

ENSIIE

RAPPORT PROJET DE MODÉLISATION STATISTIQUE

---

# **Sujet : Modèle de Rupture pour la loi de Weibull**

---

Imane ALLA

Imad BOUHOUC

Houda BERRADA

Ghada BEN SAID

Jing Zhuo HUI

Basma KRIMI

Nisrine MOUMMOU

Fatima Ezzahrae MALKI

Aimé ROUSSET

Mame Diarra TOURE

*Enseignant :*

M. GHORBANZADEH

11/04/2020

20 avril 2020

## Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
1.1	Contexte . . . . .	4
1.2	Objectif . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Méthodes d'estimation</b>	<b>5</b>
2.1	Methode 1 : Le maximum de vraisemblance . . . . .	5
2.1.1	Etude théorique . . . . .	5
2.1.2	Implémentation . . . . .	7
2.2	Méthode 2 : Méthode analytique . . . . .	8
2.2.1	Etude théorique . . . . .	8
2.2.2	Implémentation . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Implémentation et test des deux méthodes</b>	<b>14</b>
3.1	Data de test tirée de [1] . . . . .	14
3.2	Resultat methode Methode 1 . . . . .	14
3.3	Resultat methode Methode 2 . . . . .	15
<b>4</b>	<b>Recherche supplémentaire (méthode non implémentée)</b>	<b>15</b>

<b>5 Applications aux données du CAC 40</b>	<b>17</b>
5.1 Récapitulatif des résultats . . . . .	17
5.2 Analyse des résultats . . . . .	19
5.2.1 LVMH Moet Hennessy - Louis Vuitton, Societe Europeenne (MC.PA) . . . . .	19
5.2.2 L'Oreal SA (OR.PA) . . . . .	20
5.2.3 SANOFI (SAN.PA) . . . . .	21
5.2.4 TOTAL S.A. (FPPA) . . . . .	22
5.2.5 Hermès (RMS.PA) . . . . .	23
5.2.6 Kering SA (KER.PA) . . . . .	24
5.2.7 Air Liquide (AL.PA) . . . . .	25
5.2.8 Airbus SE (AIR.PA) . . . . .	26
5.2.9 Schneider Electric ( SU.PA) . . . . .	27
5.2.10 EssilorLuxottica (EL.PA) . . . . .	28
5.2.11 VINCI SA (DG.PA) . . . . .	29
5.2.12 Danone S.A. (BN.PA) . . . . .	30
5.2.13 AXA (CS.PA) . . . . .	31
5.2.14 Pernod Ricard SA (RI.PA) . . . . .	32
5.2.15 BNP Paribas SA (BNP.PA) . . . . .	33
5.2.16 Dassault Systemes (DSY.PA) . . . . .	34
5.2.17 Safran SA (SAF.PA) . . . . .	35
5.2.18 Orange S.A (ORA.PA) . . . . .	36
5.2.19 Vivendi SA (VIV.PA) . . . . .	37
5.2.20 ENGIE SA (ENGI.PA) . . . . .	38
5.2.21 STMicroelectronics N.V (STM.PA) . . . . .	39

5.2.22 Credit Agricole S.A (ACA.PA) . . . . .	40
5.2.23 Thales S.A (HO.PA) . . . . .	41
5.2.24 Legrand SA (LR.PA) . . . . .	42
5.2.25 Compagnie Generale des Etablissements Michelin Societe en commandite par actions (ML.PA) . . . . .	43
5.2.26 Capgemini (CAP.PA) . . . . .	45
5.2.27 Societe Generale Societe anonyme (GLE.PA) . . . . .	46
5.2.28 Peugeot S.A. (UG.PA) . . . . .	47
5.2.29 Bouygues SA (EN.PA) . . . . .	48
5.2.30 Carrefour SA (CA.PA) . . . . .	49
5.2.31 Worldline S.A. (WLN.PA) . . . . .	50
5.2.32 Renault (RNO.PA) . . . . .	51
5.2.33 Atos SE (ATO.PA) . . . . .	52
5.2.34 PUBLICIS (PUB.PA) . . . . .	53
5.2.35 Accor SA (AC.PA) . . . . .	54
5.2.36 Unibail-Rodamco-Westfield (URW.PA) . . . . .	55
5.2.37 ArcelorMittal (MT.PA) . . . . .	57
5.2.38 Sodexo S.A (SW.PA) . . . . .	58
5.2.39 Veolia VIE.PA . . . . .	59

## 6 Conclusion

60

# 1 Introduction

## 1.1 Contexte

La détection de ruptures est un sujet connexe à d'autres problèmes classiques du traitement du signal, de l'information ou de la statistique, parmi lesquels on peut citer la détection d'anomalies en général, les tests d'homogénéité, l'ajustement de courbe ou encore le débruitage. La détection de ruptures elle-même correspond à plusieurs problèmes : détecter les changements dans les caractéristiques du signal et les localiser pour pouvoir ensuite analyser individuellement les segments de la série temporelle. Les informations qui en sont extraites permettent de faire de la classification, sélectionner un modèle ou proposer un diagnostic.

## 1.2 Objectif

Ce projet consiste en la détection de ruptures sur les données du CAC 40. En effet, en analyse statistique, le problème de détection de ruptures est un problème de régression ayant pour but d'estimer les instants où une série présente des changements dans la distribution. Dans ce projet nous allons trouver cet instant pour chaque action du CAC 40.

