **1** | 9.4% | 4.8% | 20.3% | 26.4% |
| **30** | **0.01** | **2** | 21.7% | 16.5% | 38.5% | 51.9% |
| **30** | **0.01** | **4** | 32.2% | 34.6% | 53.8% | 80.4% |
| **30** | **0.01** | **12** | 42.1% | 51.3% | 65.7% | 98.5% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 6.8% | 31.8% | 60.3% |
| **30** | **0.025** | **1** | 12.9% | 21.8% | 60.8% | 90.2% |
| **30** | **0.025** | **2** | 28.8% | 46.8% | 78.0% | 99.3% |
| **30** | **0.025** | **4** | 39.2% | 63.6% | 86.1% | 100.0% |
| **30** | **0.025** | **12** | 50.0% | 76.3% | 91.7% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 23.8% | 74.3% | 96.6% |
| **30** | **0.05** | **1** | 19.4% | 61.3% | 92.7% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **2** | 39.3% | 82.6% | 97.9% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **4** | 52.4% | 91.1% | 99.4% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **12** | 63.9% | 95.4% | 99.8% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 2.1% | 6.7% | 8.1% |
| **50** | **0.01** | **1** | 6.2% | 4.5% | 12.4% | 15.1% |
| **50** | **0.01** | **2** | 13.4% | 10.9% | 23.4% | 29.4% |
| **50** | **0.01** | **4** | 21.6% | 22.8% | 38.4% | 54.7% |
| **50** | **0.01** | **12** | 35.0% | 41.5% | 58.7% | 91.2% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 5.6% | 18.0% | 34.3% |
| **50** | **0.025** | **1** | 8.0% | 13.2% | 36.5% | 63.1% |
| **50** | **0.025** | **2** | 17.3% | 29.1% | 59.0% | 90.0% |
| **50** | **0.025** | **4** | 28.3% | 48.6% | 77.4% | 99.0% |
| **50** | **0.025** | **12** | 42.9% | 68.8% | 90.3% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 14.7% | 46.4% | 75.5% |
| **50** | **0.05** | **1** | 11.3% | 35.4% | 74.9% | 96.7% |
| **50** | **0.05** | **2** | 25.1% | 62.5% | 92.7% | 99.9% |
| **50** | **0.05** | **4** | 38.2% | 81.1% | 98.4% | 100.0% |
| **50** | **0.05** | **12** | 56.7% | 92.7% | 99.7% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 3.1.**

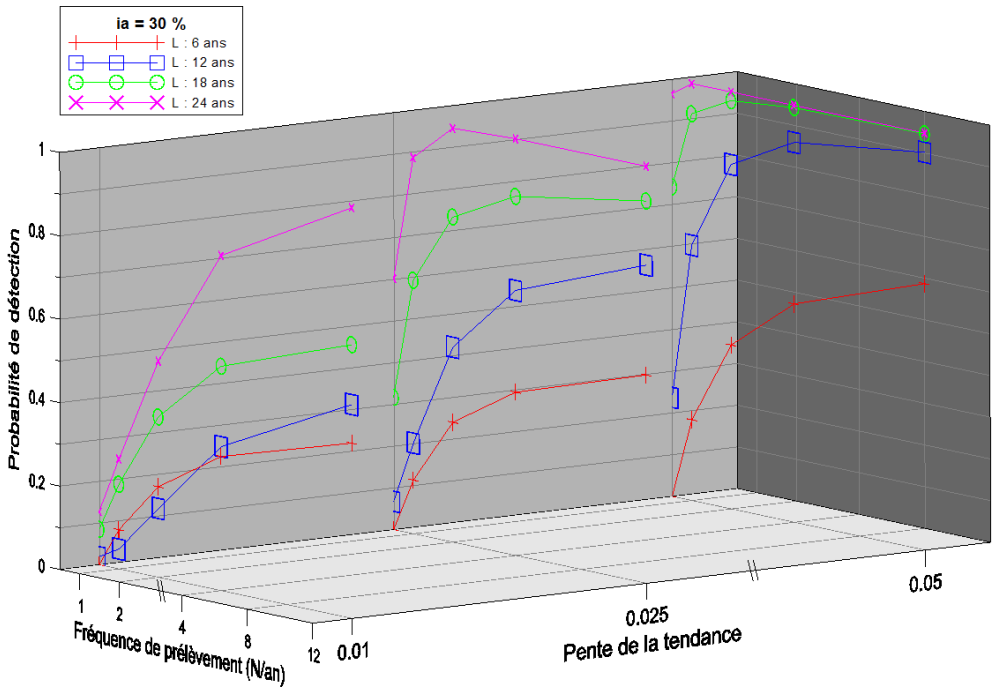
a) Incertitude analytique = 2,5 %



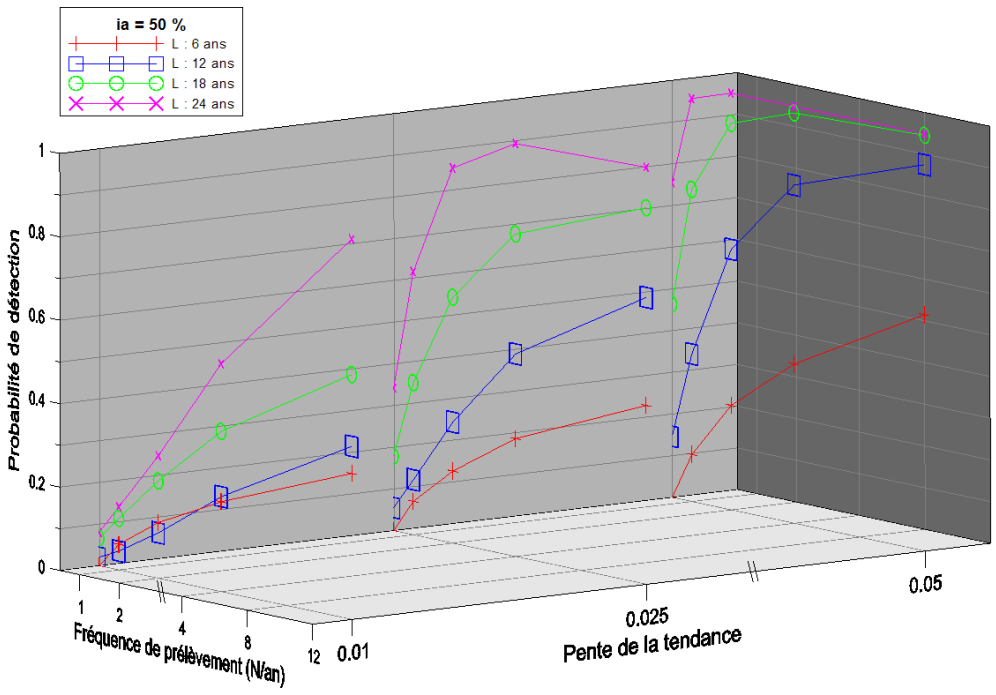

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



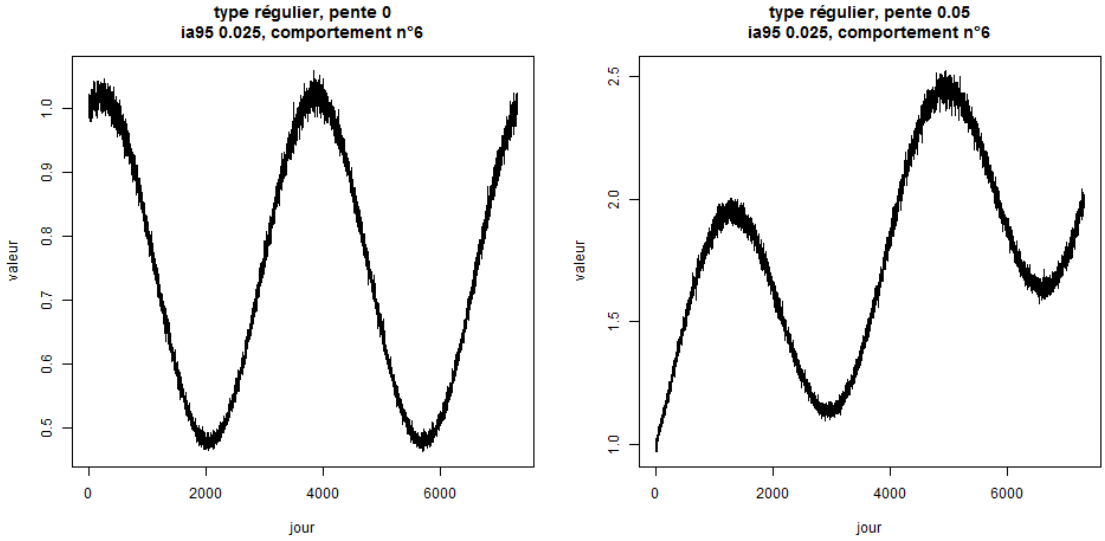

d) Incertitude analytique = 50 %



# Annexe 6

# Comportement 3.2 : Evolution cyclique pluriannuelle

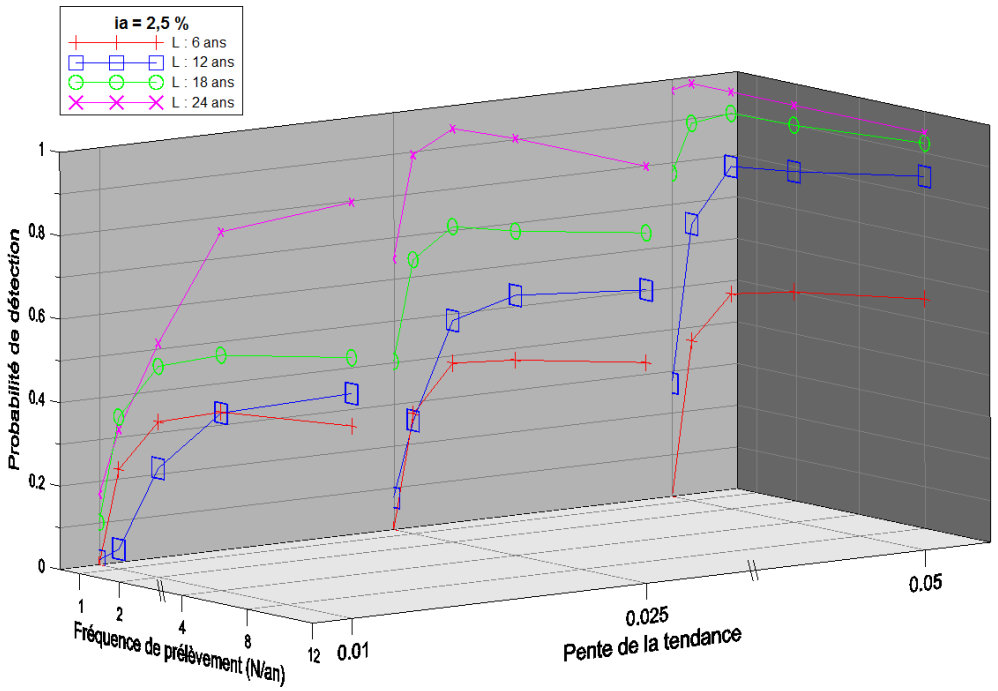
Cycle de 3650 j – variance = 0,2.



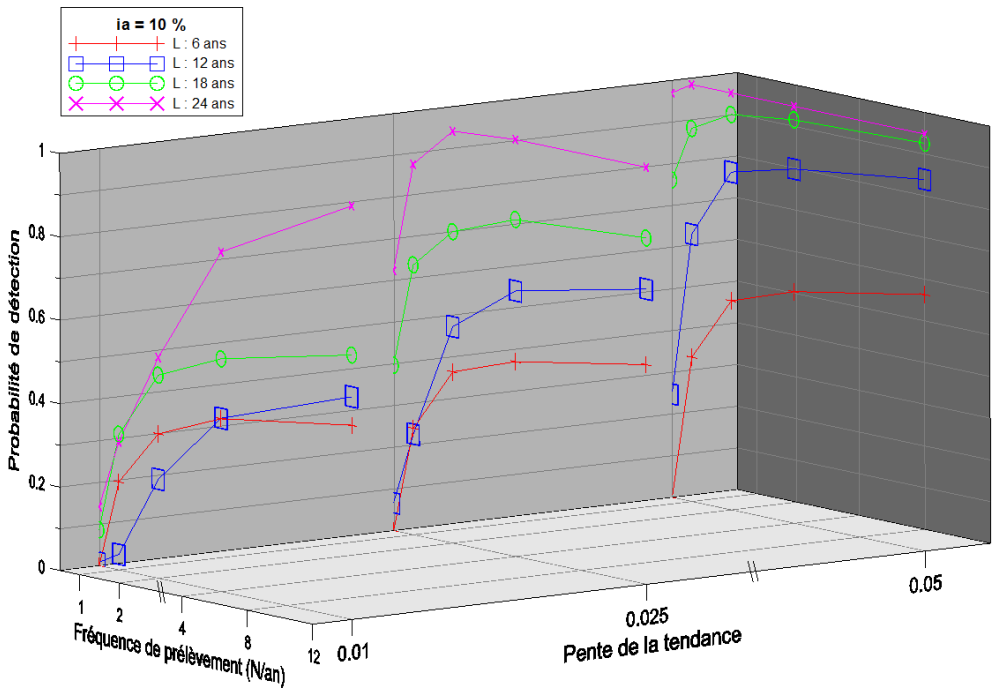
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 10.2% | 17.0% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 23.9% | 4.8% | 36.4% | 33.5% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 37.3% | 26.2% | 50.6% | 56.1% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 42.8% | 42.6% | 56.5% | 86.0% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 46.2% | 53.9% | 62.5% | 99.8% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.8% | 40.4% | 64.9% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 28.8% | 27.2% | 65.8% | 90.9% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 43.0% | 53.2% | 75.7% | 99.2% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 46.9% | 62.4% | 77.8% | 100.0% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 52.9% | 70.4% | 84.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 27.2% | 77.6% | 97.4% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 38.3% | 66.3% | 90.5% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 51.6% | 82.1% | 94.9% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 55.2% | 84.1% | 95.2% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 60.2% | 89.6% | 97.6% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.9% | 8.7% | 14.2% |
| 10 | 0.01 | 1 | 21.1% | 3.8% | 32.6% | 30.7% |
| 10 | 0.01 | 2 | 34.7% | 23.8% | 48.7% | 53.0% |
| 10 | 0.01 | 4 | 41.5% | 41.6% | 55.9% | 81.5% |
| 10 | 0.01 | 12 | 46.6% | 53.4% | 63.4% | 99.2% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 6.7% | 39.7% | 62.4% |
| 10 | 0.025 | 1 | 25.6% | 24.2% | 64.7% | 88.9% |
| 10 | 0.025 | 2 | 41.1% | 51.9% | 74.7% | 98.8% |
| 10 | 0.025 | 4 | 46.8% | 63.7% | 80.8% | 100.0% |
| 10 | 0.025 | 12 | 52.7% | 70.8% | 83.1% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 24.8% | 76.2% | 97.0% |
| 10 | 0.05 | 1 | 34.6% | 64.1% | 89.5% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 2 | 50.2% | 81.0% | 94.8% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 55.6% | 85.0% | 96.8% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 61.5% | 89.1% | 97.8% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 6.1% | 8.1% |
| 30 | 0.01 | 1 | 12.3% | 3.1% | 18.2% | 16.6% |
| 30 | 0.01 | 2 | 25.8% | 13.8% | 35.3% | 36.1% |
| 30 | 0.01 | 4 | 34.3% | 33.2% | 48.7% | 64.4% |
| 30 | 0.01 | 12 | 43.2% | 48.0% | 59.0% | 92.9% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 3.9% | 24.0% | 45.0% |
| 30 | 0.025 | 1 | 14.1% | 14.3% | 51.2% | 77.8% |
| 30 | 0.025 | 2 | 30.6% | 41.5% | 67.9% | 95.7% |
| 30 | 0.025 | 4 | 40.2% | 57.2% | 76.9% | 99.5% |
| 30 | 0.025 | 12 | 48.7% | 68.2% | 83.3% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 15.1% | 61.0% | 90.1% |
| 30 | 0.05 | 1 | 20.0% | 47.2% | 84.4% | 99.7% |
| 30 | 0.05 | 2 | 38.4% | 73.1% | 92.4% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 49.6% | 81.6% | 96.1% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 58.0% | 87.6% | 97.7% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.9% | 5.4% | 6.6% |
| 50 | 0.01 | 1 | 6.9% | 3.5% | 12.4% | 10.5% |
| 50 | 0.01 | 2 | 16.9% | 10.2% | 23.5% | 22.0% |
| 50 | 0.01 | 4 | 26.9% | 25.1% | 38.0% | 43.9% |
| 50 | 0.01 | 12 | 37.5% | 41.9% | 54.3% | 83.6% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 3.6% | 15.1% | 27.1% |
| 50 | 0.025 | 1 | 8.8% | 10.0% | 32.6% | 53.9% |
| 50 | 0.025 | 2 | 19.7% | 26.9% | 54.2% | 83.4% |
| 50 | 0.025 | 4 | 31.3% | 45.6% | 70.2% | 97.1% |
| 50 | 0.025 | 12 | 43.8% | 62.6% | 81.5% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.1% | 39.3% | 69.5% |
| 50 | 0.05 | 1 | 12.6% | 30.2% | 69.2% | 93.9% |
| 50 | 0.05 | 2 | 27.3% | 57.0% | 86.5% | 99.7% |
| 50 | 0.05 | 4 | 38.3% | 72.5% | 93.8% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 52.7% | 84.7% | 97.4% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 3.2.**

