Reconnaissance de formes d'onde radar en écoute passive navale 2022 4 mois et demi

Léonard BAESEN
Cyrille ENDERLI
DMS Direction technique

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie,

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

Sommaire

1. Contexte du stage

- Présentation du stagiaire
- Présentation rapide du stage (titre, tuteur, attendus)

2. Présentation technique du stage

- Notions techniques nécessaires (contexte industriel, contexte technique,…)
- Réalisations
- Reste à faire

3. Conclusion

- Intérêt du stage
- Ouverture sur le futur

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET
THALES
Building a future we can all trust

Contexte de stage

1.1 «Self-présentation»

- Ecol e

  -ESILV Master Data Science & IA

  -EMLV Master Finances

- Année d'étude / Age

  - Entrée en M2 / 21 ans

- Attendus vis-à-vis du stage

  -Développer les connaissances sur les radars

  -Compétences (traitement de signal, apprentissage, analyse de résultats)

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Contexte de stage

1.2. Présentation du stage

- Titre, tuteur, service…

  -Reconnaissance de formes d'onde radar en écoute passive navale
  -Tuteur : Cyrille Enderli
  -Service : DMS Direction technique

- Durée (+dates)

  - Du 11 avril au 31 août 2022 -> 4 mois et demi

- Attendus du stage

  -Étude des seuils de détection
  -Reconnaissance de motifs temps, fréquence

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie,

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Présentation technique du stage

2. Présentation technique du stage

- Présentation libre traitant des points suivants :
  - -Notions techniques nécessaires (contexte industriel, contexte technique,…)
  - -Réalisations
  - -Reste à faire

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Contexte

Travaux complémentaires au POC (Proof of Concept) Seri (Single Emitter Recognition Identification)

- Étude des seuils de détection : limiter impact du bruit sur la reconnaissance du motif
- Reconnaissancede motifs : ensemble d'impulsions correspondantes
- Apprentissagedes motifs : détermination période de répétition (PRA)
- Testsur données réelles

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie,

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

Mission 1/2

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

Déterminer la relation entre le seuil de classification et la PFA

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Étude des seuils de détection

Approximation de la densité de probabilité du score

-

H0: Absence d'une cible

-H1: Présence d'une cible

$$H_0(t_n) \sim P(\lambda)$$
$$H_1(t_n) \sim P(\lambda) \oplus M$$

$P(\lambda)$ suit une loi de Poisson définie par le paramètre λ

M correspond au motif

$$score = \sum_{n=1}^{N} G(t_n)$$

Avec $\mathbf{G(t)} = \frac{1}{(k\sigma\sqrt{2\pi})} \sum_{k=1}^{K} e^{\frac{-(t-m_k)^2}{2*\sigma 2}}$

On doit montrer que G(tn) est supposé gaussien N(μ,τ^2)

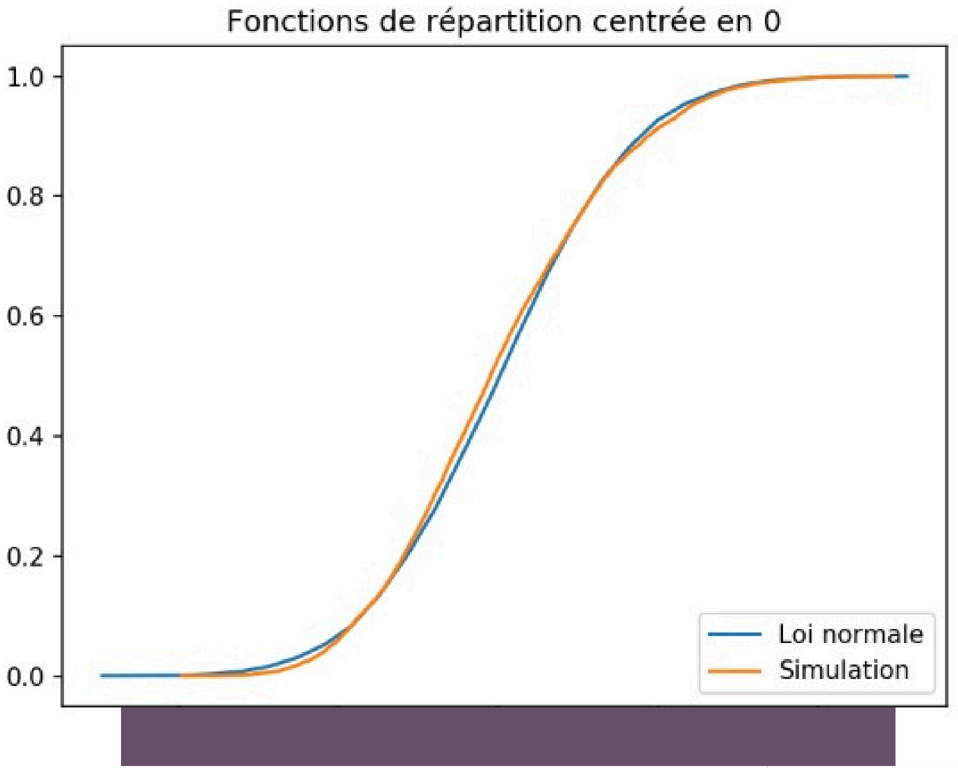
Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