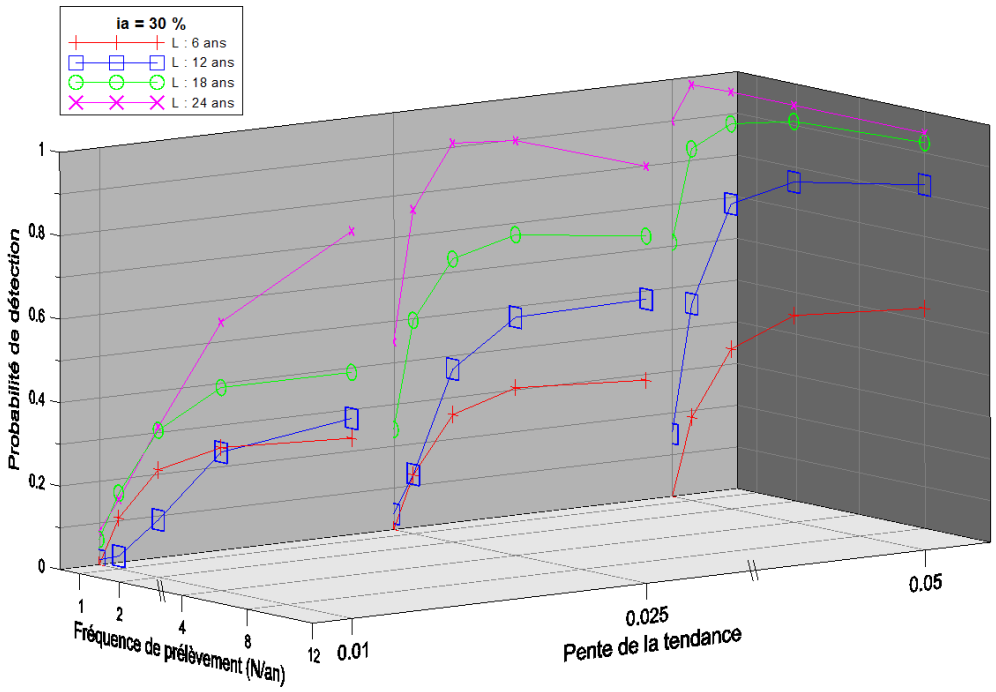
a) Incertitude analytique = 2,5 %



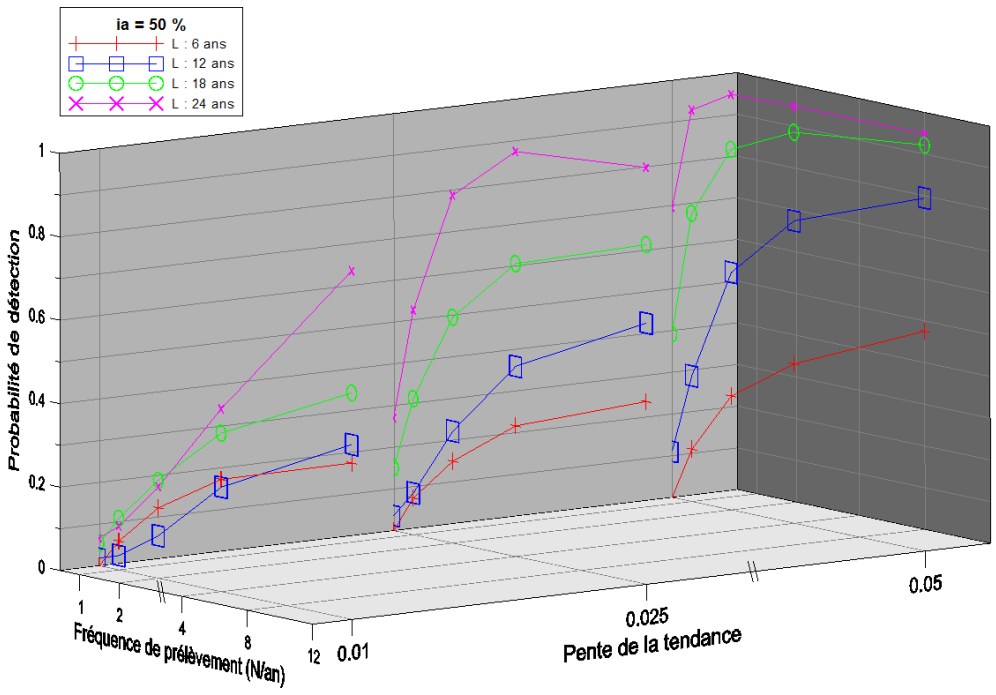

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %



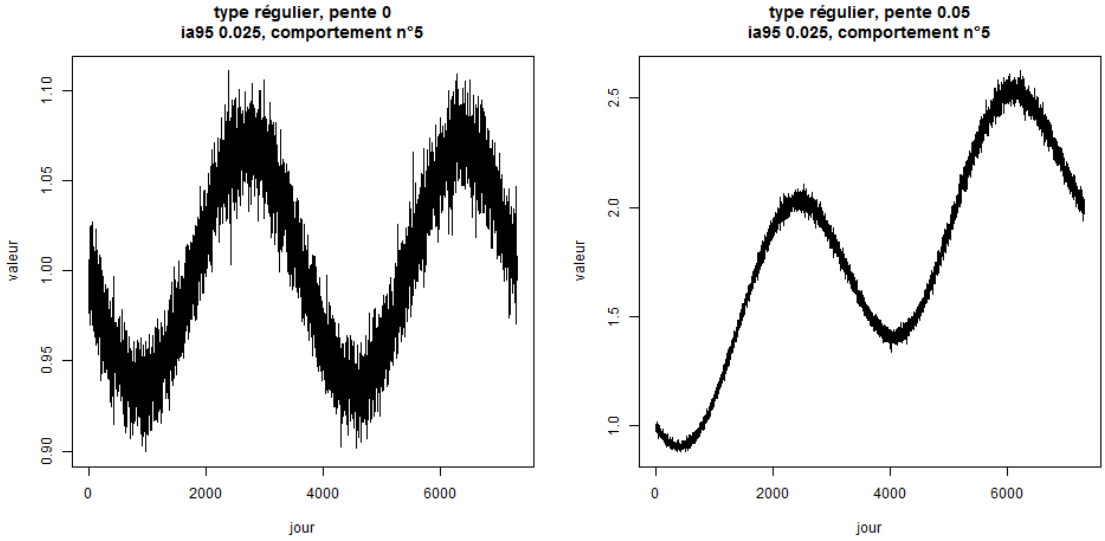

d) Incertitude analytique = 50 %



# Annexe 7

# Comportement 3.3 : Evolution cyclique pluriannuelle

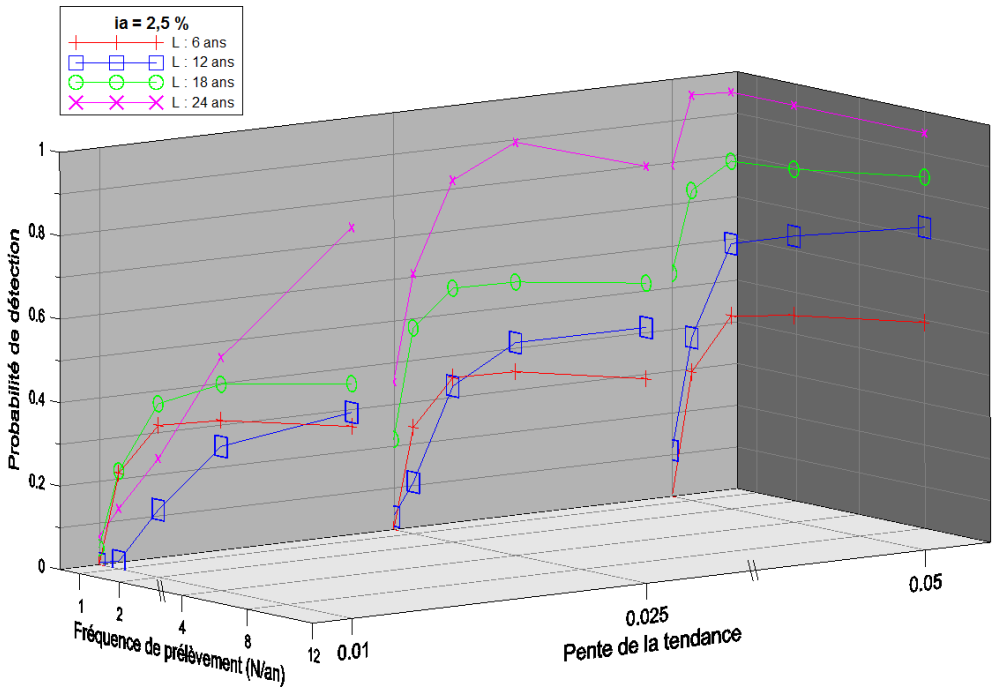
Cycle de 3650 j – variance = 0,5.



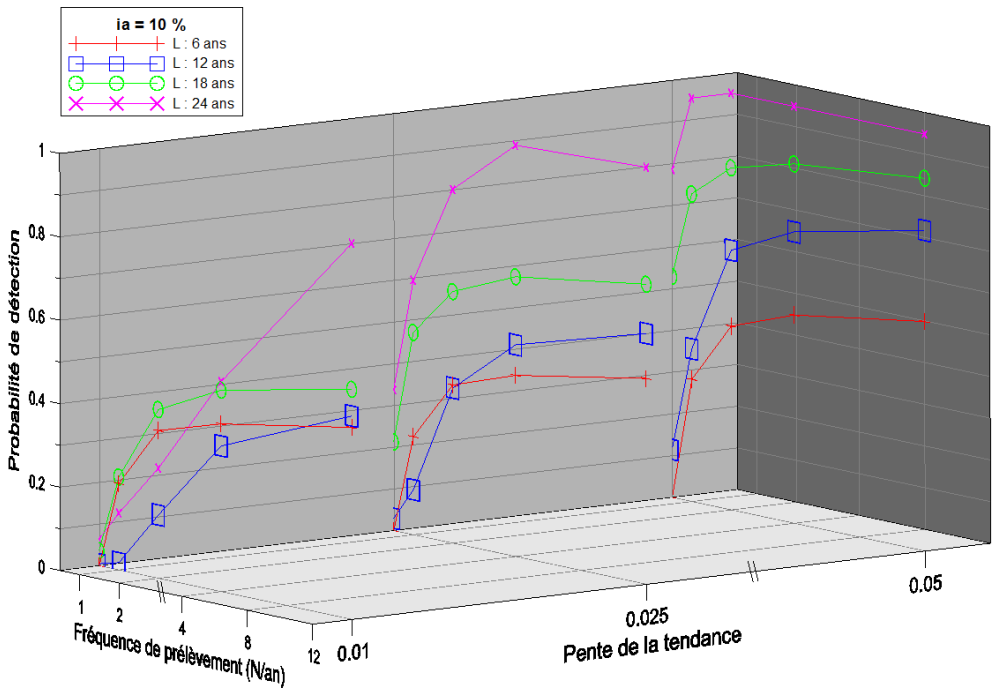
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 4.2% | 6.8% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 23.0% | 1.9% | 23.5% | 14.5% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 36.5% | 16.2% | 41.7% | 28.5% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 40.8% | 34.6% | 49.5% | 56.0% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 46.0% | 49.4% | 56.3% | 93.8% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 3.3% | 21.7% | 35.5% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 25.6% | 12.4% | 49.4% | 62.4% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 39.5% | 37.4% | 60.9% | 86.8% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 44.1% | 51.1% | 65.6% | 99.1% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 49.0% | 61.4% | 72.0% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 11.2% | 53.6% | 79.4% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 30.9% | 39.1% | 74.4% | 97.2% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 46.3% | 63.6% | 83.4% | 99.9% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 49.6% | 68.6% | 84.7% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 54.6% | 77.4% | 89.5% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 3.7% | 6.5% |
| **10** | **0.01** | **1** | 20.8% | 1.8% | 22.3% | 13.6% |
| **10** | **0.01** | **2** | 35.5% | 15.2% | 40.5% | 26.4% |
| **10** | **0.01** | **4** | 40.2% | 35.0% | 48.3% | 50.4% |
| **10** | **0.01** | **12** | 46.1% | 48.8% | 55.2% | 90.2% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 3.0% | 21.3% | 33.9% |
| **10** | **0.025** | **1** | 23.6% | 10.8% | 48.5% | 61.0% |
| **10** | **0.025** | **2** | 38.0% | 37.2% | 60.4% | 84.8% |
| **10** | **0.025** | **4** | 43.5% | 50.8% | 67.1% | 98.6% |
| **10** | **0.025** | **12** | 49.4% | 60.2% | 72.0% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 11.5% | 53.0% | 78.6% |
| **10** | **0.05** | **1** | 29.3% | 36.6% | 73.8% | 96.8% |
| **10** | **0.05** | **2** | 44.1% | 62.3% | 82.0% | 99.9% |
| **10** | **0.05** | **4** | 50.0% | 69.9% | 86.2% | 100.0% |
| **10** | **0.05** | **12** | 55.0% | 76.9% | 89.4% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.4% | 3.4% | 4.3% |
| **30** | **0.01** | **1** | 14.2% | 1.4% | 14.5% | 7.8% |
| **30** | **0.01** | **2** | 28.8% | 10.0% | 32.5% | 19.6% |
| **30** | **0.01** | **4** | 36.9% | 30.1% | 45.4% | 37.7% |
| **30** | **0.01** | **12** | 43.2% | 44.6% | 53.4% | 78.3% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.1% | 14.9% | 25.5% |
| **30** | **0.025** | **1** | 16.5% | 7.1% | 39.5% | 51.1% |
| **30** | **0.025** | **2** | 32.1% | 31.7% | 56.3% | 79.3% |
| **30** | **0.025** | **4** | 40.9% | 47.3% | 65.4% | 94.4% |
| **30** | **0.025** | **12** | 46.8% | 58.1% | 71.8% | 99.9% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 7.8% | 42.4% | 70.4% |
| **30** | **0.05** | **1** | 20.8% | 29.3% | 69.7% | 93.7% |
| **30** | **0.05** | **2** | 39.3% | 57.5% | 80.4% | 99.5% |
| **30** | **0.05** | **4** | 44.9% | 68.6% | 85.5% | 100.0% |
| **30** | **0.05** | **12** | 53.2% | 74.9% | 89.6% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.6% | 3.7% | 3.7% |
| **50** | **0.01** | **1** | 9.1% | 1.8% | 9.6% | 6.4% |
| **50** | **0.01** | **2** | 21.5% | 8.0% | 23.1% | 12.6% |
| **50** | **0.01** | **4** | 31.7% | 25.4% | 37.4% | 27.2% |
| **50** | **0.01** | **12** | 40.8% | 41.6% | 50.3% | 67.9% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 1.9% | 10.5% | 17.6% |
| **50** | **0.025** | **1** | 10.8% | 5.9% | 26.5% | 36.6% |
| **50** | **0.025** | **2** | 24.3% | 22.6% | 46.5% | 65.6% |
| **50** | **0.025** | **4** | 33.8% | 41.5% | 59.3% | 88.1% |
| **50** | **0.025** | **12** | 43.4% | 55.3% | 69.9% | 99.1% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 6.4% | 28.2% | 53.0% |
| **50** | **0.05** | **1** | 13.1% | 20.6% | 56.3% | 85.1% |
| **50** | **0.05** | **2** | 28.8% | 47.1% | 74.3% | 97.7% |
| **50** | **0.05** | **4** | 40.3% | 61.3% | 82.6% | 99.8% |
| **50** | **0.05** | **12** | 50.0% | 71.9% | 88.7% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 3.3.**

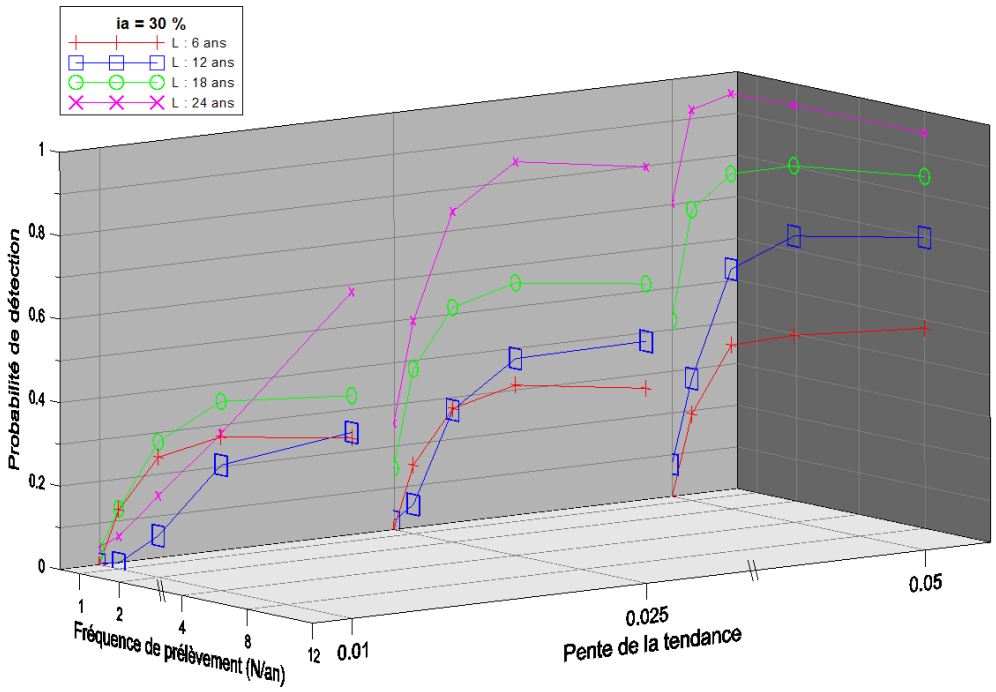
a) Incertitude analytique = 2,5 %



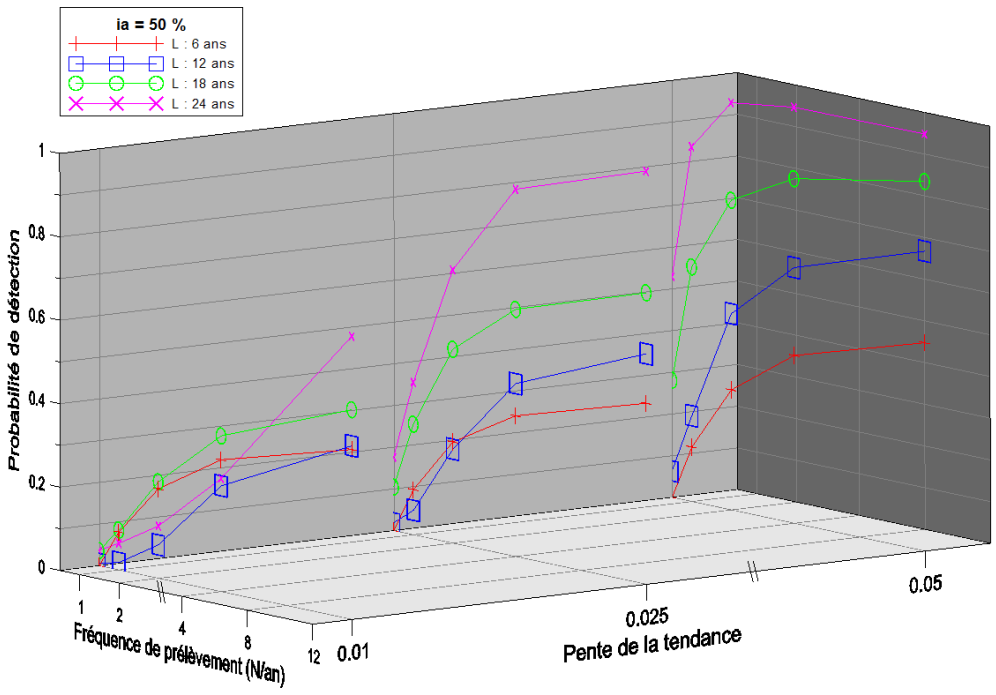

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



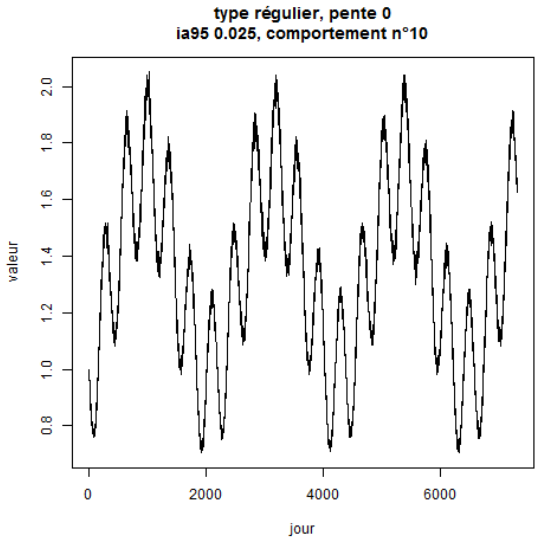
# Annexe 8

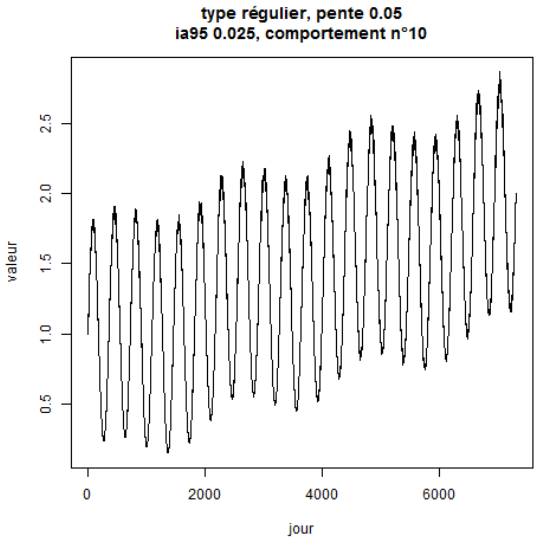
# Comportement 4.1.1 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,1

Variance = 0,1.