Comparaison graphique



Simulation réalisée sur le motif 105_0

□ 10 000 réalisations de processus de Poisson.

D'après les observations effectuées les

résultats présentent une forte ressemblance qui est de plus en plus évidente lorsque le nombre de valeurs d'entrée augmente.
Ces simulations sont longues (~4 jours python)
Par conséquent, nous pouvons dire que G(t) est supposée gaussienne.

La moyenne et variance obtenues permettent d'établir un seuil.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

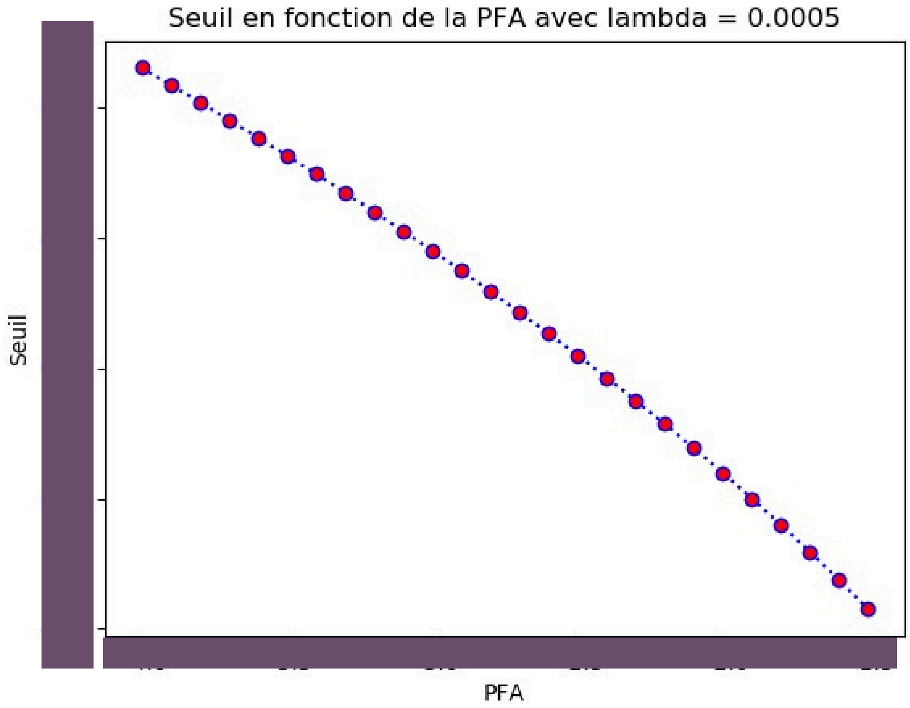
THALES
Building a future we can all trust

Résultats

Seuil en fonction de la PFA

- $\gamma = \sqrt{\frac{2}{N}}\, erfc^{-1}\,(2PFA)\sigma$

- Avec :
  - -γ: Score
  - -Erfc: fonction erreur complémentaire
  - -Sigma σ
  - -N : nombre de réalisations de Poisson
  - -PFA : Probabilité Fausse Alarme



Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie,

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Conclusion

- Validation de l'hypothèse Gaussienne sur le score

- Validation modèle de Poisson pour l'hypothèse H0 (absence de cible)

- Permet de confirmer les valeurs fixées arbitrairement aujourd'hui et préciser les liens entre seuil et PFA

- Ce travail peut être utilisé pour calculer la Probabilité de détection des motifs

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Reconnaissance de motif dans les données réelles

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Reconnaissance de motif dans les données

Données

- Exploitation d'enregistrement de durée ~60 minutes

Les étapes

- Choix d'un motif à la main et extraction de quelques lobes
- Implémentation fonction d'apprentissage
- Utilisation de l'algorithme pour évaluer le score de match du motif appris sur l 'enregistrement
- Isolement et suppression des impulsions correspondantes
- Répéter les étapes

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

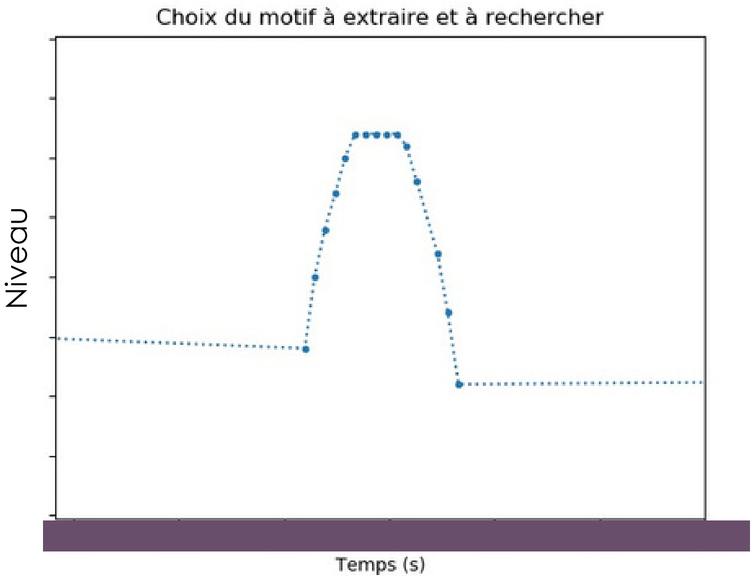
OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

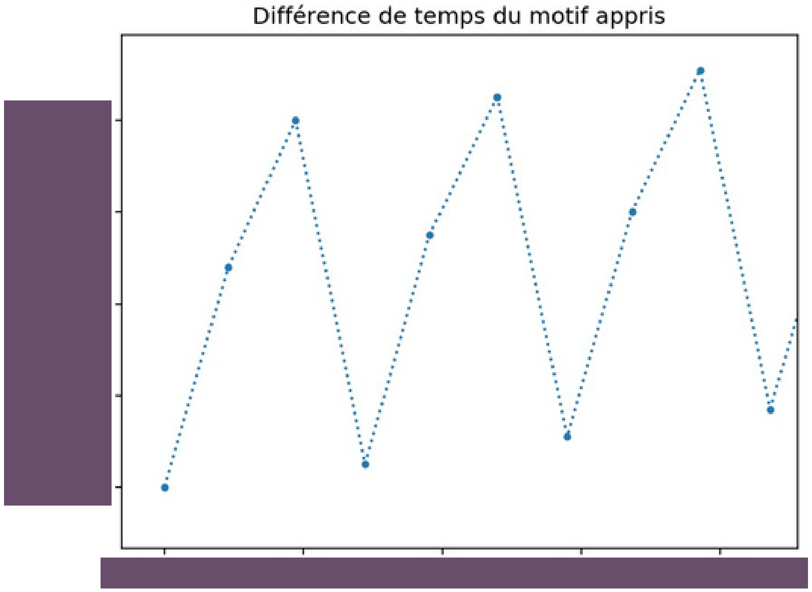
THALES
Building a future we can all trust