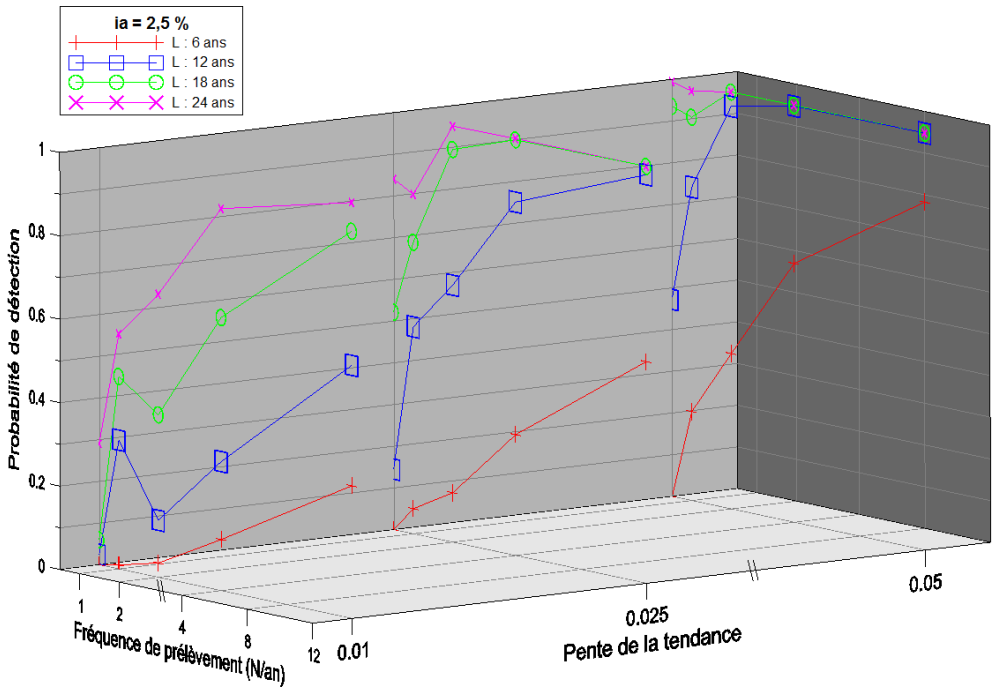


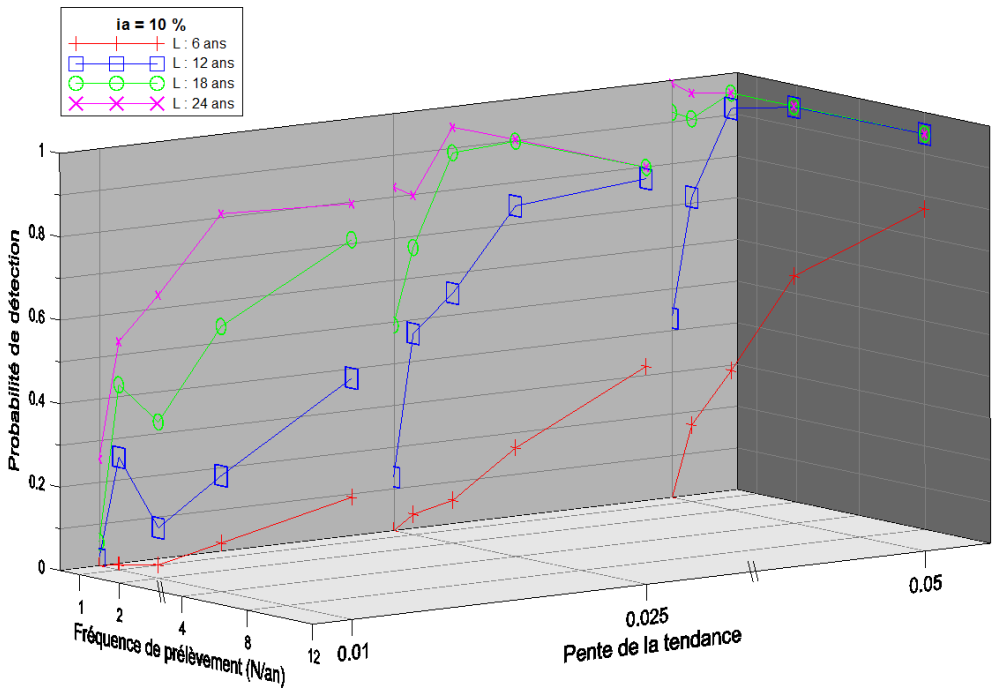
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.6% | 6.1% | 29.1% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 1.0% | 30.9% | 46.2% | 56.4% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 3.5% | 13.7% | 39.0% | 67.9% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 12.3% | 31.0% | 65.5% | 91.6% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 31.8% | 60.7% | 92.9% | 99.8% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 14.5% | 52.2% | 84.1% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 6.0% | 49.6% | 69.9% | 81.4% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 11.9% | 61.7% | 94.2% | 99.8% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 29.0% | 84.8% | 99.7% | 100.0% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 53.2% | 98.0% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 47.3% | 93.6% | 99.4% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 21.4% | 75.2% | 91.9% | 98.2% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 37.3% | 96.5% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 62.1% | 99.8% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 83.4% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.7% | 5.8% | 25.6% |
| 10 | 0.01 | 1 | 1.3% | 27.0% | 44.4% | 54.8% |
| 10 | 0.01 | 2 | 3.2% | 12.1% | 37.5% | 67.9% |
| 10 | 0.01 | 4 | 11.7% | 27.8% | 63.6% | 90.6% |
| 10 | 0.01 | 12 | 29.3% | 57.9% | 91.1% | 99.7% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 13.0% | 49.3% | 82.4% |
| 10 | 0.025 | 1 | 5.0% | 48.3% | 68.9% | 81.3% |
| 10 | 0.025 | 2 | 10.3% | 60.0% | 93.6% | 99.8% |
| 10 | 0.025 | 4 | 26.1% | 84.1% | 99.6% | 100.0% |
| 10 | 0.025 | 12 | 52.3% | 97.3% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 43.0% | 92.4% | 99.4% |
| 10 | 0.05 | 1 | 18.4% | 73.0% | 91.8% | 97.9% |
| 10 | 0.05 | 2 | 33.4% | 96.3% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 59.3% | 99.8% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 82.1% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.2% | 5.1% | 13.8% |
| 30 | 0.01 | 1 | 2.3% | 16.6% | 33.7% | 43.5% |
| 30 | 0.01 | 2 | 2.6% | 7.7% | 20.8% | 48.2% |
| 30 | 0.01 | 4 | 7.1% | 16.1% | 44.4% | 78.1% |
| 30 | 0.01 | 12 | 21.6% | 42.5% | 81.2% | 98.5% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.5% | 28.4% | 59.9% |
| 30 | 0.025 | 1 | 4.6% | 33.7% | 58.1% | 73.8% |
| 30 | 0.025 | 2 | 7.0% | 37.6% | 84.9% | 98.8% |
| 30 | 0.025 | 4 | 16.1% | 66.4% | 98.1% | 100.0% |
| 30 | 0.025 | 12 | 39.9% | 93.6% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 24.3% | 73.9% | 95.4% |
| 30 | 0.05 | 1 | 9.8% | 60.1% | 85.8% | 96.2% |
| 30 | 0.05 | 2 | 19.3% | 87.3% | 99.9% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 40.6% | 98.9% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 72.1% | 100.0% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.3% | 5.1% | 9.7% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.5% | 11.5% | 22.0% | 31.6% |
| 50 | 0.01 | 2 | 3.0% | 6.0% | 13.6% | 27.8% |
| 50 | 0.01 | 4 | 4.9% | 11.0% | 26.4% | 53.2% |
| 50 | 0.01 | 12 | 13.7% | 28.4% | 61.7% | 90.8% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 5.8% | 17.1% | 35.4% |
| 50 | 0.025 | 1 | 3.8% | 20.8% | 41.1% | 59.6% |
| 50 | 0.025 | 2 | 5.6% | 21.1% | 58.9% | 89.1% |
| 50 | 0.025 | 4 | 10.7% | 41.8% | 86.1% | 99.3% |
| 50 | 0.025 | 12 | 27.0% | 80.8% | 99.6% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 14.6% | 45.7% | 74.7% |
| 50 | 0.05 | 1 | 7.3% | 39.4% | 70.9% | 89.2% |
| 50 | 0.05 | 2 | 12.4% | 61.8% | 96.1% | 99.9% |
| 50 | 0.05 | 4 | 25.3% | 88.8% | 99.9% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 56.3% | 99.7% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.1.1.**

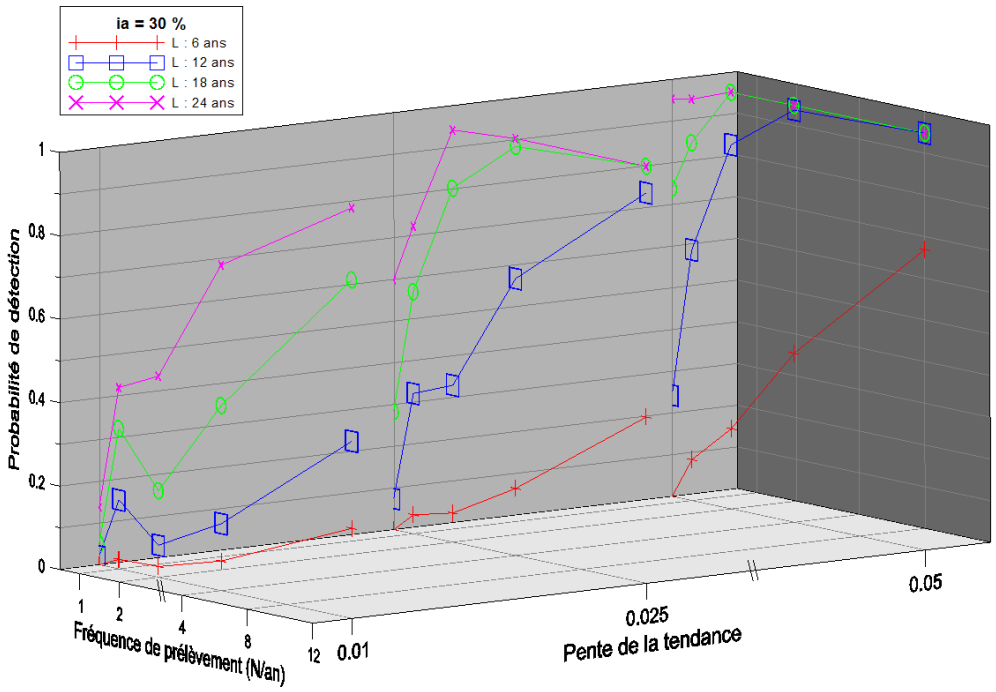
a) Incertitude analytique = 2,5 %



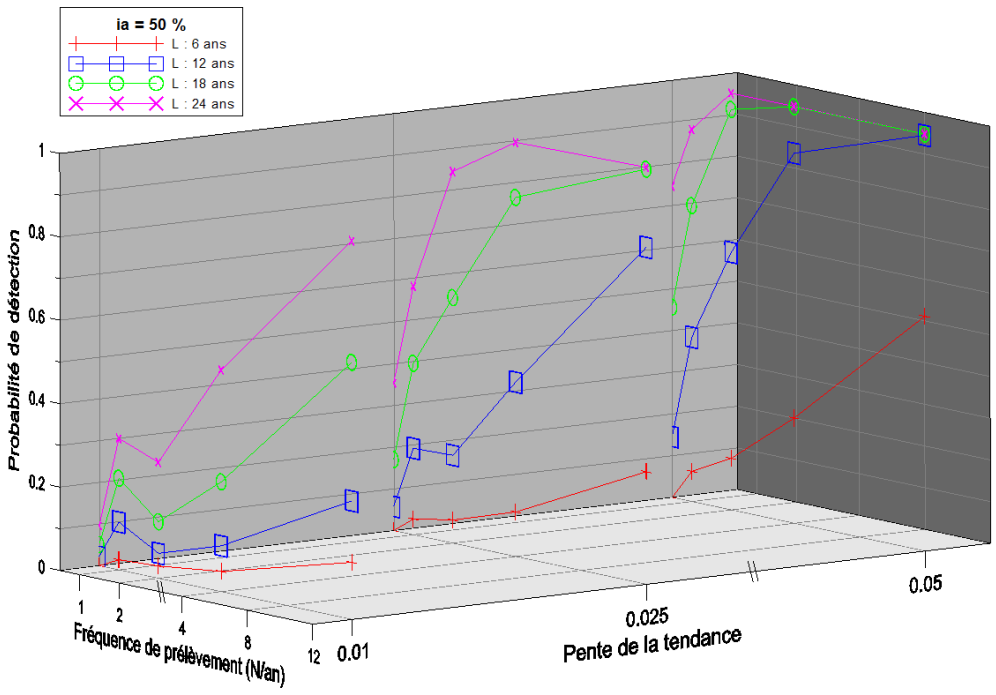

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



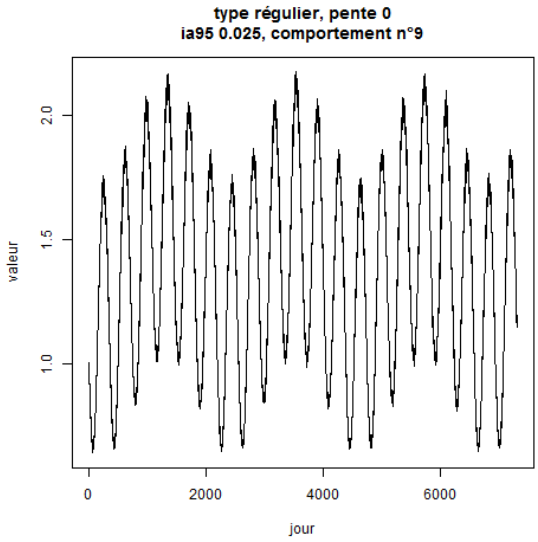
# Annexe 9

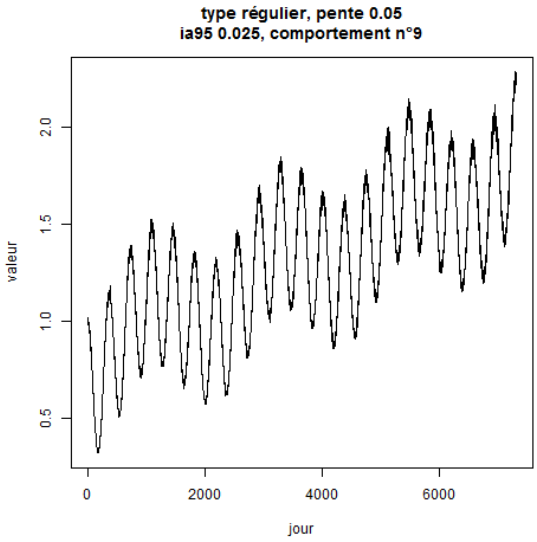
# Comportement 4.1.2 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,1

Variance = 0,2.

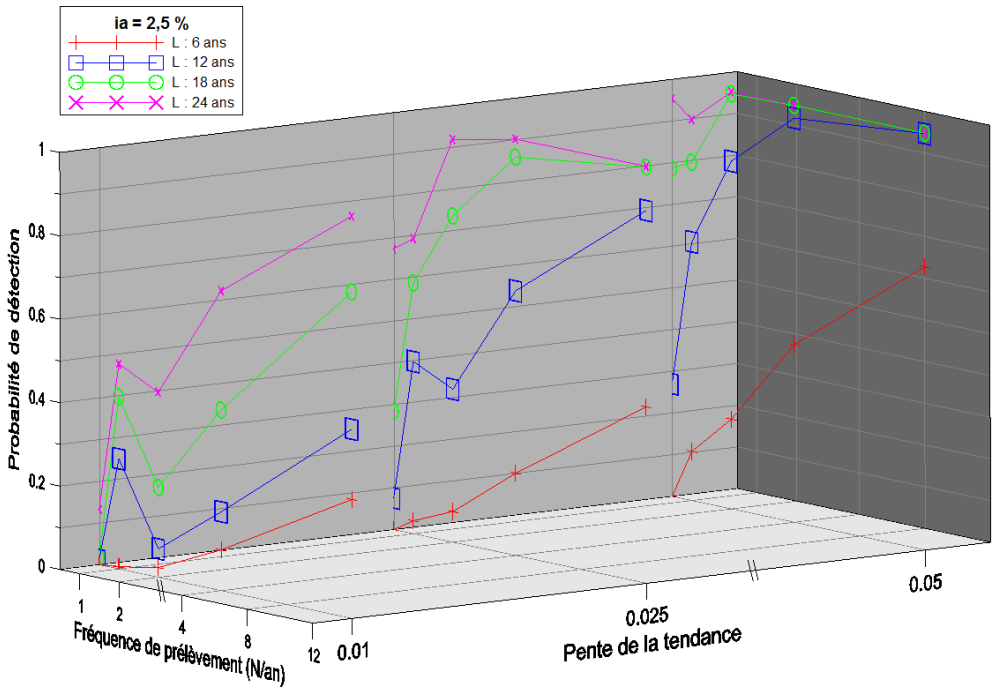


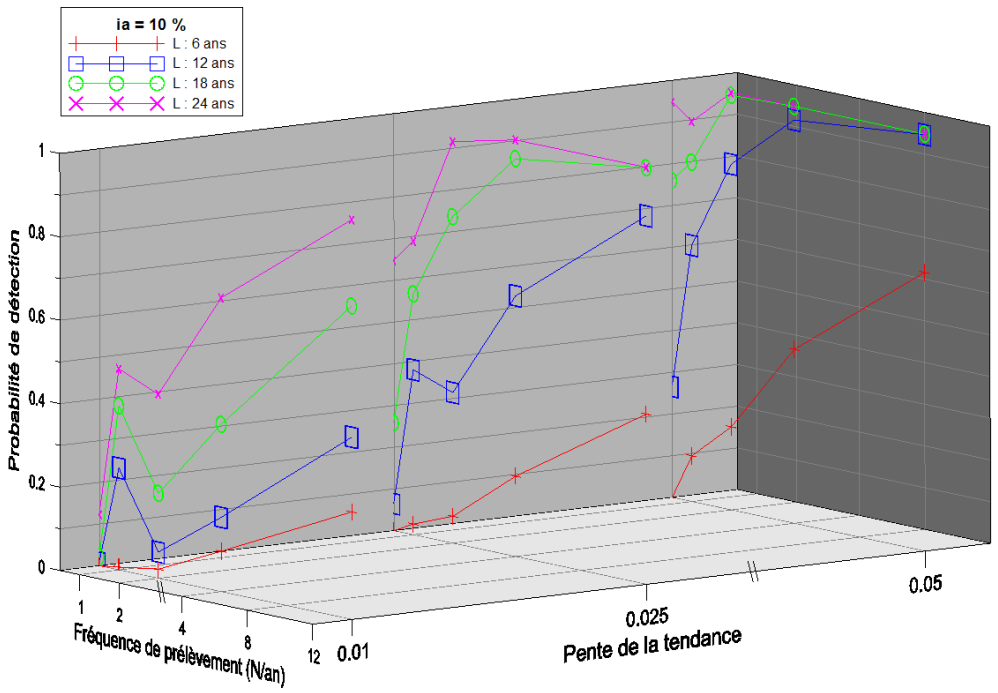
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.3% | 2.1% | 13.4% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.5% | 26.4% | 41.3% | 49.2% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 2.4% | 6.8% | 21.6% | 44.4% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 9.8% | 18.9% | 43.4% | 71.9% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 28.6% | 45.4% | 78.3% | 96.5% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.6% | 28.5% | 67.3% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 3.1% | 41.3% | 60.2% | 70.8% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 7.4% | 36.7% | 78.3% | 96.6% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 19.8% | 63.5% | 95.5% | 99.9% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 42.3% | 89.4% | 99.8% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 27.0% | 78.7% | 95.5% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 11.8% | 62.1% | 81.1% | 91.4% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 21.6% | 83.4% | 99.5% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 42.6% | 96.9% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 68.0% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.9% | 2.3% | 12.3% |
| 10 | 0.01 | 1 | 0.7% | 24.5% | 39.4% | 48.3% |
| 10 | 0.01 | 2 | 2.2% | 6.3% | 20.4% | 44.1% |
| 10 | 0.01 | 4 | 9.7% | 17.9% | 40.2% | 70.5% |
| 10 | 0.01 | 12 | 25.8% | 43.7% | 75.2% | 95.9% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 6.5% | 26.0% | 64.8% |
| 10 | 0.025 | 1 | 2.6% | 39.6% | 57.8% | 70.4% |
| 10 | 0.025 | 2 | 6.5% | 36.1% | 78.3% | 96.3% |
| 10 | 0.025 | 4 | 19.3% | 62.5% | 95.4% | 99.9% |
| 10 | 0.025 | 12 | 40.8% | 88.4% | 99.9% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 26.6% | 76.2% | 94.8% |
| 10 | 0.05 | 1 | 11.0% | 61.5% | 81.4% | 91.1% |
| 10 | 0.05 | 2 | 20.0% | 82.9% | 99.4% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 41.7% | 96.7% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 66.8% | 99.9% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 2.9% | 9.0% |
| 30 | 0.01 | 1 | 1.4% | 17.8% | 32.5% | 41.9% |
| 30 | 0.01 | 2 | 2.2% | 4.7% | 13.0% | 31.8% |
| 30 | 0.01 | 4 | 6.7% | 12.3% | 30.8% | 59.7% |
| 30 | 0.01 | 12 | 21.4% | 33.7% | 66.5% | 91.8% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 4.5% | 18.1% | 46.3% |
| 30 | 0.025 | 1 | 3.3% | 30.3% | 50.7% | 65.4% |
| 30 | 0.025 | 2 | 4.6% | 24.6% | 68.0% | 93.2% |
| 30 | 0.025 | 4 | 13.7% | 50.2% | 91.6% | 99.7% |
| 30 | 0.025 | 12 | 33.9% | 81.9% | 99.5% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 16.6% | 59.1% | 88.6% |
| 30 | 0.05 | 1 | 6.9% | 51.0% | 76.0% | 89.2% |
| 30 | 0.05 | 2 | 13.2% | 73.3% | 98.7% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 30.0% | 93.7% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 59.4% | 99.6% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.4% | 3.3% | 7.1% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.2% | 12.4% | 24.0% | 33.3% |
| 50 | 0.01 | 2 | 2.4% | 4.6% | 9.5% | 21.1% |
| 50 | 0.01 | 4 | 5.3% | 8.6% | 20.3% | 40.5% |
| 50 | 0.01 | 12 | 16.6% | 24.7% | 51.4% | 82.1% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 3.9% | 12.5% | 29.5% |
| 50 | 0.025 | 1 | 3.0% | 20.5% | 39.9% | 54.0% |
| 50 | 0.025 | 2 | 4.1% | 16.9% | 48.1% | 81.5% |
| 50 | 0.025 | 4 | 9.8% | 33.4% | 78.1% | 97.1% |
| 50 | 0.025 | 12 | 27.1% | 70.5% | 98.1% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.0% | 37.8% | 68.1% |
| 50 | 0.05 | 1 | 5.6% | 36.6% | 65.2% | 81.9% |
| 50 | 0.05 | 2 | 9.7% | 51.8% | 92.4% | 99.7% |
| 50 | 0.05 | 4 | 21.6% | 80.7% | 99.6% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 47.9% | 98.5% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.1.2.**

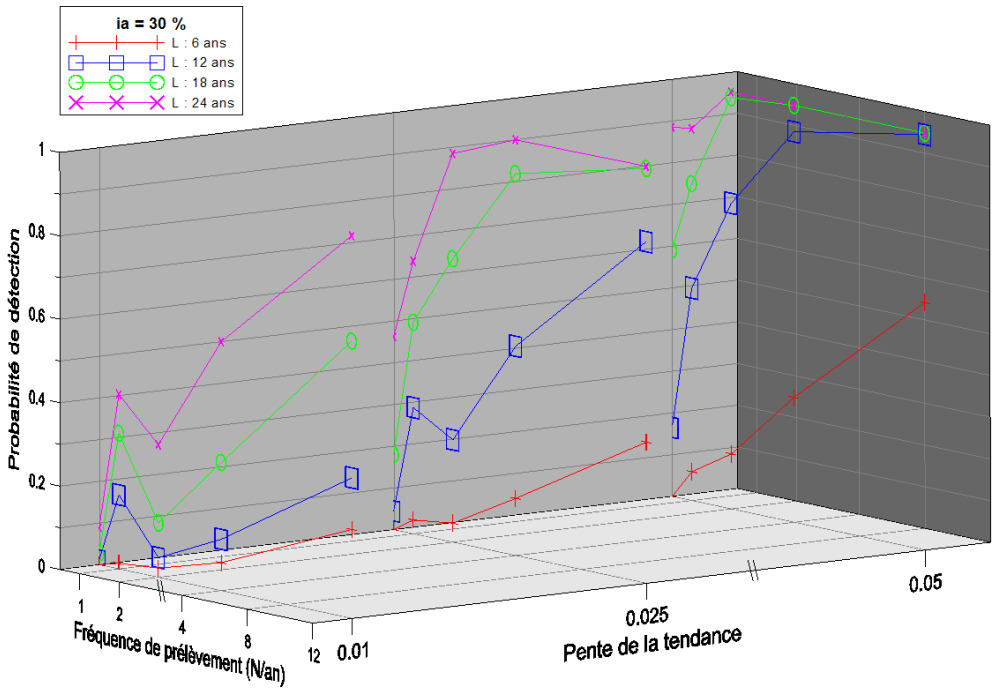
a) Incertitude analytique = 2,5 %



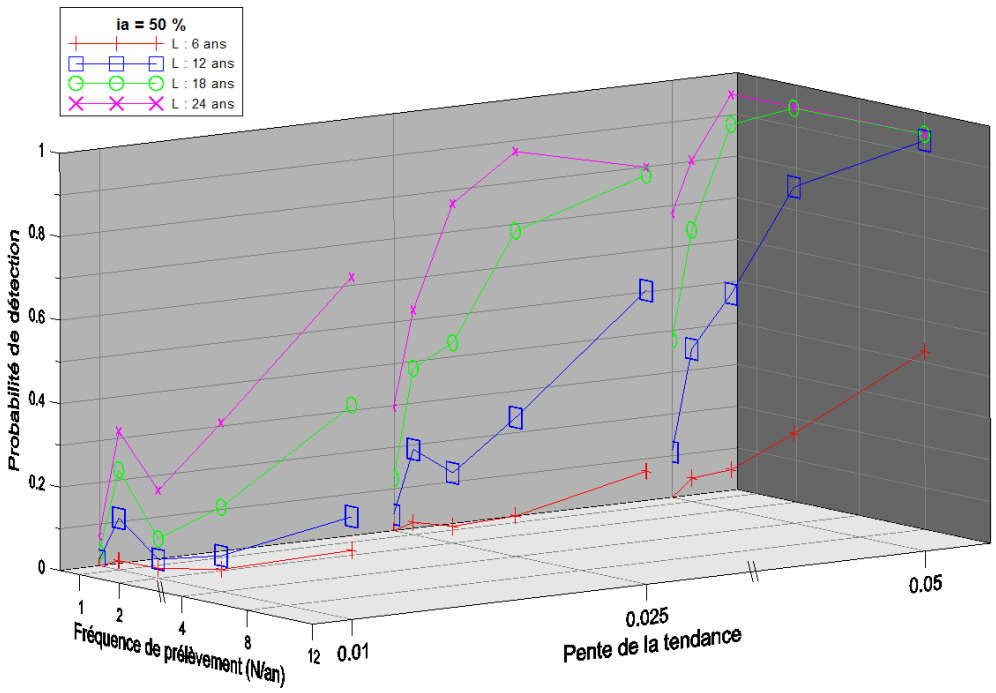

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



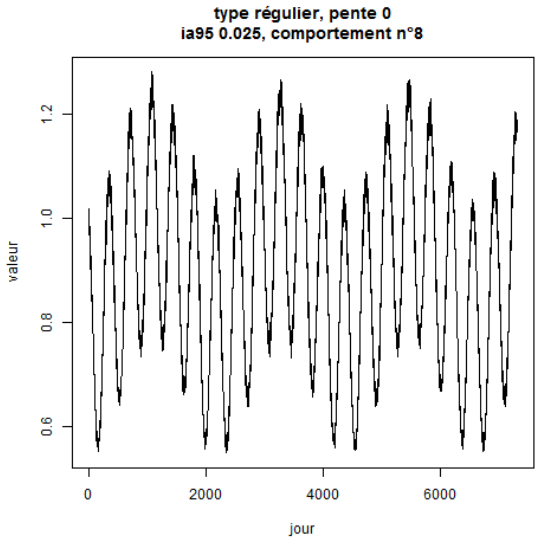
# Annexe 10

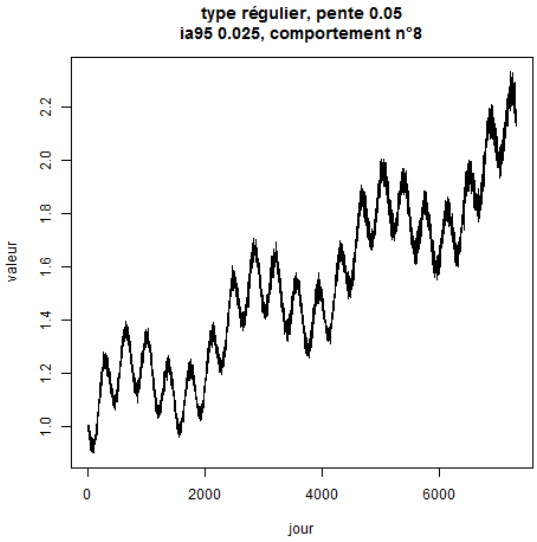
# Comportement 4.1.3 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,1

Variance = 0,5.

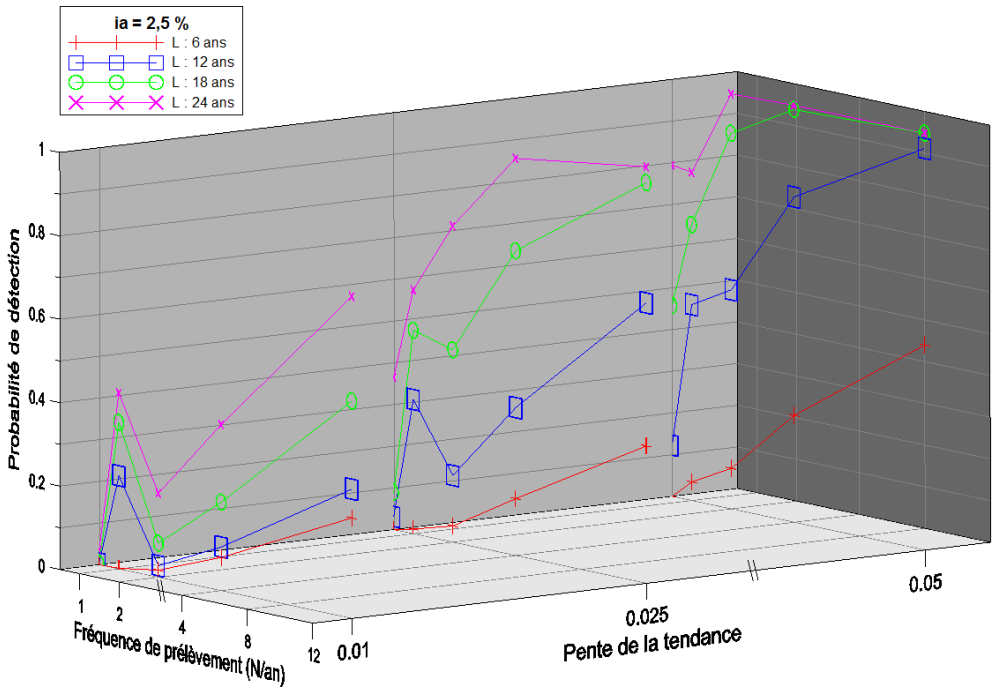


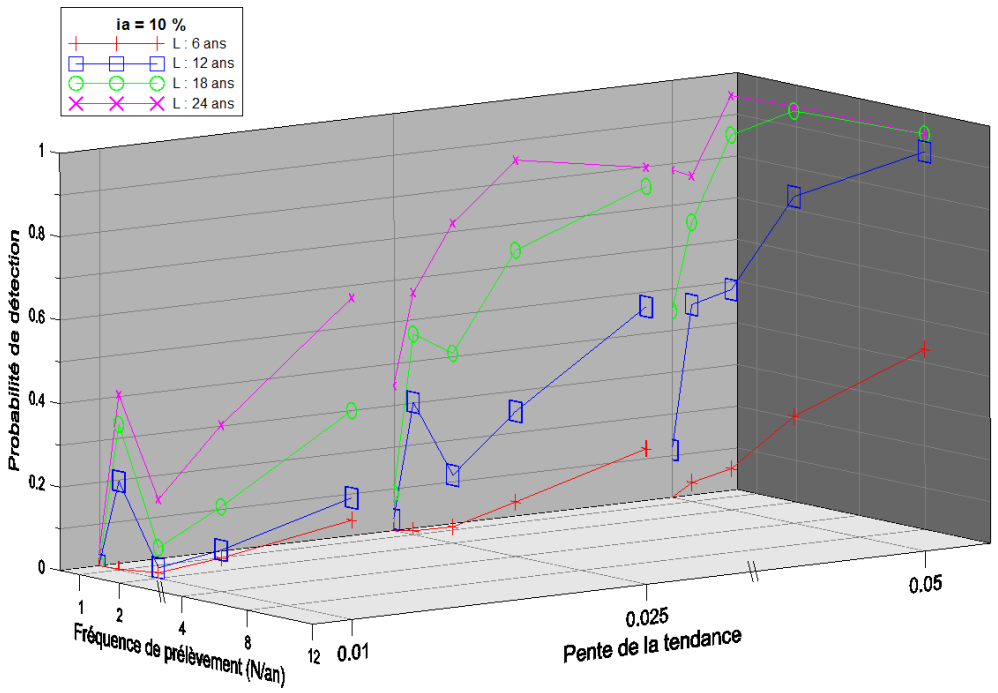
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.5% | 0.4% | 3.7% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.2% | 22.4% | 35.2% | 42.2% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 1.7% | 2.8% | 8.2% | 20.2% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 8.0% | 10.5% | 21.3% | 39.8% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 24.1% | 31.0% | 52.1% | 77.3% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 3.2% | 9.0% | 36.6% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 1.2% | 32.2% | 48.8% | 58.5% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 3.9% | 16.0% | 46.2% | 75.8% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 13.7% | 35.5% | 73.1% | 95.2% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 33.0% | 67.2% | 96.1% | 99.9% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 12.3% | 45.8% | 79.5% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 4.5% | 47.0% | 66.2% | 78.7% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 9.8% | 52.5% | 90.1% | 99.5% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 25.7% | 78.0% | 99.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 49.2% | 96.3% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.4% | 0.5% | 3.3% |
| 10 | 0.01 | 1 | 0.2% | 21.3% | 34.9% | 42.0% |
| 10 | 0.01 | 2 | 1.4% | 2.5% | 7.4% | 18.9% |
| 10 | 0.01 | 4 | 8.1% | 10.0% | 20.4% | 40.0% |
| 10 | 0.01 | 12 | 23.8% | 29.2% | 50.1% | 77.1% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 2.8% | 9.0% | 34.8% |
| 10 | 0.025 | 1 | 1.0% | 31.8% | 48.1% | 58.1% |
| 10 | 0.025 | 2 | 3.9% | 16.3% | 45.6% | 76.8% |
| 10 | 0.025 | 4 | 13.1% | 34.8% | 73.5% | 95.1% |
| 10 | 0.025 | 12 | 32.5% | 66.6% | 95.4% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.5% | 44.8% | 78.5% |
| 10 | 0.05 | 1 | 4.6% | 47.2% | 67.0% | 78.1% |
| 10 | 0.05 | 2 | 9.9% | 52.8% | 89.9% | 99.4% |
| 10 | 0.05 | 4 | 25.7% | 78.4% | 98.9% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 48.4% | 95.8% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.6% | 1.1% | 3.9% |
| 30 | 0.01 | 1 | 0.7% | 17.8% | 30.8% | 39.5% |
| 30 | 0.01 | 2 | 1.5% | 2.5% | 6.1% | 15.5% |
| 30 | 0.01 | 4 | 6.3% | 8.4% | 16.6% | 34.4% |
| 30 | 0.01 | 12 | 21.3% | 25.5% | 44.6% | 70.5% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 2.2% | 7.8% | 25.3% |
| 30 | 0.025 | 1 | 1.5% | 27.1% | 43.3% | 54.2% |
| 30 | 0.025 | 2 | 3.2% | 13.2% | 40.9% | 72.0% |
| 30 | 0.025 | 4 | 10.8% | 30.0% | 67.7% | 92.5% |
| 30 | 0.025 | 12 | 29.1% | 60.5% | 93.1% | 99.9% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 7.5% | 35.0% | 70.8% |
| 30 | 0.05 | 1 | 3.5% | 41.6% | 62.5% | 75.3% |
| 30 | 0.05 | 2 | 7.5% | 45.8% | 87.4% | 98.9% |
| 30 | 0.05 | 4 | 20.6% | 73.6% | 98.3% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 45.6% | 94.0% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.8% | 1.5% | 4.0% |
| 50 | 0.01 | 1 | 1.3% | 13.9% | 26.3% | 34.4% |
| 50 | 0.01 | 2 | 1.6% | 2.5% | 5.7% | 11.3% |
| 50 | 0.01 | 4 | 5.6% | 6.6% | 11.6% | 25.1% |
| 50 | 0.01 | 12 | 17.2% | 20.7% | 36.4% | 62.3% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 2.1% | 7.1% | 19.0% |
| 50 | 0.025 | 1 | 2.1% | 20.2% | 37.5% | 48.7% |
| 50 | 0.025 | 2 | 3.1% | 10.1% | 29.7% | 60.9% |
| 50 | 0.025 | 4 | 8.9% | 21.9% | 56.1% | 87.2% |
| 50 | 0.025 | 12 | 24.7% | 52.5% | 89.3% | 99.5% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 6.1% | 24.1% | 54.0% |
| 50 | 0.05 | 1 | 3.8% | 32.3% | 54.5% | 69.3% |
| 50 | 0.05 | 2 | 5.9% | 33.4% | 78.3% | 97.0% |
| 50 | 0.05 | 4 | 16.5% | 62.7% | 96.0% | 99.8% |
| 50 | 0.05 | 12 | 38.4% | 90.3% | 99.9% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.1.3.**

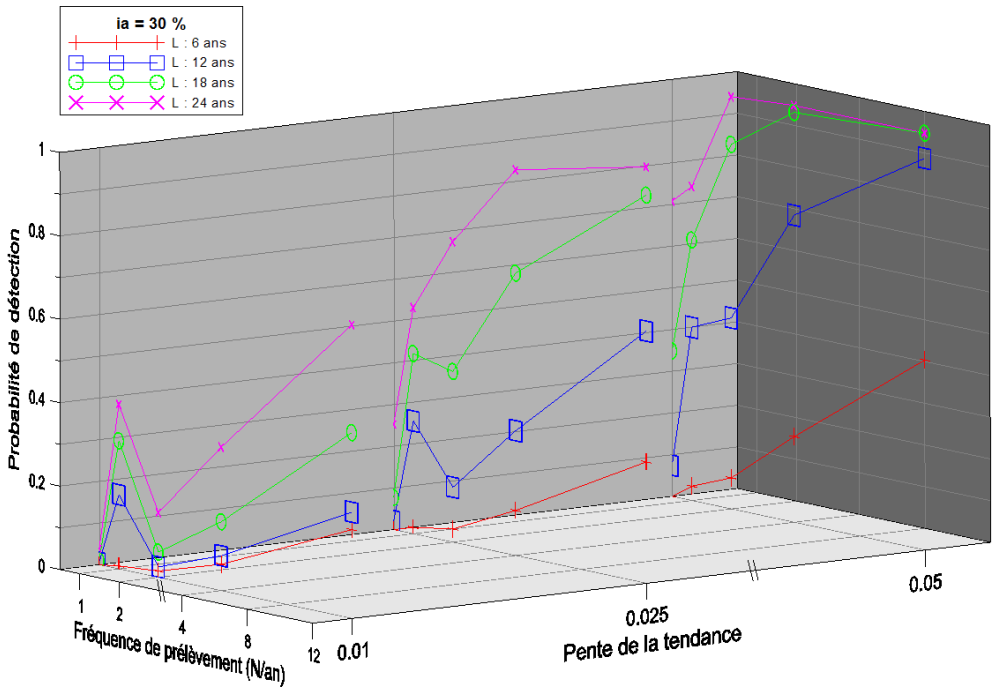
a) Incertitude analytique = 2,5 %



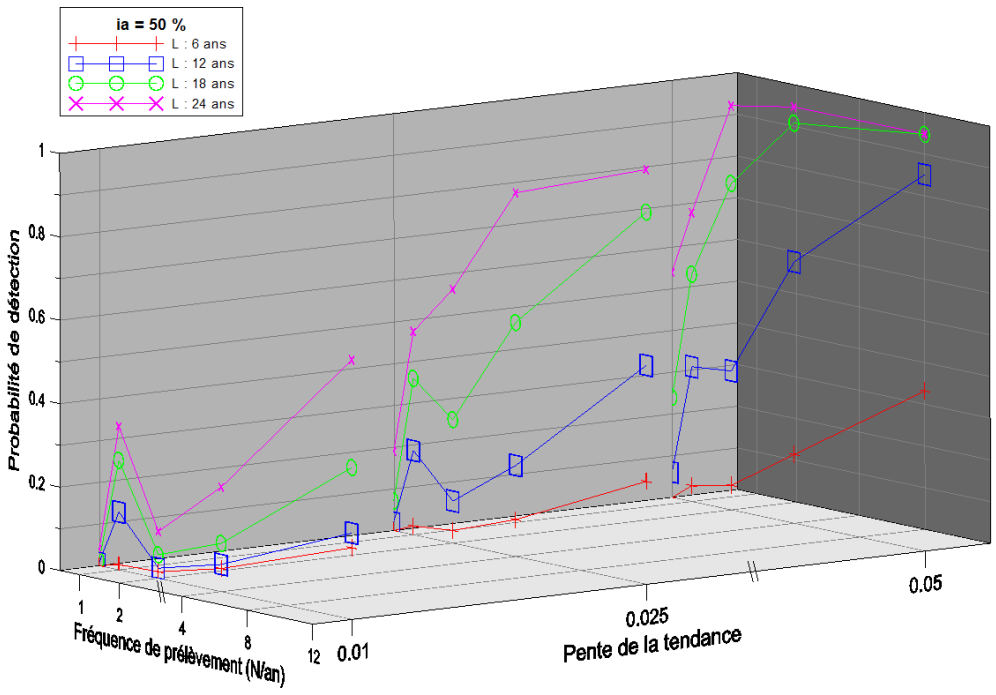

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



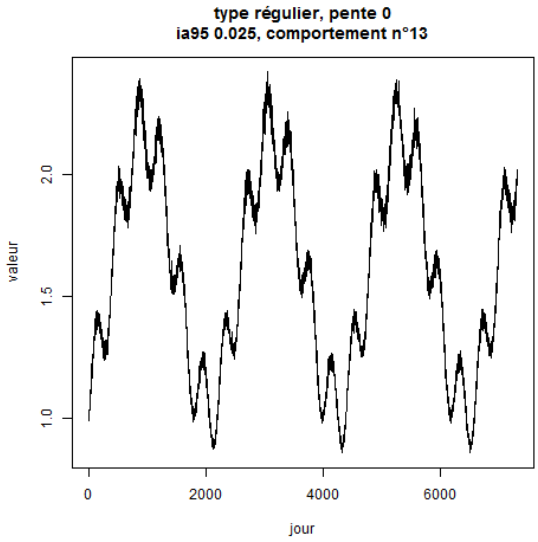
# Annexe 11

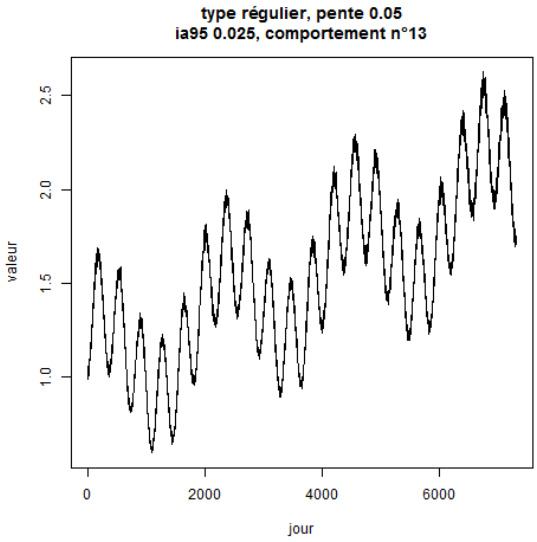
# Comportement 4.2.1 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,5

Variance = 0,1.