Démarche

Extraction du motif / Recherche des matchingpulses

- Choix du motif à extraire
- 49 lobes retournés avec seuil de matching> 0.12





Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

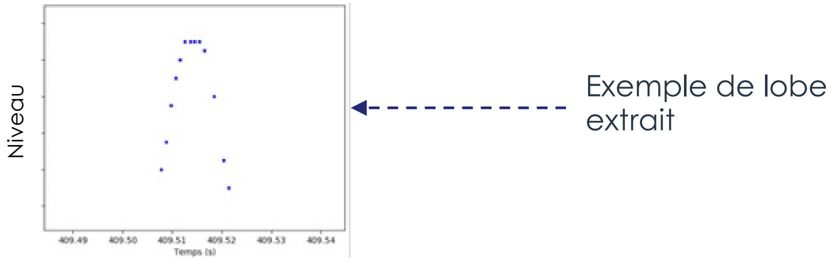
Démarche

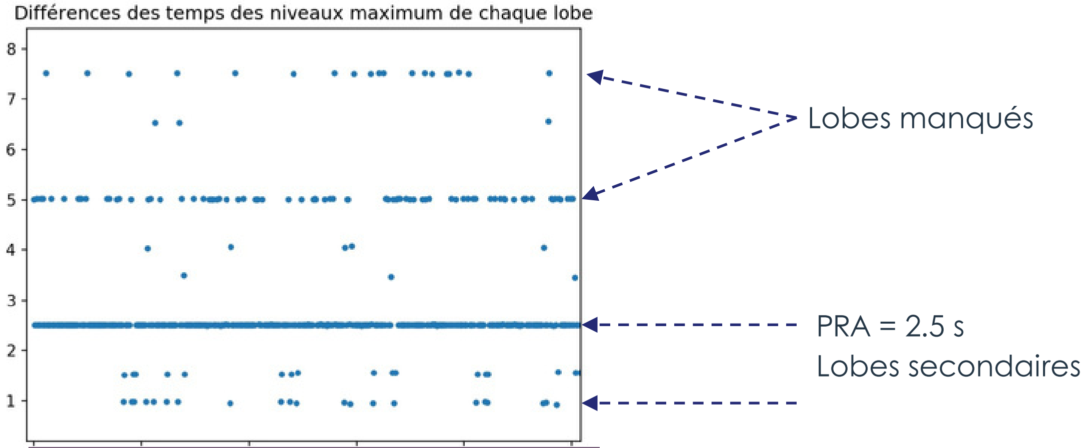
Recherche d'impulsions correspondantes au motif appris dans l'enregistrement

- Statistiques matching:
  -8658 impulsions correspondantes
  -1021 lobes extraits

- Vérification : par le DTPL
  -Validation des résultats

- Itération de la démarche





Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

3. Conclusion

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie,

- Présentation libre traitant les points suivants :

- Intérêt du stage
  - Trouver le seuil qui permet de déterminer si une classification de signal reçu est considérée bonne ou non
  - Reconnaissance de motifs et apprentissage

-Apports du stage
  - Apprendre sur les radars
  - Traitement de signal
  - Progression en Python

-Ouverture sur le futur

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

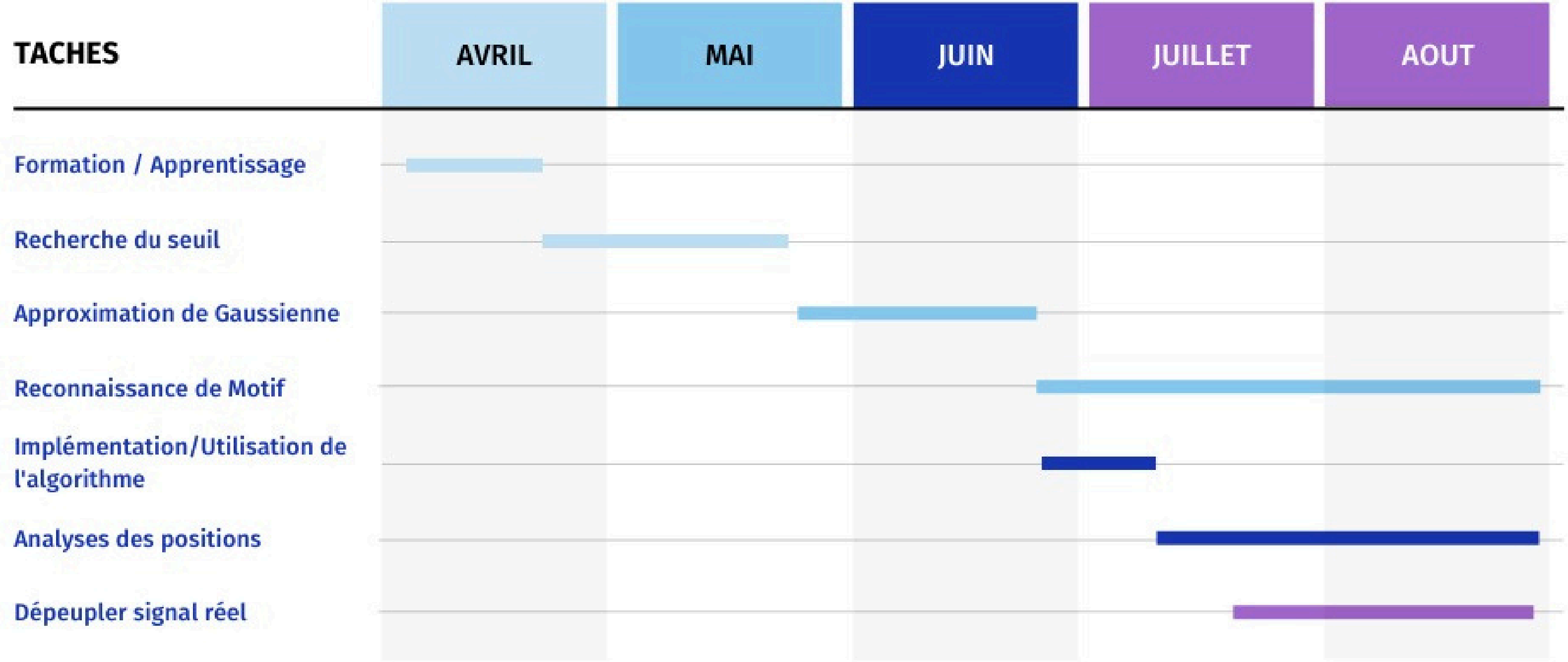
Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

Annexes

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Planning



Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

Simulation

Processus de Poisson

Génération des données à partir d'un processus de Poisson:

Les intervalles des temps d'arrivée sont exponentiellement distribués.

Python fournit la fonction qui permet de générer de façon exponentiellement distribué des nombres aléatoires avec random.expovariate() qui prend comme paramètres le nombre d'arrivées par seconde, ici je prends l'inverse de lambda.

La plupart du temps les radars fournissent 2000 impulsions par seconde. Je simule ici les n premiers évènements.

```python
def poissons(n,lam):
    nums=[]
    for i in range(n):
        temp = random.expovariate(1/lam)
        nums.append(temp)

    return nums
```

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

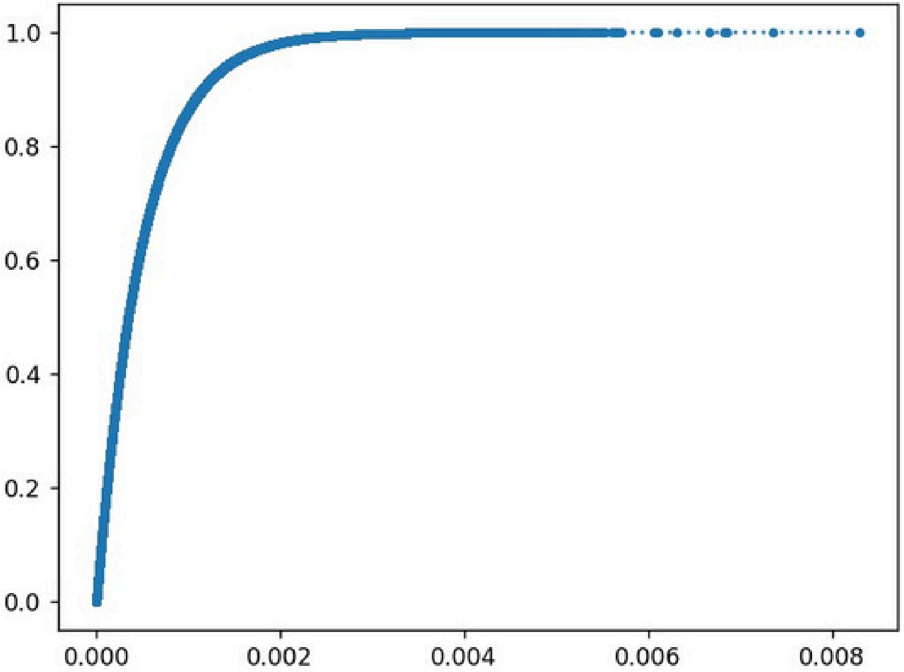
Simulation

Génération des données de Poisson

On prend:

n = 1000000

lam = 0.0005



Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Approximation de G(t)

Recherche de G(t ; δ)

Avec :

δ= ti –mk, i = 1,…Npoisson

k = 1,…Nmotif

On a donc :

$$G(t-\delta) = \frac{1}{(k\sigma\sqrt{2\pi})} \sum_{k=1}^{K} e^{\frac{-(t-ti+mk)^2}{2*\sigma^2}}$$

On plot $G(t-\delta) = \sigma K_{k=1} e^{\frac{-(t-ti+m_k)^2}{2*\sigma 2}}$

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Recherche de seuil avec la PFA (Probabilité de Fausse Alarme)