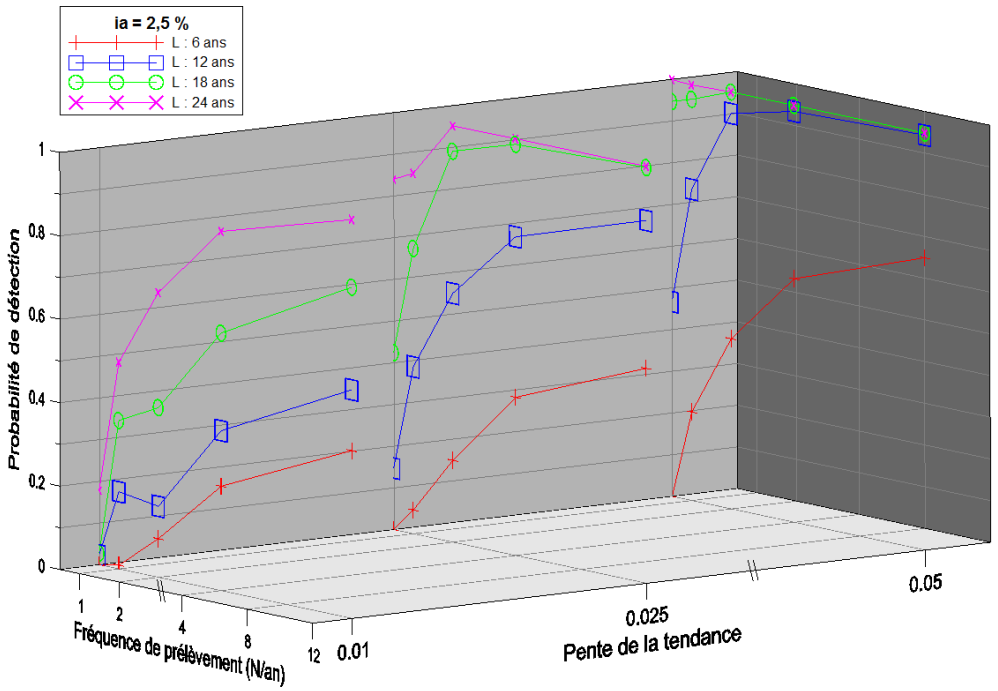


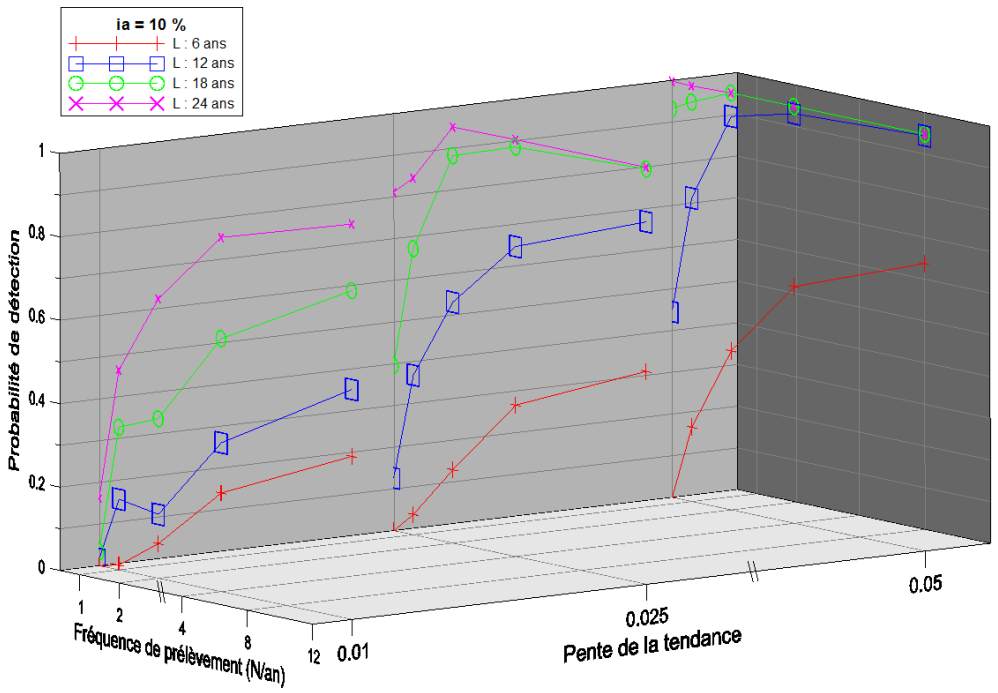
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.4% | 2.8% | 17.9% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.9% | 18.5% | 35.6% | 49.6% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 9.3% | 17.0% | 40.7% | 68.3% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 25.1% | 38.4% | 61.8% | 86.2% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 40.3% | 54.8% | 79.4% | 95.7% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 14.8% | 42.5% | 84.0% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 5.7% | 40.1% | 68.4% | 86.4% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 19.6% | 59.7% | 93.8% | 99.8% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 38.0% | 76.4% | 98.6% | 100.0% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 51.6% | 87.0% | 99.7% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 46.7% | 94.7% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 21.3% | 74.7% | 96.2% | 99.7% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 40.8% | 94.8% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 58.4% | 98.5% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 70.1% | 99.5% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.8% | 3.4% | 16.1% |
| 10 | 0.01 | 1 | 1.2% | 17.0% | 34.2% | 47.9% |
| 10 | 0.01 | 2 | 8.4% | 15.4% | 38.3% | 67.0% |
| 10 | 0.01 | 4 | 23.7% | 35.7% | 60.7% | 85.0% |
| 10 | 0.01 | 12 | 39.1% | 55.2% | 78.9% | 94.8% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 12.7% | 39.6% | 81.2% |
| 10 | 0.025 | 1 | 4.9% | 38.3% | 68.6% | 85.5% |
| 10 | 0.025 | 2 | 17.6% | 57.8% | 92.9% | 99.8% |
| 10 | 0.025 | 4 | 36.3% | 74.3% | 98.2% | 100.0% |
| 10 | 0.025 | 12 | 51.1% | 86.9% | 99.6% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 44.6% | 93.3% | 99.8% |
| 10 | 0.05 | 1 | 17.8% | 72.8% | 95.8% | 99.7% |
| 10 | 0.05 | 2 | 38.2% | 94.4% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 56.8% | 98.2% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 69.0% | 99.6% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.1% | 4.3% | 10.5% |
| 30 | 0.01 | 1 | 2.4% | 11.2% | 24.9% | 37.3% |
| 30 | 0.01 | 2 | 6.1% | 10.2% | 23.4% | 47.1% |
| 30 | 0.01 | 4 | 18.7% | 23.9% | 45.4% | 71.6% |
| 30 | 0.01 | 12 | 34.3% | 46.2% | 71.7% | 91.7% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.4% | 23.8% | 57.4% |
| 30 | 0.025 | 1 | 4.2% | 25.9% | 54.5% | 76.9% |
| 30 | 0.025 | 2 | 11.7% | 38.6% | 81.4% | 98.4% |
| 30 | 0.025 | 4 | 27.2% | 61.1% | 94.8% | 99.9% |
| 30 | 0.025 | 12 | 45.2% | 82.4% | 99.2% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 25.0% | 70.9% | 95.5% |
| 30 | 0.05 | 1 | 9.8% | 56.4% | 89.6% | 98.5% |
| 30 | 0.05 | 2 | 24.7% | 83.9% | 99.8% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 43.3% | 95.2% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 63.3% | 99.1% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.1% | 4.8% | 8.8% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.6% | 8.3% | 16.4% | 25.7% |
| 50 | 0.01 | 2 | 5.4% | 7.9% | 14.7% | 28.5% |
| 50 | 0.01 | 4 | 12.4% | 15.3% | 28.7% | 51.3% |
| 50 | 0.01 | 12 | 27.1% | 36.3% | 58.9% | 83.7% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 5.8% | 16.2% | 34.2% |
| 50 | 0.025 | 1 | 4.3% | 16.7% | 37.4% | 59.7% |
| 50 | 0.025 | 2 | 8.4% | 23.3% | 57.3% | 88.1% |
| 50 | 0.025 | 4 | 19.1% | 44.7% | 82.3% | 98.4% |
| 50 | 0.025 | 12 | 37.4% | 72.7% | 98.0% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 14.7% | 44.3% | 74.0% |
| 50 | 0.05 | 1 | 7.4% | 37.0% | 71.6% | 91.9% |
| 50 | 0.05 | 2 | 16.0% | 60.8% | 95.0% | 99.9% |
| 50 | 0.05 | 4 | 31.3% | 84.1% | 99.8% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 53.1% | 97.7% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.2.1.**

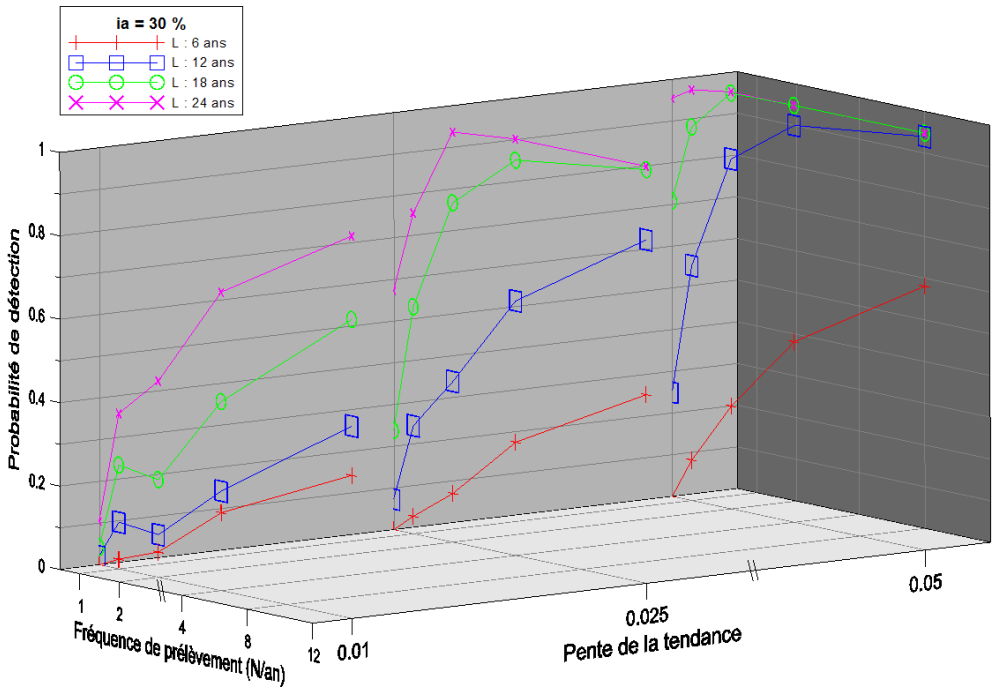
a) Incertitude analytique = 2,5 %



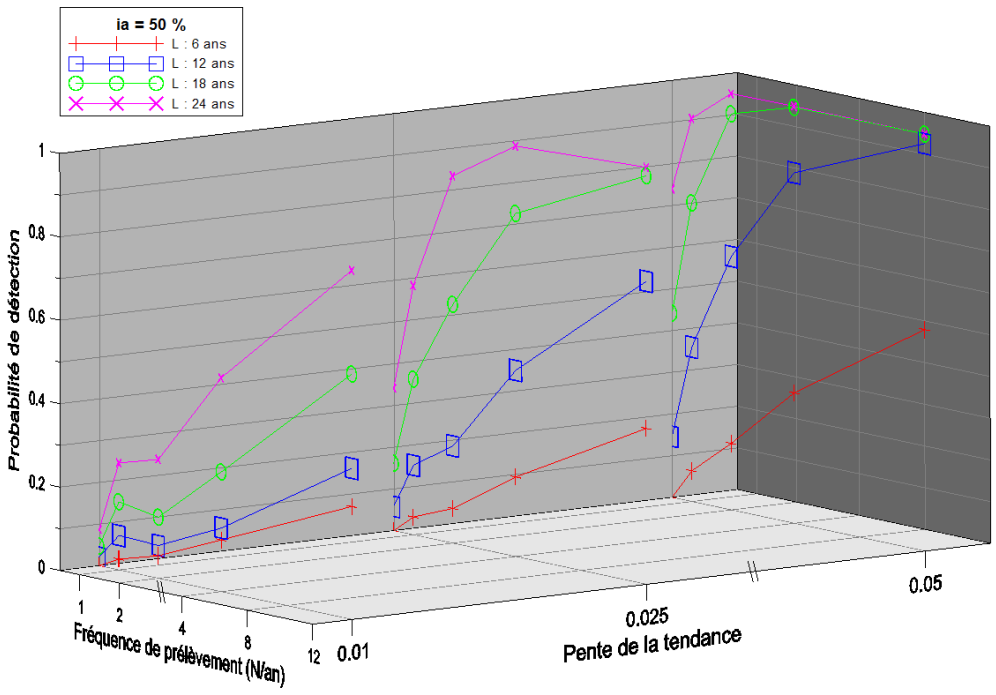

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



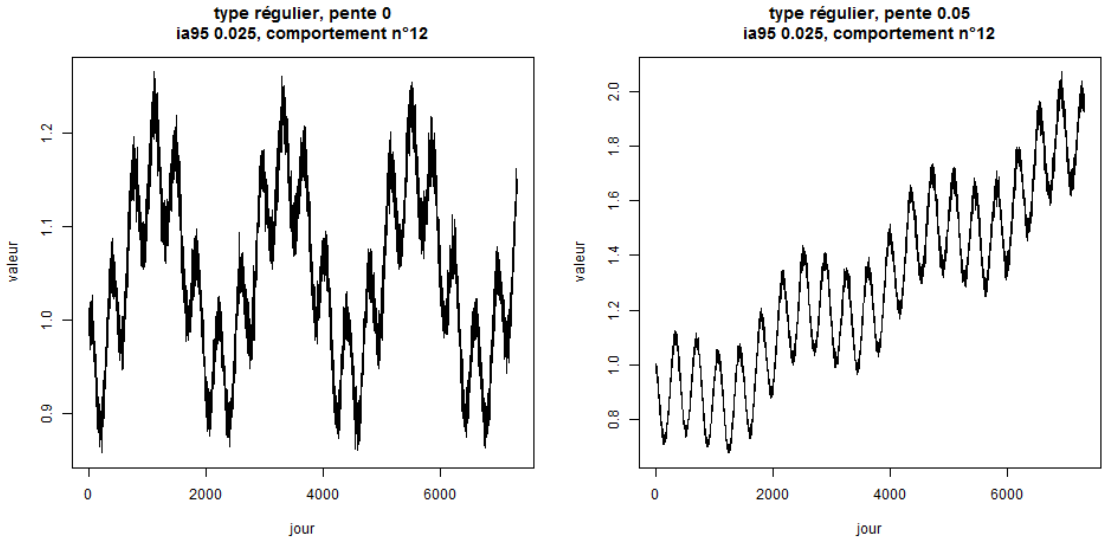
# Annexe 12

# Comportement 4.2.2 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,5

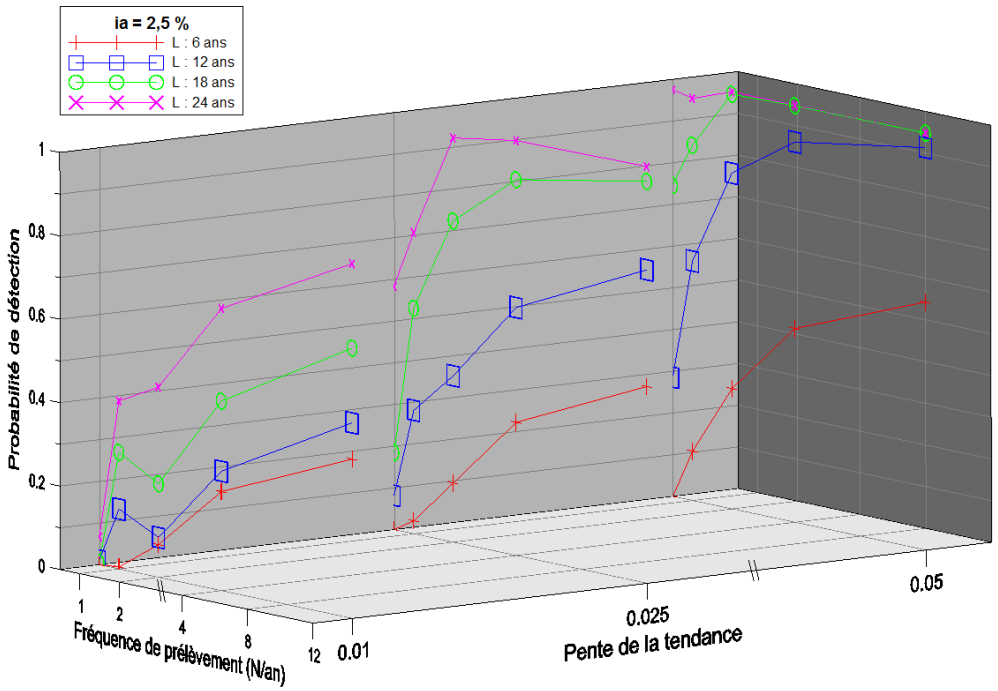
Variance = 0,2.



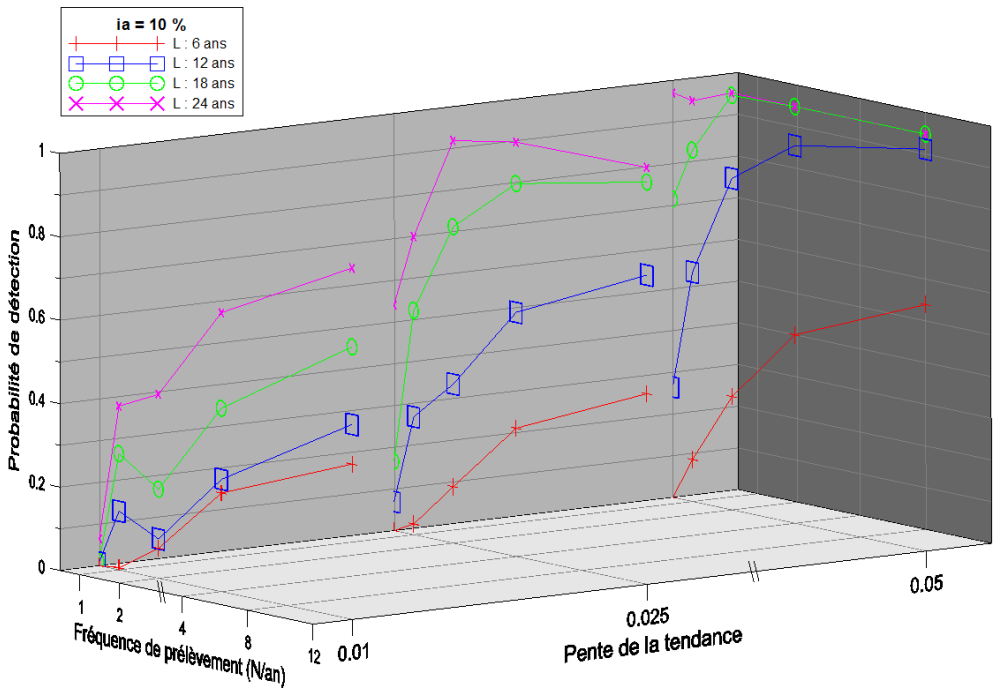
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 0.6% | 6.8% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.5% | 14.4% | 28.0% | 40.3% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 7.9% | 9.6% | 22.5% | 45.6% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 23.8% | 28.7% | 45.5% | 67.7% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 38.2% | 46.9% | 64.8% | 85.1% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 8.3% | 18.6% | 58.4% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 3.1% | 29.6% | 54.1% | 72.2% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 14.2% | 39.9% | 77.1% | 96.9% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 32.0% | 59.5% | 90.2% | 99.5% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 47.2% | 75.2% | 96.4% | 99.9% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 28.6% | 74.6% | 97.6% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 11.9% | 57.5% | 85.2% | 96.5% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 28.9% | 80.5% | 99.5% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 46.5% | 91.2% | 99.9% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 59.5% | 96.5% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.9% | 1.2% | 6.5% |
| 10 | 0.01 | 1 | 0.6% | 14.1% | 27.9% | 39.3% |
| 10 | 0.01 | 2 | 7.2% | 9.4% | 21.4% | 44.1% |
| 10 | 0.01 | 4 | 23.7% | 26.9% | 44.0% | 66.9% |
| 10 | 0.01 | 12 | 37.3% | 46.8% | 65.4% | 84.3% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.0% | 16.7% | 54.1% |
| 10 | 0.025 | 1 | 2.6% | 28.3% | 53.8% | 71.5% |
| 10 | 0.025 | 2 | 13.6% | 38.2% | 75.9% | 96.5% |
| 10 | 0.025 | 4 | 30.8% | 58.6% | 89.4% | 99.4% |
| 10 | 0.025 | 12 | 45.7% | 74.2% | 96.5% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 26.5% | 71.6% | 97.1% |
| 10 | 0.05 | 1 | 10.1% | 55.0% | 84.3% | 96.1% |
| 10 | 0.05 | 2 | 27.2% | 79.5% | 99.4% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 45.2% | 90.6% | 99.9% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 59.1% | 96.4% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.1% | 2.2% | 5.6% |
| 30 | 0.01 | 1 | 1.6% | 10.5% | 23.0% | 33.5% |
| 30 | 0.01 | 2 | 6.1% | 7.5% | 14.7% | 32.2% |
| 30 | 0.01 | 4 | 19.3% | 19.8% | 35.4% | 58.0% |
| 30 | 0.01 | 12 | 35.2% | 41.5% | 59.4% | 80.7% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 4.5% | 13.8% | 40.0% |
| 30 | 0.025 | 1 | 2.6% | 21.3% | 44.1% | 64.1% |
| 30 | 0.025 | 2 | 10.6% | 27.7% | 64.8% | 92.6% |
| 30 | 0.025 | 4 | 25.8% | 50.6% | 84.7% | 98.4% |
| 30 | 0.025 | 12 | 42.7% | 70.3% | 95.2% | 99.8% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 16.0% | 54.0% | 88.9% |
| 30 | 0.05 | 1 | 7.0% | 44.1% | 76.6% | 93.3% |
| 30 | 0.05 | 2 | 20.4% | 69.3% | 97.6% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 38.4% | 86.1% | 99.8% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 56.3% | 95.0% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.6% | 2.6% | 5.6% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.1% | 7.8% | 17.0% | 25.6% |
| 50 | 0.01 | 2 | 5.4% | 6.0% | 11.3% | 21.0% |
| 50 | 0.01 | 4 | 14.6% | 15.5% | 23.7% | 42.1% |
| 50 | 0.01 | 12 | 30.2% | 34.0% | 49.7% | 73.6% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 4.2% | 11.2% | 26.0% |
| 50 | 0.025 | 1 | 3.1% | 15.8% | 33.7% | 52.9% |
| 50 | 0.025 | 2 | 7.7% | 19.7% | 47.3% | 79.9% |
| 50 | 0.025 | 4 | 19.2% | 38.9% | 71.4% | 94.9% |
| 50 | 0.025 | 12 | 36.7% | 63.1% | 92.1% | 99.7% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.0% | 36.0% | 66.7% |
| 50 | 0.05 | 1 | 5.7% | 31.6% | 63.9% | 85.1% |
| 50 | 0.05 | 2 | 13.6% | 51.1% | 90.2% | 99.5% |
| 50 | 0.05 | 4 | 30.3% | 75.2% | 98.6% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 49.5% | 92.0% | 99.9% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.2.2.**