Expression de la PFA

Je cherche P

$_{FA}$ (Probabilité Fausse Alarme) qui vaut:

$$P_{FA} = PH(1 \quad |H_0) = f(\lambda, \gamma)$$

λ paramètre de la loi de Poisson

γ seuil

La P_{FA} est l'intégrale, au-delà du seuil, de la loi de densité de probabilité

$$P_{FA} = f(\lambda, \gamma)$$

On a prouvé dans la slide 9 que l'expression de la fausse alarme G suivait une loi gaussienne

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Recherche de seuil avec la PFA (Probabilité de Fausse Alarme)

Expression de la PFA en fonction du seuil

Soit

$$P(Tk|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t_k^2}{2\sigma^2}}$$

$$PFA = \int_{\gamma}^{+\infty} P(Tk|H_0)\, dTk = \int_{\gamma}^{+\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{t_k^2}{2\sigma^2}}\, dt_k$$

En posant le changement de variable avec $x = \frac{t_k}{\sqrt{2}\sigma}$

Et la fonction d'erreur complémentaire $erfc(x) = \int_{x}^{+\infty} e^{-t^2}\, dt$

$$PFA = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{\frac{\gamma}{\sqrt{2}\sigma}}^{+\infty} e^{-x^2}\, dx = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{N}{2}} \frac{\gamma}{\sigma}\right)$$

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Recherche de seuil avec la PFA (Probabilité de Fausse Alarme)

Expression du seuil en fonction de la PFA

$$PFA = \frac{1}{2} erfc\left(\sqrt{\frac{N}{2}}\frac{\gamma}{\sigma}\right)$$

On exprime le seuil γ en fonction de la PFA:

$$\gamma = \sqrt{\frac{2}{N}}\, erfc^{-1}(2PFA)\,\sigma$$

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Fonction qui calcule le score (seuil)

$$\gamma = \sqrt{\frac{2}{N}}\, erfc^{-1}(2PFA)\sigma$$

On prend en entrée N, sigma et PFA

```
def score_calculation(N,sig,PFA):
    score = (math.sqrt(2/N))*(special.erfcinv(2*PFA))*sig
    return score
```

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Étude des seuils de détection / reconnaissance de motifs

Approximation de la densité de probabilité du score

Soit :

- Une loi de Poissonet ses temps d'arrivée t
- un motif donnéet ses impulsionsmk(temps d'arrivée)

Fonction G(t) mélange de k lois normales centrées sur mk, k=1,..,K :

$$score = \sum_{n=1}^{N} G(t_n)$$

Avec $$\mathbf{G(t)} = \frac{1}{(k\sigma\sqrt{2\pi})} \sum_{k=1}^{K} e^{\frac{-(t-m_k)^2}{2*\sigma^2}}$$

On doit montrer que G(tn) est supposé gaussien N(μ,τ^2)

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES-©2021 THALES. Tous Droits réservés.

OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust

Simulation

Fonction qui permet de plot les seuils en fonction de la PFA

Ce document ne peut être reproduit, modifié, adapté, publié, traduit, d'une quelconque façon, en tout ou partie, ni divulgué à un tiers sans l'accord préalable et écrit de THALES. ©2021 THALES. Tous Droits réservés.

Hypothèse loi gaussienne : vérifiée graphiquement

Fonction qui permet de plot les seuils pour ce motif avec les différentes valeurs pour la PFA

```python
def plot_score_motif():
    solution = 1-result
    df = pd.DataFrame(solution)
    N = np.sum(df, axis=0)
    f_vec = np.vectorize(score_calculation)

    #PFA_rates = 10.**(np.arange((-1.5),-4.1,-0.1))
    PFA_rates = 10.**(np.linspace((-1.5),-4.1,52))
    #10E-4 -3.9 jusque -3.5
    PFA_reverse = list(reversed(PFA_rates))
    score_liste=[]
    for v in PFA_reverse:
        for j in N:
            score = f_vec(j,np.sqrt(var),v)
            score_liste.append(score)


    plt.plot(np.log10(np.array(PFA_reverse)), score_liste, color='blue', linestyle='dotted', marker='.', markerfacecolor='red',
    plt.xlabel('PFA')
    plt.ylabel('Seuil')
    plt.title('Seuil en fonction de la PFA')
    plt.show()
```


OPEN
THALES GROUP LIMITED DISTRIBUTION
THALES GROUP CONFIDENTIAL
THALES GROUP SECRET

THALES
Building a future we can all trust