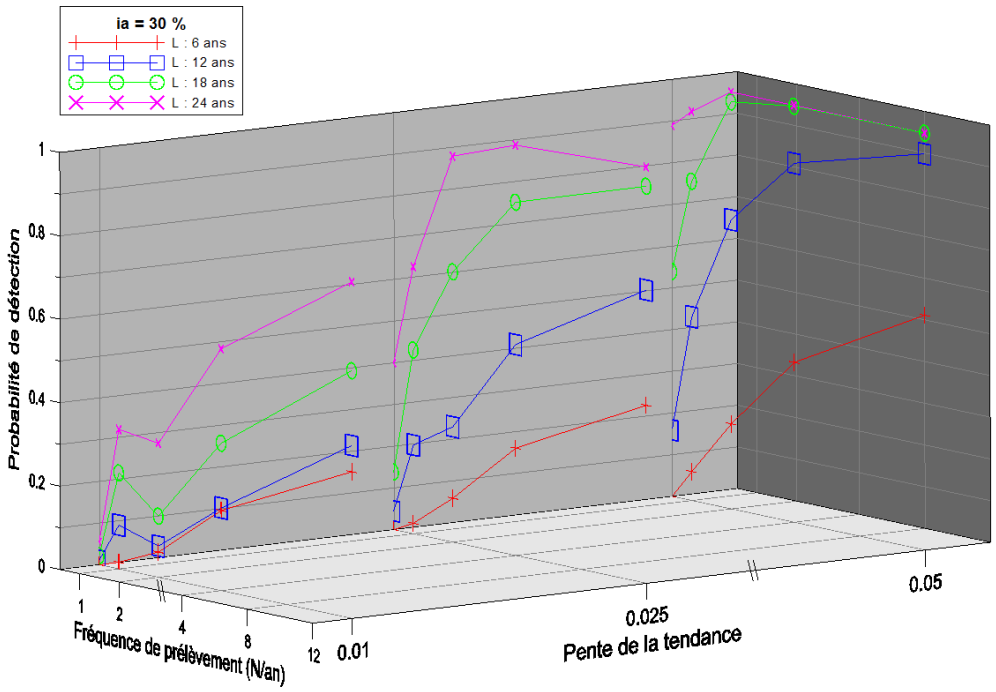
a) Incertitude analytique = 2,5 %



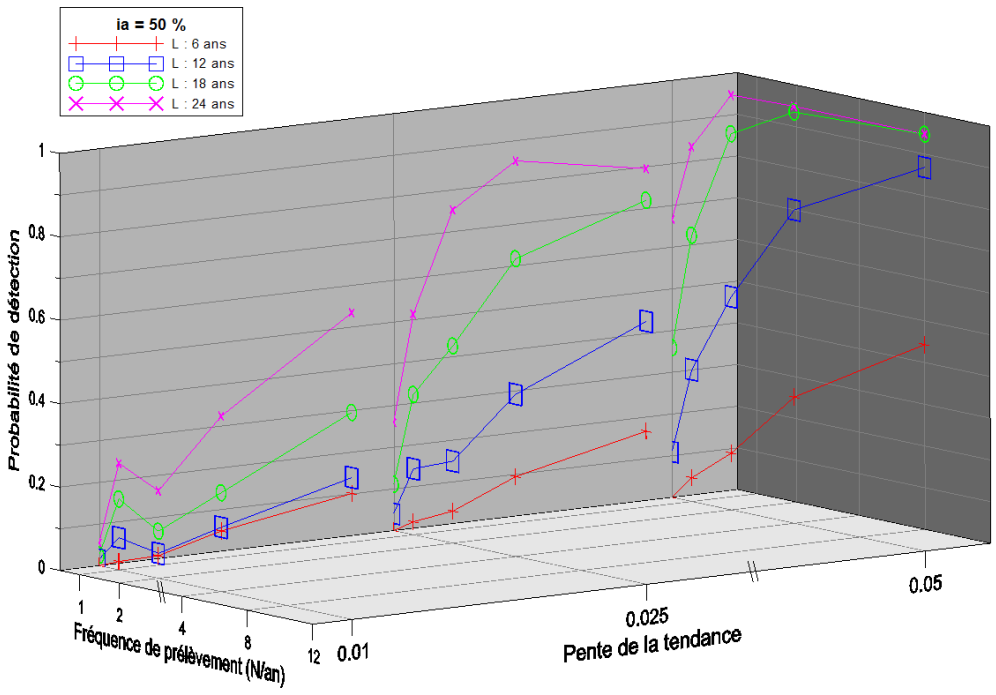

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



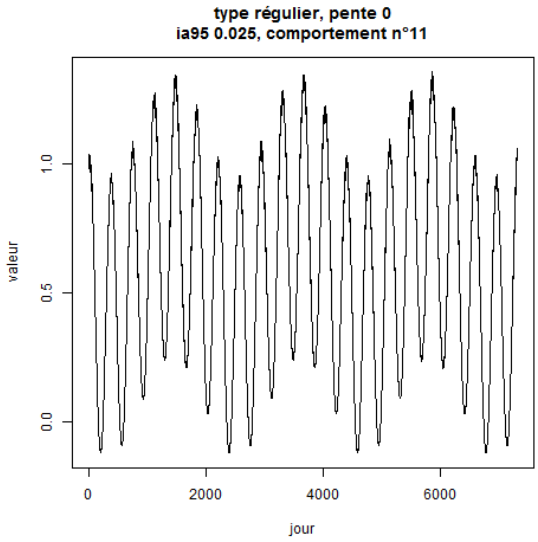
# Annexe 13

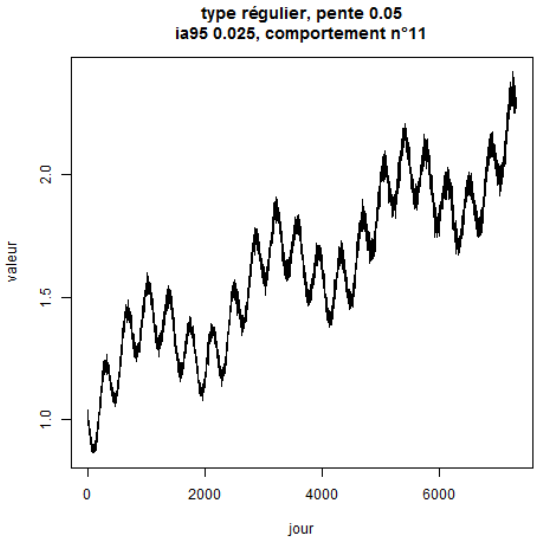
# Comportement 4.2.3 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,5

Variance = 0,5.

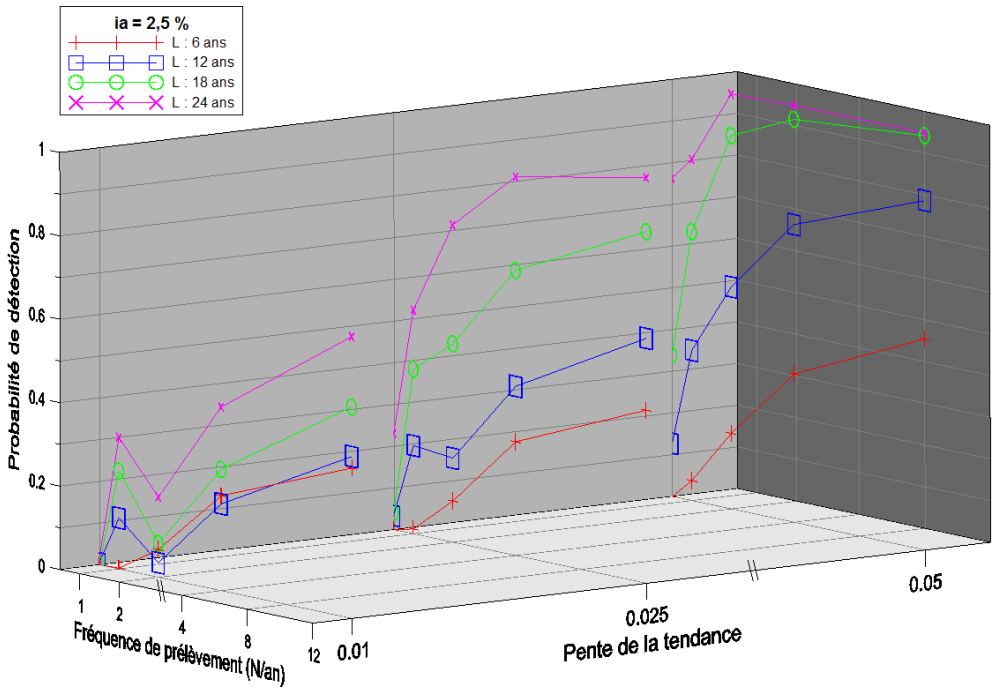


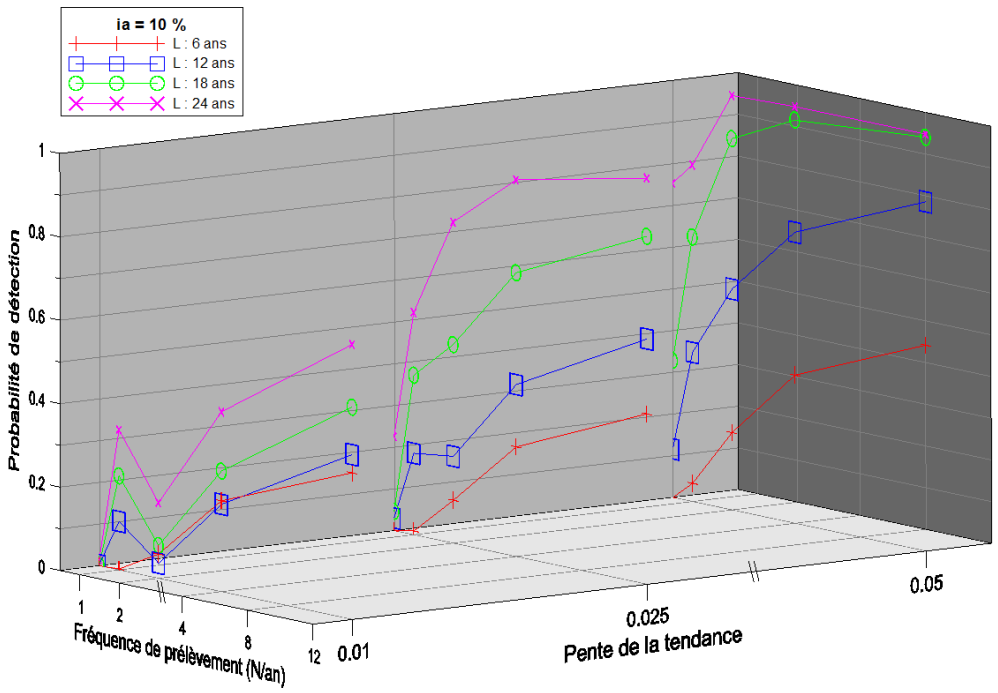
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **2.5** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 0.2% | 1.5% |
| **2.5** | **0.01** | **1** | 0.2% | 12.2% | 23.5% | 31.6% |
| **2.5** | **0.01** | **2** | 6.7% | 3.5% | 8.1% | 19.2% |
| **2.5** | **0.01** | **4** | 22.8% | 20.8% | 29.1% | 44.1% |
| **2.5** | **0.01** | **12** | 36.1% | 38.8% | 50.7% | 67.6% |
| **2.5** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 3.4% | 4.2% | 23.1% |
| **2.5** | **0.025** | **1** | 1.2% | 21.2% | 39.5% | 53.6% |
| **2.5** | **0.025** | **2** | 9.9% | 20.2% | 47.6% | 76.1% |
| **2.5** | **0.025** | **4** | 27.3% | 40.6% | 68.4% | 90.8% |
| **2.5** | **0.025** | **12** | 41.5% | 58.8% | 84.3% | 97.3% |
| **2.5** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 12.8% | 34.0% | 76.3% |
| **2.5** | **0.05** | **1** | 4.8% | 36.0% | 64.5% | 81.8% |
| **2.5** | **0.05** | **2** | 18.1% | 53.3% | 89.5% | 99.5% |
| **2.5** | **0.05** | **4** | 35.6% | 71.4% | 96.6% | 100.0% |
| **2.5** | **0.05** | **12** | 50.6% | 83.8% | 99.4% | 100.0% |
| **10** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.3% | 0.3% | 1.6% |
| **10** | **0.01** | **1** | 0.2% | 11.7% | 22.6% | 33.6% |
| **10** | **0.01** | **2** | 5.9% | 3.6% | 7.9% | 18.1% |
| **10** | **0.01** | **4** | 21.8% | 21.0% | 28.9% | 43.2% |
| **10** | **0.01** | **12** | 35.2% | 39.5% | 50.9% | 66.0% |
| **10** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 3.1% | 4.7% | 22.7% |
| **10** | **0.025** | **1** | 0.9% | 19.6% | 38.3% | 53.3% |
| **10** | **0.025** | **2** | 10.3% | 20.8% | 47.7% | 77.0% |
| **10** | **0.025** | **4** | 26.3% | 41.3% | 68.1% | 90.3% |
| **10** | **0.025** | **12** | 40.9% | 58.8% | 83.5% | 97.4% |
| **10** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 11.7% | 32.9% | 75.4% |
| **10** | **0.05** | **1** | 4.4% | 35.8% | 63.5% | 80.7% |
| **10** | **0.05** | **2** | 18.6% | 53.0% | 89.0% | 99.4% |
| **10** | **0.05** | **4** | 35.5% | 69.8% | 96.7% | 99.9% |
| **10** | **0.05** | **12** | 49.4% | 83.8% | 99.2% | 100.0% |
| **30** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.5% | 0.5% | 2.0% |
| **30** | **0.01** | **1** | 0.7% | 10.0% | 20.8% | 28.2% |
| **30** | **0.01** | **2** | 5.7% | 4.0% | 7.1% | 15.1% |
| **30** | **0.01** | **4** | 20.1% | 18.1% | 23.4% | 37.6% |
| **30** | **0.01** | **12** | 34.4% | 36.5% | 46.6% | 61.4% |
| **30** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.1% | 4.9% | 18.6% |
| **30** | **0.025** | **1** | 1.5% | 17.1% | 34.9% | 49.0% |
| **30** | **0.025** | **2** | 8.4% | 15.8% | 40.0% | 70.2% |
| **30** | **0.025** | **4** | 23.8% | 37.0% | 63.9% | 88.1% |
| **30** | **0.025** | **12** | 39.9% | 56.1% | 81.8% | 96.5% |
| **30** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 7.7% | 25.6% | 64.7% |
| **30** | **0.05** | **1** | 3.9% | 32.2% | 58.3% | 77.9% |
| **30** | **0.05** | **2** | 14.8% | 46.6% | 85.4% | 98.7% |
| **30** | **0.05** | **4** | 32.4% | 66.9% | 95.3% | 99.9% |
| **30** | **0.05** | **12** | 47.5% | 81.6% | 98.9% | 100.0% |
| **50** | **0.01** | **0.5** | 0.0% | 0.8% | 1.2% | 2.6% |
| **50** | **0.01** | **1** | 1.3% | 8.2% | 17.0% | 25.3% |
| **50** | **0.01** | **2** | 5.3% | 4.3% | 5.9% | 11.8% |
| **50** | **0.01** | **4** | 16.7% | 13.3% | 18.8% | 29.5% |
| **50** | **0.01** | **12** | 32.8% | 33.7% | 41.9% | 56.9% |
| **50** | **0.025** | **0.5** | 0.0% | 2.4% | 4.8% | 14.3% |
| **50** | **0.025** | **1** | 1.9% | 13.7% | 28.9% | 42.9% |
| **50** | **0.025** | **2** | 7.1% | 13.4% | 30.8% | 58.6% |
| **50** | **0.025** | **4** | 20.9% | 29.7% | 54.8% | 81.2% |
| **50** | **0.025** | **12** | 36.9% | 51.8% | 77.3% | 95.3% |
| **50** | **0.05** | **0.5** | 0.0% | 5.9% | 20.4% | 50.1% |
| **50** | **0.05** | **1** | 3.6% | 25.1% | 50.4% | 71.0% |
| **50** | **0.05** | **2** | 12.1% | 36.7% | 75.9% | 95.9% |
| **50** | **0.05** | **4** | 27.1% | 57.8% | 91.6% | 99.6% |
| **50** | **0.05** | **12** | 45.5% | 77.8% | 98.3% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.2.3.**

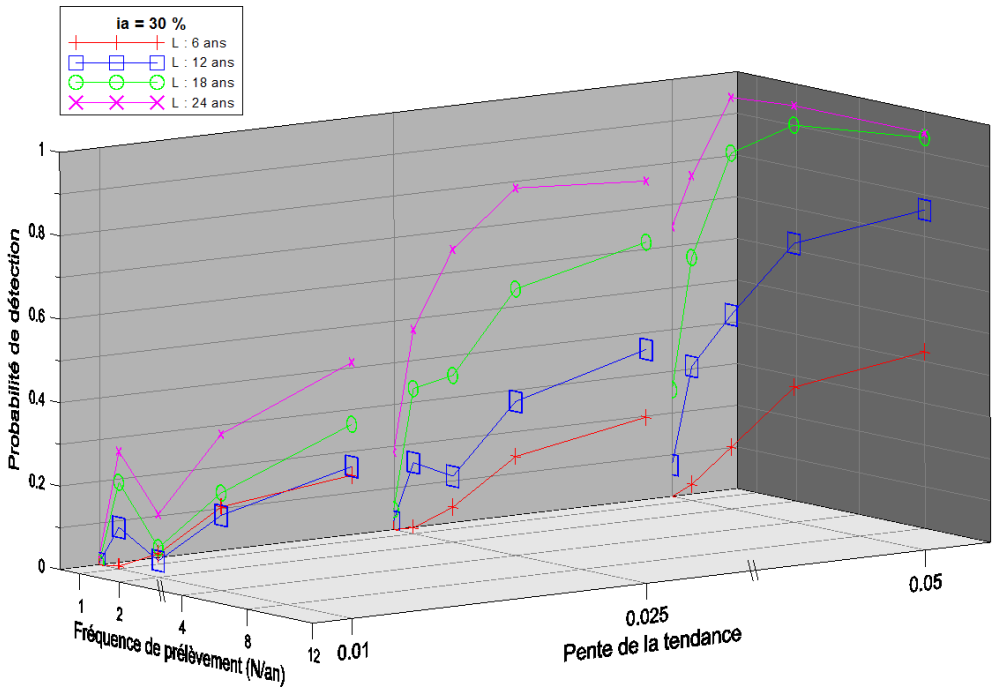
a) Incertitude analytique = 2,5 %



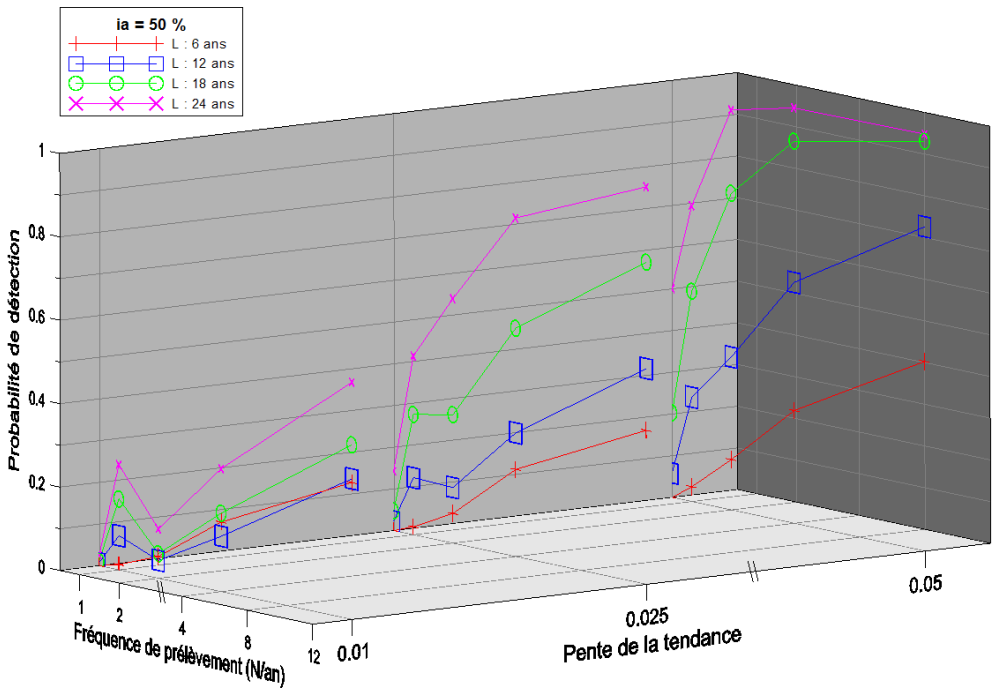

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



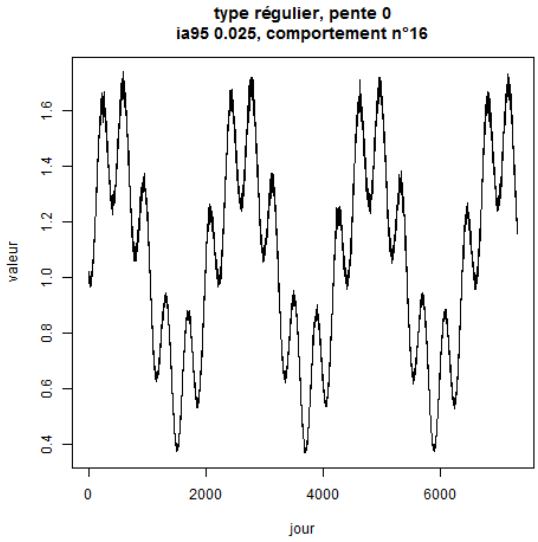
# Annexe 14

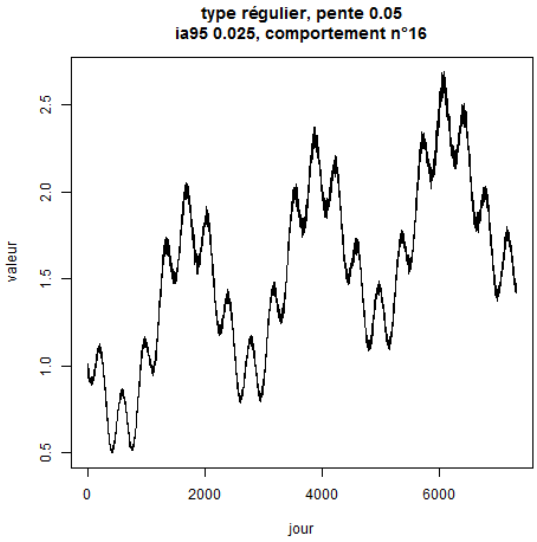
# Comportement 4.3.1 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,9

Variance = 0,1

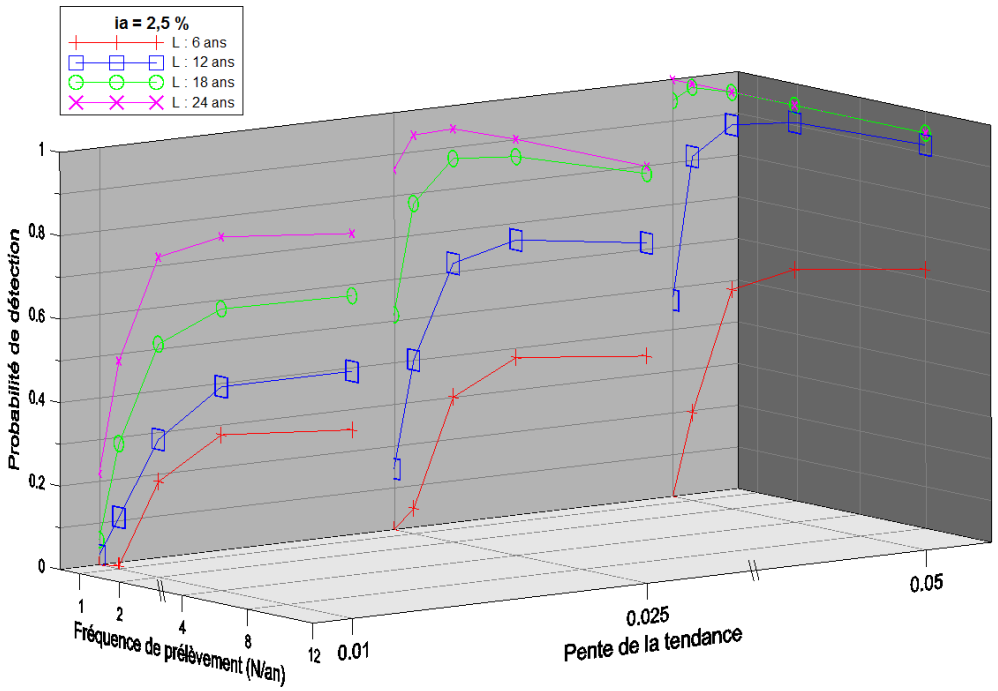


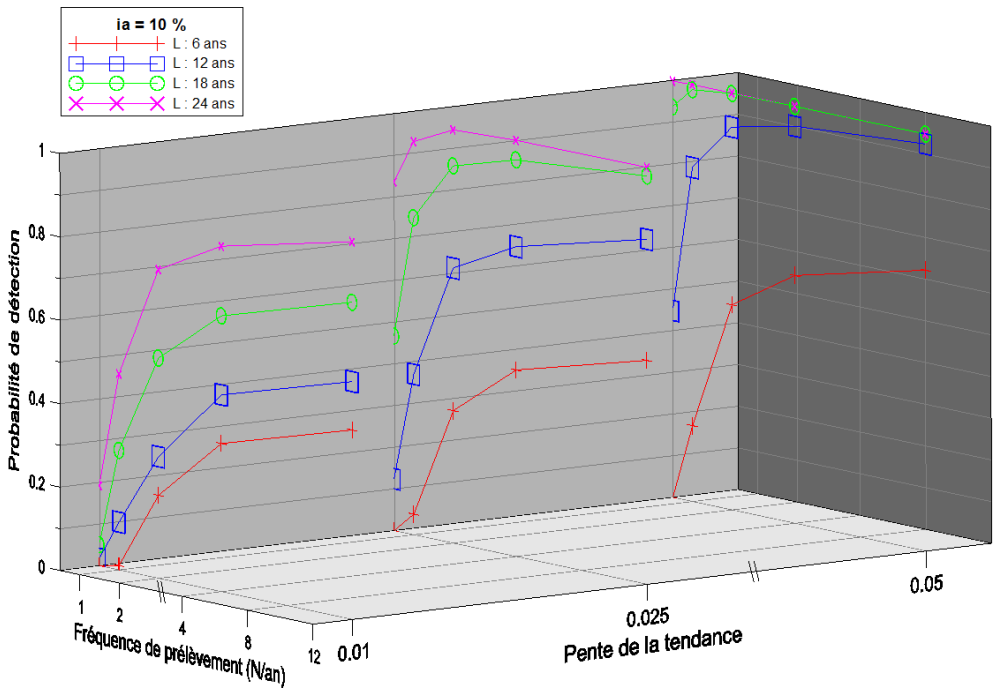
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.4% | 6.1% | 21.9% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.8% | 12.4% | 30.1% | 49.9% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 23.0% | 33.1% | 55.9% | 76.8% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 37.4% | 48.9% | 67.6% | 84.8% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 45.2% | 59.3% | 77.4% | 92.3% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 14.7% | 51.5% | 86.4% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 6.1% | 41.7% | 79.2% | 95.6% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 34.8% | 66.9% | 92.0% | 99.1% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 47.5% | 75.7% | 95.7% | 99.8% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 54.5% | 81.6% | 98.3% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 47.2% | 95.0% | 99.9% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 21.2% | 82.5% | 99.1% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 52.6% | 92.1% | 99.9% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 60.6% | 95.9% | 100.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 67.3% | 97.1% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.8% | 5.1% | 19.3% |
| 10 | 0.01 | 1 | 1.1% | 11.5% | 28.7% | 47.0% |
| 10 | 0.01 | 2 | 19.9% | 29.2% | 52.8% | 74.1% |
| 10 | 0.01 | 4 | 35.6% | 47.2% | 66.2% | 82.9% |
| 10 | 0.01 | 12 | 45.4% | 57.1% | 76.1% | 90.6% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 12.5% | 46.7% | 83.7% |
| 10 | 0.025 | 1 | 5.0% | 38.5% | 76.1% | 94.3% |
| 10 | 0.025 | 2 | 31.8% | 66.0% | 90.5% | 99.1% |
| 10 | 0.025 | 4 | 44.8% | 74.3% | 95.1% | 99.8% |
| 10 | 0.025 | 12 | 53.7% | 82.7% | 97.9% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 44.9% | 93.7% | 99.8% |
| 10 | 0.05 | 1 | 18.2% | 80.1% | 98.8% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 2 | 49.2% | 91.8% | 99.9% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 59.4% | 95.2% | 100.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 67.4% | 97.6% | 100.0% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.2% | 5.0% | 11.5% |
| 30 | 0.01 | 1 | 2.1% | 7.2% | 16.7% | 30.8% |
| 30 | 0.01 | 2 | 11.9% | 15.8% | 30.2% | 53.1% |
| 30 | 0.01 | 4 | 27.0% | 33.2% | 51.1% | 73.3% |
| 30 | 0.01 | 12 | 39.9% | 51.3% | 70.3% | 88.0% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.5% | 26.6% | 58.9% |
| 30 | 0.025 | 1 | 4.6% | 23.8% | 57.1% | 84.9% |
| 30 | 0.025 | 2 | 18.2% | 46.0% | 81.8% | 97.2% |
| 30 | 0.025 | 4 | 34.9% | 63.5% | 91.9% | 99.6% |
| 30 | 0.025 | 12 | 48.0% | 78.0% | 97.1% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 24.3% | 73.9% | 96.4% |
| 30 | 0.05 | 1 | 10.2% | 59.1% | 94.1% | 99.7% |
| 30 | 0.05 | 2 | 31.7% | 83.2% | 99.4% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 4 | 50.3% | 92.0% | 99.9% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 61.6% | 97.0% | 100.0% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 2.9% | 5.2% | 8.1% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.8% | 6.4% | 11.2% | 19.4% |
| 50 | 0.01 | 2 | 8.3% | 10.4% | 17.3% | 32.2% |
| 50 | 0.01 | 4 | 18.8% | 20.8% | 34.1% | 53.9% |
| 50 | 0.01 | 12 | 34.4% | 40.3% | 59.9% | 81.5% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 5.5% | 15.9% | 33.8% |
| 50 | 0.025 | 1 | 4.0% | 14.0% | 35.0% | 61.8% |
| 50 | 0.025 | 2 | 12.6% | 27.1% | 59.8% | 87.3% |
| 50 | 0.025 | 4 | 25.6% | 46.6% | 80.5% | 97.3% |
| 50 | 0.025 | 12 | 41.4% | 70.6% | 95.0% | 99.8% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 14.4% | 44.5% | 76.1% |
| 50 | 0.05 | 1 | 7.1% | 36.5% | 74.6% | 95.1% |
| 50 | 0.05 | 2 | 20.9% | 62.5% | 94.5% | 99.8% |
| 50 | 0.05 | 4 | 36.2% | 81.6% | 99.4% | 100.0% |
| 50 | 0.05 | 12 | 54.5% | 94.7% | 100.0% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.3.1.**

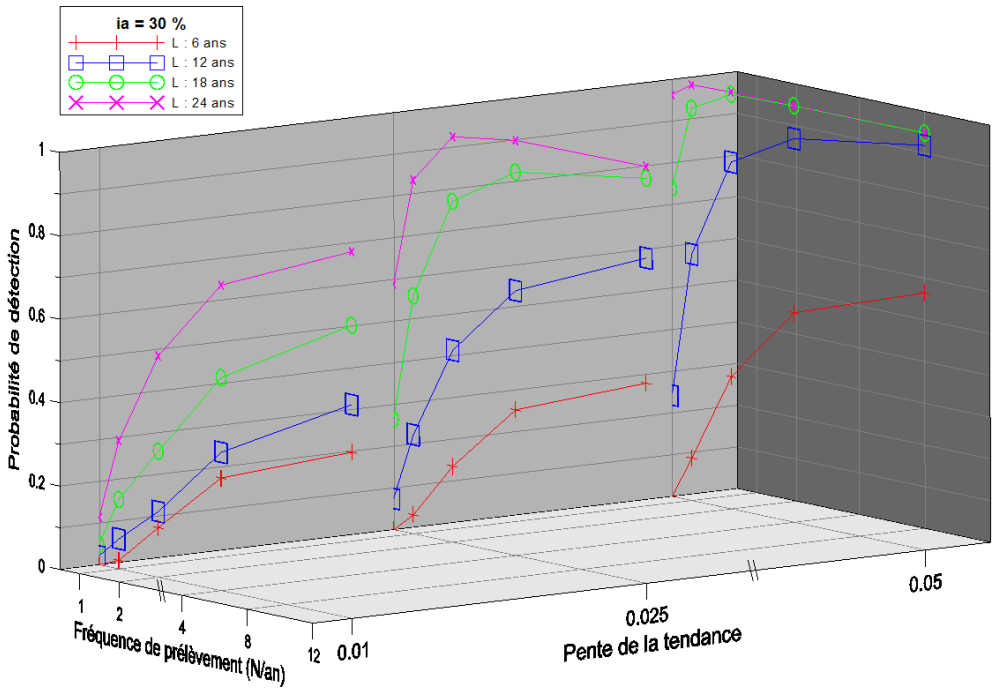
a) Incertitude analytique = 2,5 %



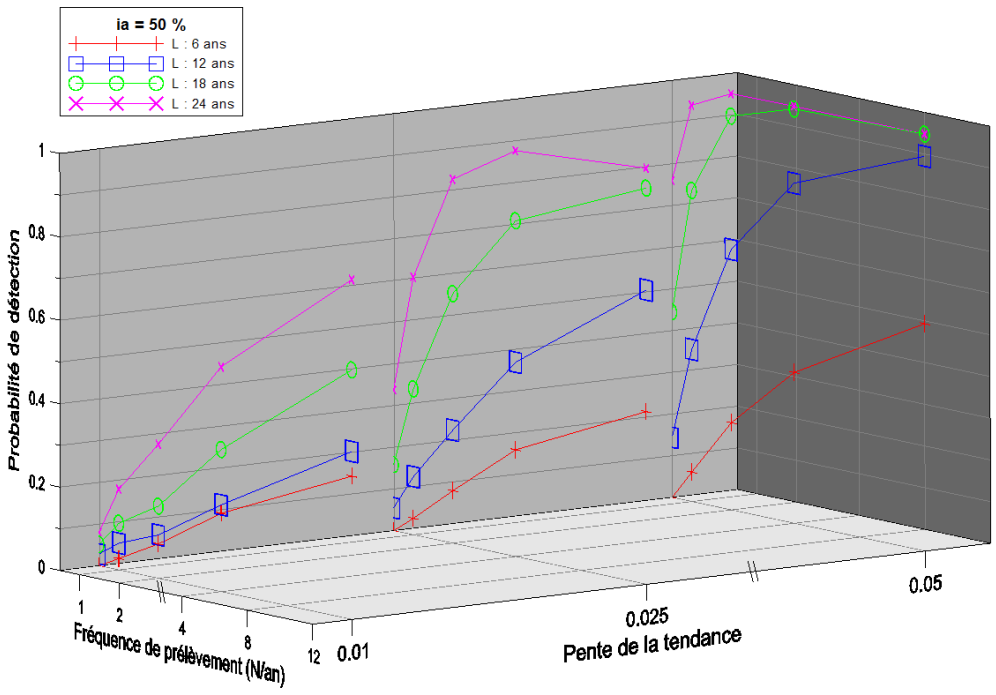

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



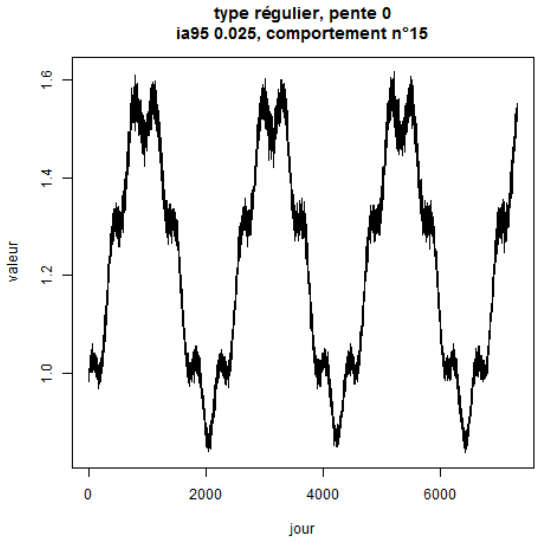
# Annexe 15

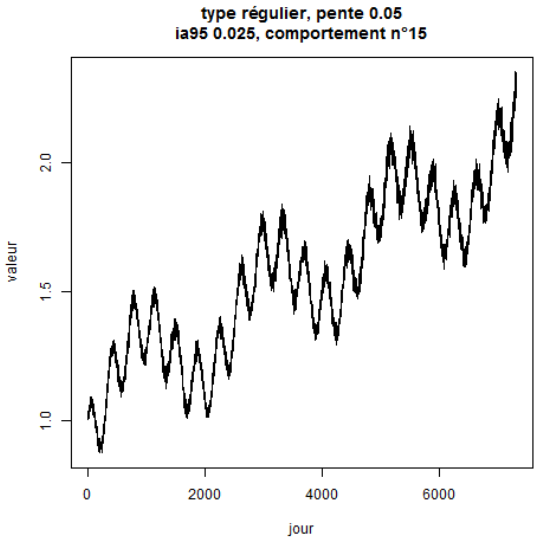
# Comportement 4.3.2 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,9

Variance = 0,2.

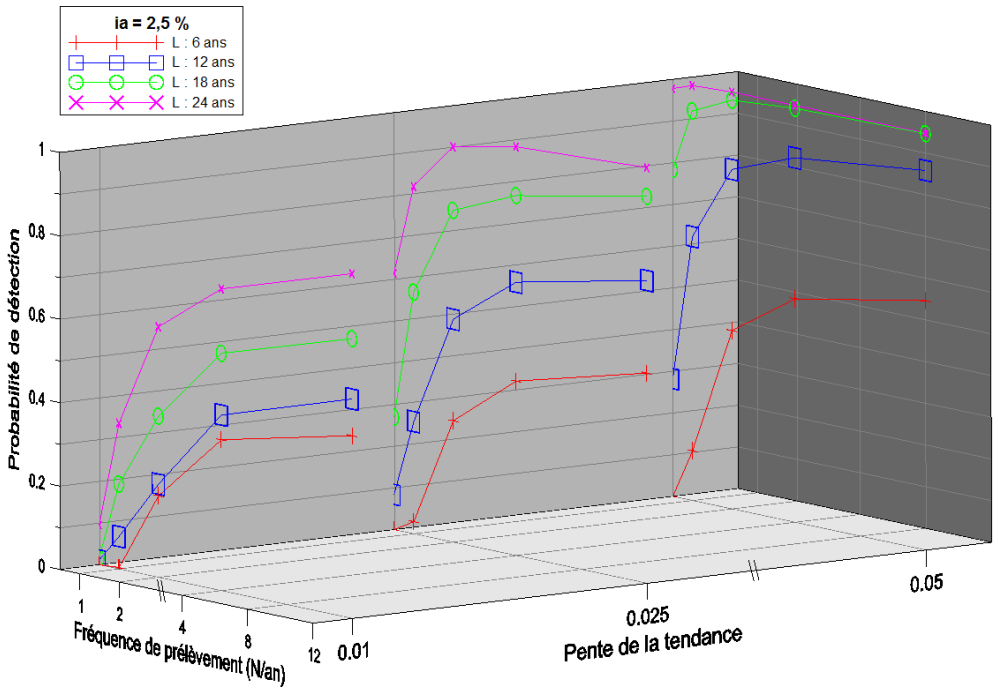


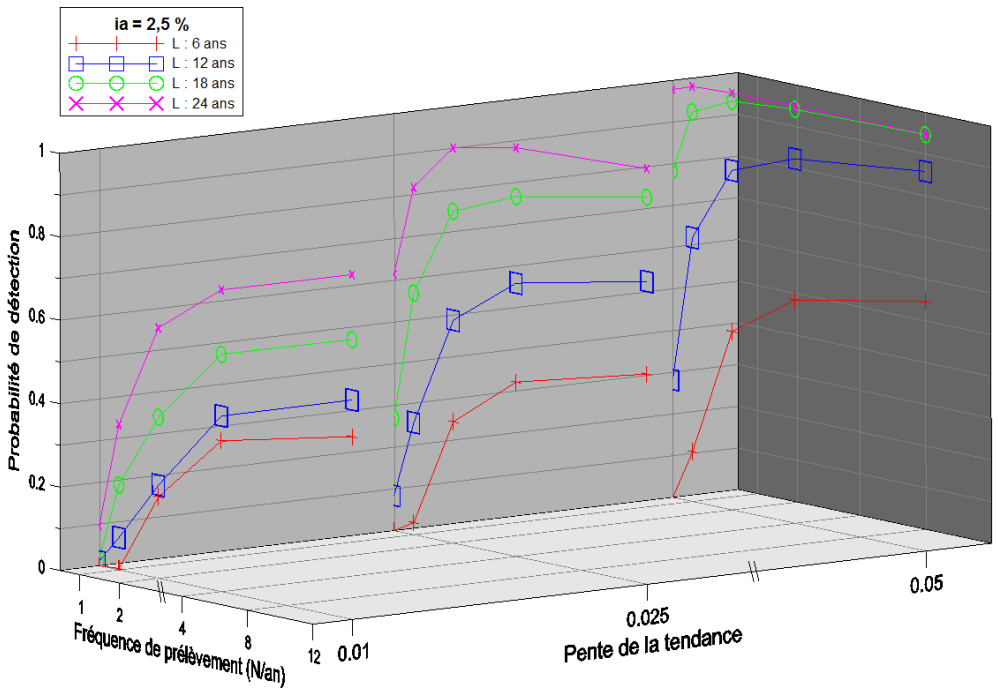
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 1.8% | 9.7% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.3% | 7.8% | 20.4% | 34.9% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 19.6% | 22.4% | 38.7% | 60.1% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 36.2% | 42.1% | 56.9% | 72.4% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 43.8% | 52.6% | 67.1% | 82.7% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 8.5% | 27.0% | 61.5% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 2.9% | 26.9% | 58.0% | 83.3% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 29.1% | 53.5% | 79.6% | 94.8% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 41.9% | 65.6% | 86.3% | 98.0% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 50.4% | 72.6% | 92.8% | 99.7% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 28.3% | 78.5% | 97.8% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 12.0% | 63.3% | 93.5% | 99.5% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 42.8% | 81.4% | 98.0% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 53.6% | 87.4% | 99.3% | 100.0% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 59.8% | 91.0% | 99.9% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.8% | 2.2% | 8.4% |
| 10 | 0.01 | 1 | 0.5% | 7.7% | 19.7% | 33.4% |
| 10 | 0.01 | 2 | 18.2% | 19.9% | 36.5% | 57.0% |
| 10 | 0.01 | 4 | 34.7% | 40.6% | 56.0% | 71.3% |
| 10 | 0.01 | 12 | 44.1% | 51.7% | 65.8% | 80.7% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 7.3% | 24.1% | 59.6% |
| 10 | 0.025 | 1 | 2.6% | 25.4% | 56.7% | 81.9% |
| 10 | 0.025 | 2 | 27.9% | 52.6% | 78.6% | 94.4% |
| 10 | 0.025 | 4 | 41.7% | 63.4% | 86.1% | 97.5% |
| 10 | 0.025 | 12 | 50.0% | 72.5% | 92.3% | 99.6% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 25.7% | 76.4% | 97.5% |
| 10 | 0.05 | 1 | 10.0% | 61.1% | 92.2% | 99.5% |
| 10 | 0.05 | 2 | 40.9% | 80.3% | 98.0% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 4 | 53.3% | 86.9% | 99.5% | 100.0% |
| 10 | 0.05 | 12 | 59.9% | 91.1% | 99.8% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.2% | 2.8% | 6.6% |
| 30 | 0.01 | 1 | 1.4% | 6.0% | 13.3% | 24.6% |
| 30 | 0.01 | 2 | 12.4% | 12.6% | 22.5% | 41.1% |
| 30 | 0.01 | 4 | 29.7% | 32.2% | 44.7% | 63.3% |
| 30 | 0.01 | 12 | 40.4% | 46.9% | 62.8% | 77.3% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 4.6% | 16.7% | 41.4% |
| 30 | 0.025 | 1 | 3.3% | 17.3% | 43.3% | 70.5% |
| 30 | 0.025 | 2 | 19.2% | 38.8% | 70.3% | 91.2% |
| 30 | 0.025 | 4 | 35.3% | 57.2% | 82.1% | 96.4% |
| 30 | 0.025 | 12 | 46.7% | 68.7% | 90.5% | 99.1% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 16.4% | 56.8% | 89.9% |
| 30 | 0.05 | 1 | 7.0% | 46.9% | 85.7% | 98.0% |
| 30 | 0.05 | 2 | 30.9% | 72.2% | 96.3% | 99.9% |
| 30 | 0.05 | 4 | 46.1% | 82.8% | 99.0% | 100.0% |
| 30 | 0.05 | 12 | 57.0% | 90.5% | 99.8% | 100.0% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 1.7% | 3.4% | 5.8% |
| 50 | 0.01 | 1 | 2.0% | 4.9% | 9.8% | 17.3% |
| 50 | 0.01 | 2 | 9.4% | 9.4% | 15.1% | 26.7% |
| 50 | 0.01 | 4 | 22.5% | 22.9% | 32.1% | 49.0% |
| 50 | 0.01 | 12 | 36.2% | 40.5% | 54.9% | 71.6% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 4.0% | 11.4% | 26.3% |
| 50 | 0.025 | 1 | 3.0% | 12.0% | 29.4% | 52.9% |
| 50 | 0.025 | 2 | 12.9% | 25.2% | 52.3% | 79.4% |
| 50 | 0.025 | 4 | 27.7% | 44.6% | 73.2% | 92.5% |
| 50 | 0.025 | 12 | 42.1% | 63.4% | 87.2% | 98.6% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.2% | 37.4% | 68.6% |
| 50 | 0.05 | 1 | 5.5% | 30.3% | 67.8% | 91.2% |
| 50 | 0.05 | 2 | 20.8% | 54.4% | 89.7% | 99.3% |
| 50 | 0.05 | 4 | 36.7% | 73.9% | 96.9% | 99.9% |
| 50 | 0.05 | 12 | 50.6% | 87.0% | 99.5% | 100.0% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.3.2.**

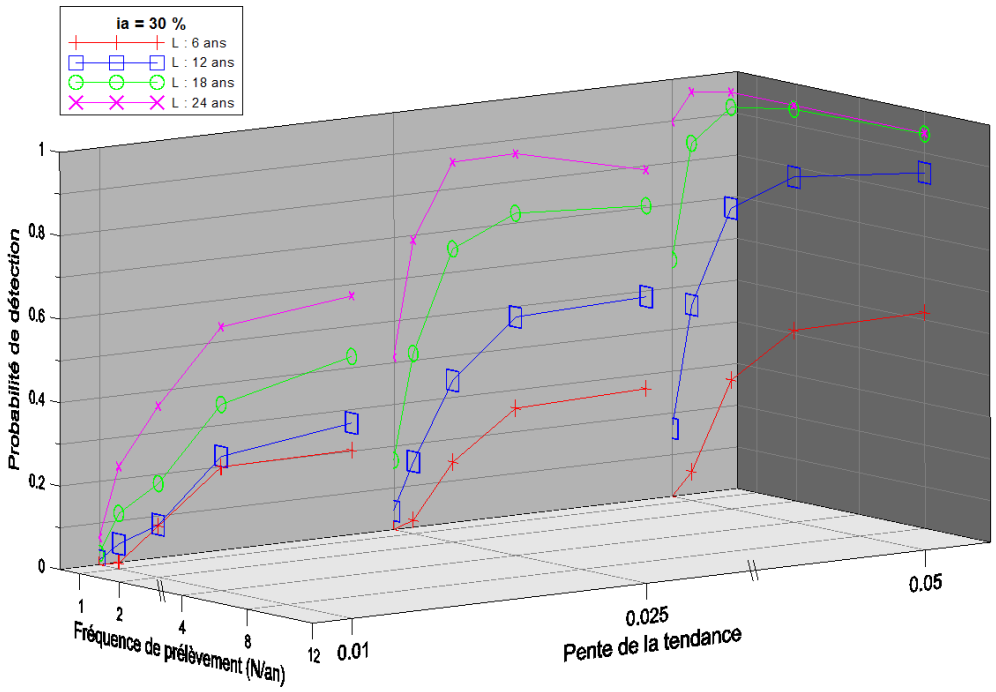
a) Incertitude analytique = 2,5 %



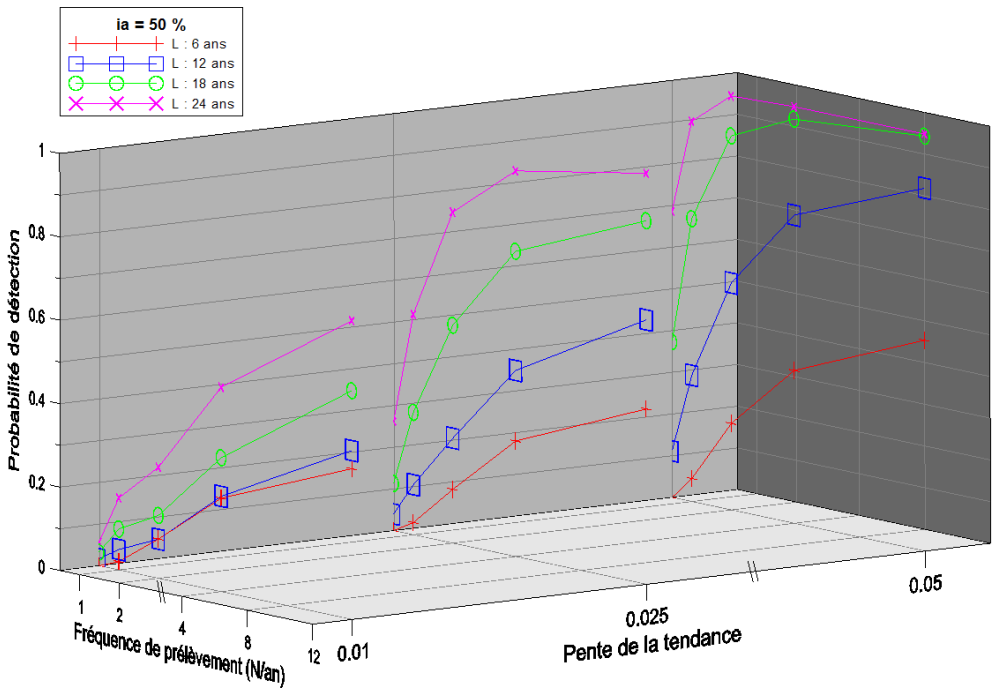

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



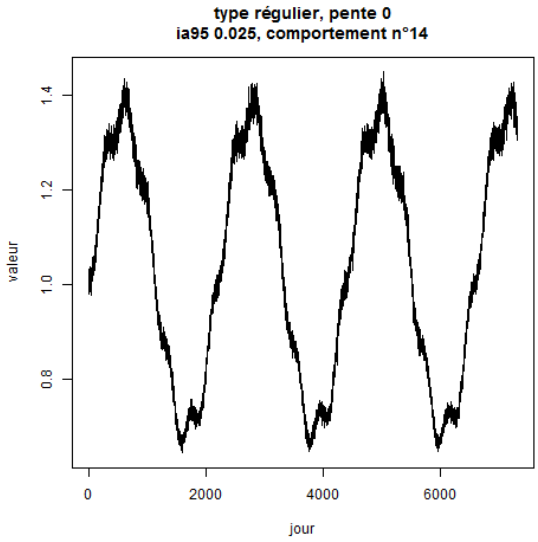
# Annexe 16

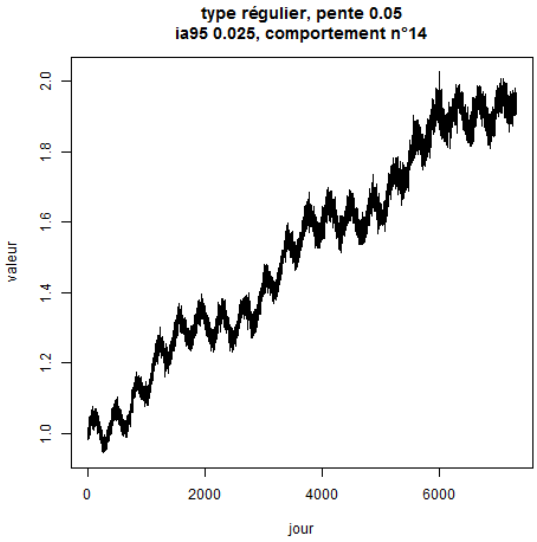
# Comportement 4.3.3 : Double cycles annuel et pluriannuel

2 Cycles 6 ans + 1 an

Poids du cycle 6 ans / 1an = 0,9

Variance = 0,5.

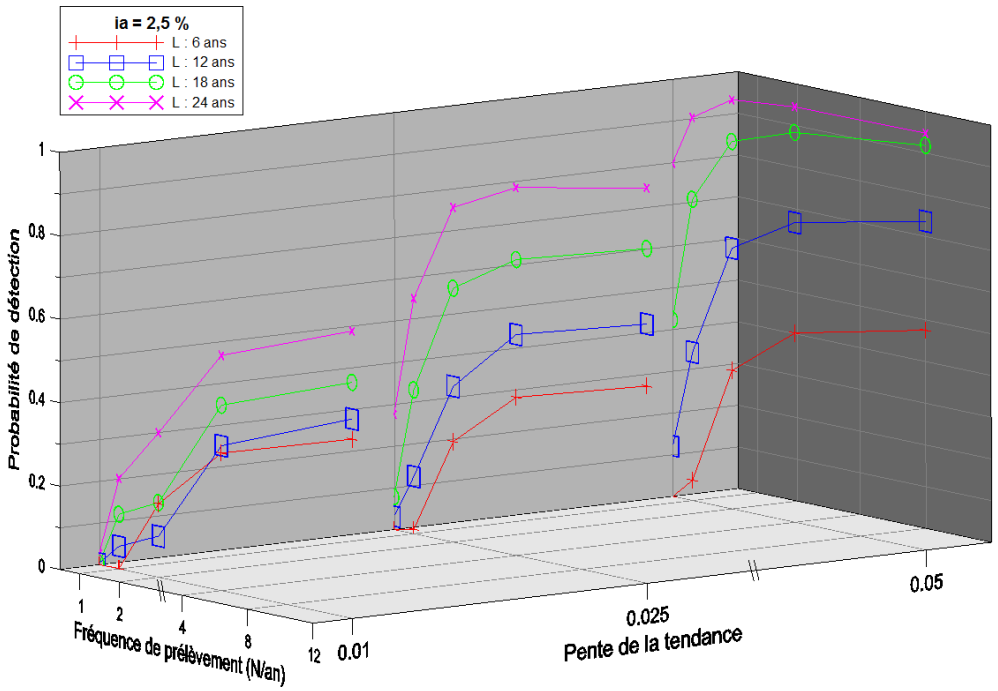


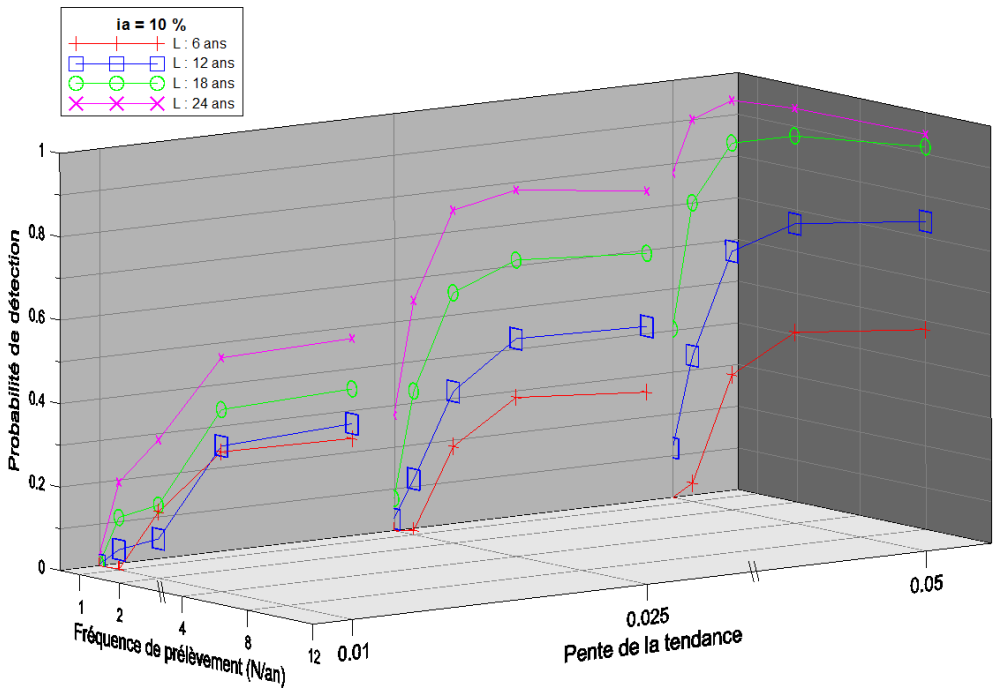
| ia (%) | Pente | Fréquences (n/an) | L 6 ans | L 12 ans | L 18 ans | L 24 ans |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 2.5 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.5% | 0.4% | 2.8% |
| 2.5 | 0.01 | 1 | 0.1% | 5.5% | 13.1% | 21.7% |
| 2.5 | 0.01 | 2 | 17.6% | 9.9% | 17.9% | 34.7% |
| 2.5 | 0.01 | 4 | 33.0% | 34.8% | 44.5% | 56.4% |
| 2.5 | 0.01 | 12 | 43.0% | 47.8% | 56.6% | 68.9% |
| 2.5 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 3.3% | 7.9% | 27.7% |
| 2.5 | 0.025 | 1 | 1.1% | 13.8% | 34.5% | 56.5% |
| 2.5 | 0.025 | 2 | 24.2% | 37.4% | 60.9% | 80.3% |
| 2.5 | 0.025 | 4 | 38.0% | 53.0% | 71.0% | 88.2% |
| 2.5 | 0.025 | 12 | 47.3% | 62.2% | 80.3% | 94.9% |
| 2.5 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 12.2% | 42.5% | 80.0% |
| 2.5 | 0.05 | 1 | 4.9% | 35.6% | 72.2% | 91.9% |
| 2.5 | 0.05 | 2 | 33.2% | 62.6% | 88.1% | 98.1% |
| 2.5 | 0.05 | 4 | 45.4% | 71.9% | 93.5% | 99.6% |
| 2.5 | 0.05 | 12 | 52.7% | 78.8% | 97.0% | 100.0% |
| 10 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.4% | 0.4% | 2.7% |
| 10 | 0.01 | 1 | 0.2% | 4.9% | 12.6% | 21.0% |
| 10 | 0.01 | 2 | 16.0% | 9.5% | 17.6% | 33.2% |
| 10 | 0.01 | 4 | 33.6% | 34.9% | 43.7% | 56.1% |
| 10 | 0.01 | 12 | 43.4% | 46.9% | 55.3% | 67.4% |
| 10 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 2.9% | 7.7% | 27.7% |
| 10 | 0.025 | 1 | 1.1% | 13.4% | 34.5% | 56.2% |
| 10 | 0.025 | 2 | 23.2% | 36.4% | 60.1% | 79.8% |
| 10 | 0.025 | 4 | 38.2% | 52.3% | 71.1% | 87.9% |
| 10 | 0.025 | 12 | 46.1% | 61.9% | 79.4% | 94.3% |
| 10 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 11.9% | 40.5% | 77.9% |
| 10 | 0.05 | 1 | 4.5% | 35.0% | 71.7% | 91.7% |
| 10 | 0.05 | 2 | 32.4% | 62.0% | 88.0% | 98.2% |
| 10 | 0.05 | 4 | 45.8% | 71.8% | 92.9% | 99.5% |
| 10 | 0.05 | 12 | 53.1% | 79.0% | 96.9% | 100.0% |
| 30 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.4% | 0.9% | 2.6% |
| 30 | 0.01 | 1 | 0.9% | 4.6% | 10.2% | 19.0% |
| 30 | 0.01 | 2 | 13.7% | 8.6% | 13.1% | 24.7% |
| 30 | 0.01 | 4 | 31.0% | 29.7% | 36.6% | 49.3% |
| 30 | 0.01 | 12 | 41.3% | 43.4% | 53.2% | 65.1% |
| 30 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 1.9% | 6.9% | 20.4% |
| 30 | 0.025 | 1 | 1.3% | 11.0% | 29.0% | 49.3% |
| 30 | 0.025 | 2 | 18.7% | 27.7% | 51.8% | 75.0% |
| 30 | 0.025 | 4 | 35.1% | 47.1% | 67.3% | 85.0% |
| 30 | 0.025 | 12 | 44.9% | 58.7% | 77.9% | 92.8% |
| 30 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 8.2% | 32.4% | 68.1% |
| 30 | 0.05 | 1 | 3.5% | 29.0% | 64.6% | 88.7% |
| 30 | 0.05 | 2 | 26.8% | 56.1% | 85.2% | 97.6% |
| 30 | 0.05 | 4 | 41.6% | 68.3% | 91.7% | 99.3% |
| 30 | 0.05 | 12 | 50.5% | 77.4% | 95.9% | 99.9% |
| 50 | 0.01 | 0.5 | 0.0% | 0.9% | 1.4% | 2.9% |
| 50 | 0.01 | 1 | 1.5% | 4.2% | 8.1% | 14.2% |
| 50 | 0.01 | 2 | 11.1% | 7.9% | 10.7% | 17.6% |
| 50 | 0.01 | 4 | 26.2% | 23.7% | 28.6% | 39.4% |
| 50 | 0.01 | 12 | 37.9% | 40.7% | 49.6% | 61.5% |
| 50 | 0.025 | 0.5 | 0.0% | 2.1% | 6.4% | 15.3% |
| 50 | 0.025 | 1 | 1.9% | 9.2% | 21.8% | 38.5% |
| 50 | 0.025 | 2 | 14.1% | 20.4% | 39.8% | 64.2% |
| 50 | 0.025 | 4 | 30.3% | 39.4% | 59.6% | 80.8% |
| 50 | 0.025 | 12 | 42.2% | 56.3% | 75.5% | 91.0% |
| 50 | 0.05 | 0.5 | 0.0% | 6.3% | 23.1% | 51.6% |
| 50 | 0.05 | 1 | 3.7% | 21.5% | 51.4% | 78.9% |
| 50 | 0.05 | 2 | 20.3% | 44.4% | 77.6% | 94.7% |
| 50 | 0.05 | 4 | 36.8% | 62.0% | 88.4% | 98.6% |
| 50 | 0.05 | 12 | 48.1% | 75.6% | 95.4% | 99.9% |

**Probabilités de détection des tendances pour les chroniques issues du comportement 4.3.3.**

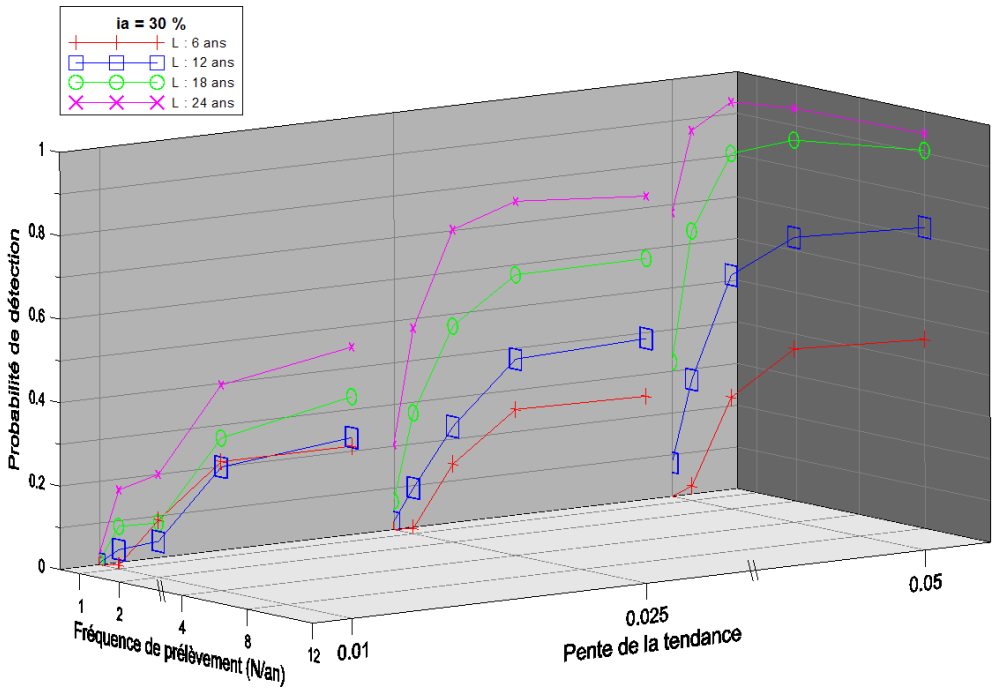
a) Incertitude analytique = 2,5 %



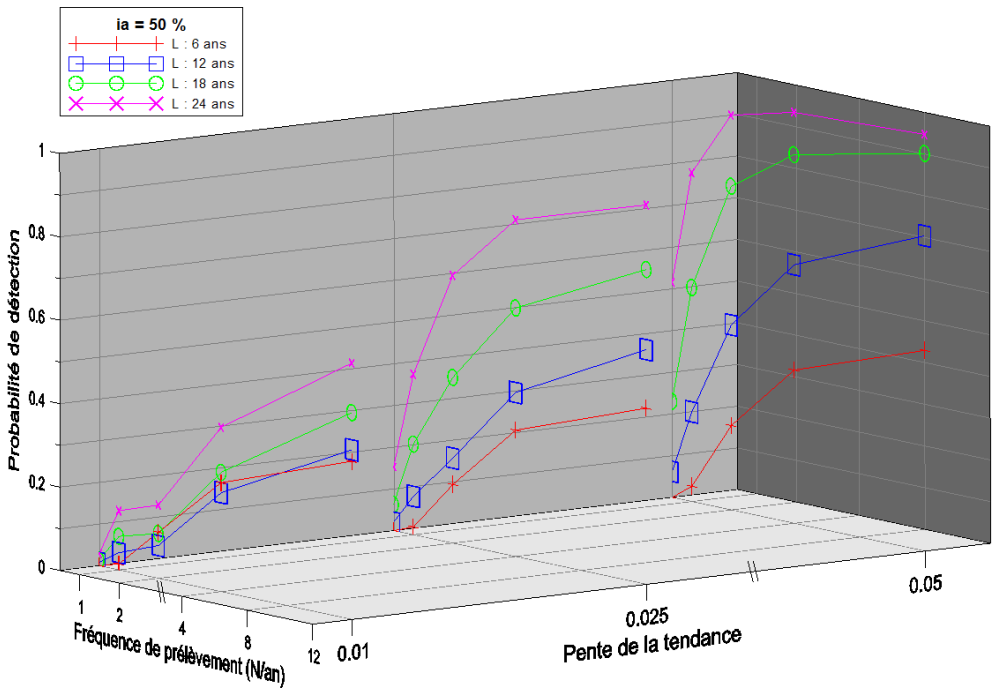

b) Incertitude analytique = 10 %



c) Incertitude analytique = 30 %




d) Incertitude analytique = 50 %



Onema
Hall C – Le Nadar
5, square Félix Nadar

94300 Vincennes
01 45 14 36 00
www.onema.fr

BRGM
DRP/RIC
3 avenue Claude Guillemin
BP 36009
45060 Orléans Cedex 2
O2 38 64 34 34
**www.brgm.fr**

**Centre scientifique et technique**
**DIRECTION EAU ENVIRONNEMENT ET ECOTECHNOLOGIES**
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34
**www.brgm.fr**