On désigne la loi de Weibull  $W(a, b)$  par :

**Densité :**

$$f(x) = \frac{bx^{b-1}}{a^b} \exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right) \quad (1)$$

**Fonction de Répartition :**

$$F(x, a, b) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x}{a}\right)^b\right) \quad (2)$$

Dans ce travail, on désigne par  $X_t$  la valeur ajustée de l'action à la clôture "Adj\_Close".

On s'intéresse au comportement de :

$$Y_t = \log\left(1 + \frac{X_t}{X_{t-1}}\right) \quad (3)$$

et nous considérons le modèle suivant :

$$\begin{cases} Y_t \sim W(a_1, b_1) si & t \leq k \\ Y_t \sim W(a_2, b_2) si & t > k \end{cases} \quad (4)$$

où  $a_1, b_1, k, a_2, b_2$  sont les inconnus que l'on souhaite estimer. Pour ce faire deux méthodes sont proposées.

## 2 Méthodes d'estimation

### 2.1 Methode 1 : Le maximum de vraisemblance

#### 2.1.1 Etude théorique

Pour estimer les paramètres de la loi de Weibull nous allons utiliser la méthode du maximum de vraisemblance.

Soient  $(X_1, \dots, X_n)$  un vecteur de taille  $n$  suivant la loi de Weibull  $W(a, b)$ .

La log-vraisemblance est définie par :

$$\log l(a, b) = n \log(b) - nb \log(a) + (b-1) \sum_{i=1}^n \log(x_i) - \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{a}\right)^b \quad (5)$$

L'estimateur de maximum de vraisemblance de  $(a, b)$  est la solution du système suivant : [2]

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} l(a, b) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} l(a, b) = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} a = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^b\right)^{\frac{1}{b}} \\ \frac{1}{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^b \log(x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^b} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(x_i) \end{cases} \quad (6)$$

**Remarques :**

- Remarquons qu'il n'existe pas de formule fermée pour les estimateurs. Nous maximisons donc directement la log-vraisemblance en utilisant la fonction minimize du sous module "optimize" du module Scipy.
- On applique la méthode expliquée ci-dessus pour estimer les 4 paramètres  $(a_1, b_1, a_2, b_2)$ .

Dans le problème de détection de ruptures, le paramètre "k" est un paramètre discret, en conséquence, on ne peut pas procéder comme dans les cas classiques (à savoir calculer une dérivée en ce point). Pour cela, on procède comme suit :

pour chaque  $k \in \{4, \dots, n-4\}$  on construit une logvraisemblance :

$$\left\{ \begin{array}{ll} k = 4 : & \log l(a_1, b_1, a_2, b_2, 4) = \sum_{i=1}^4 \log(f_1(y_i, a_1, b_1)) + \sum_{i=4+1}^n \log(f_2(y_i, a_2, b_2)) \\ k = 5 : & \log l(a_1, b_1, a_2, b_2, 5) = \sum_{i=1}^5 \log(f_1(y_i, a_1, b_1)) + \sum_{i=5+1}^n \log(f_2(y_i, a_2, b_2)) \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ k = n-4 : & \log l(a_1, b_1, a_2, b_2, n-4) = \sum_{i=1}^{n-4} \log(f_1(y_i, a_1, b_1)) + \sum_{i=n-4+1}^n \log(f_2(y_i, a_2, b_2)) \end{array} \right. \quad (7)$$

Avec :  $f_1$  et  $f_2$  les densités associées aux equations (4) respectivement.

Pour chaque k, on maximise la vraisemblance correspondante, ce qui va nous fournir  $(\widehat{a}_1, \widehat{b}_1, \widehat{a}_2, \widehat{b}_2)$ , les estimateurs de  $(a_1, b_1, a_2, b_2)$ . L'estimateur de k s'obtient par :

$$\widehat{k} = \underset{k}{\operatorname{argmax}} \quad \log l(a_1, b_1, a_2, b_2, k) \quad (8)$$

### 2.1.2 Implémentation

La fonction ci-dessous définit la Log vraisemblance de la loi de Weibull de paramètres  $(a_1, b_1)$ .

```
1 def log_vraisemblance_weibull(data,parametre):
2     b1 =parametre[0]
3     a1 = parametre[1]
4     n = len(data)
5     T1 =n*np.log(b1) - b1*n*np.log(a1)
6     term11 =sum(np.log(np.array(data)))*(b1-1)
7     term21 =sum((np.array(data)/a1)**b1)
8     s1 = T1 + term11 - term21
9     return -s1
```

code 1 – Log Vraisemblance Weibull

La fonction ci-dessous prend en paramètre la rupture et applique la Log vraisemblance précédente sur deux lois de Weibull de paramètres  $(a_1, b_1, a_2, b_2)$ .

```
1 def log_vraisemblance(data,k,parametre):
2     s1=log_vraisemblance_weibull(data[:k],parametre[:2])
3     s2=log_vraisemblance_weibull(data[k:],parametre[2:])
4     return s1+s2
```

code 2 – Log Vraisemblance Weibull

Le code python suivant est la fonction qui estime le moment de rupture ainsi que les quatre paramètres en fonction des données.

```
1 def estimateur(data):
2     n = len(data)
3     x0 = [1,1,1,1]
4     k = 0
```



```

5 m=np.infty
6 for i in tqdm(range(4, n-4)):
7     optim =minimize(lambda x: log_vraisemblance(data, i, x), x0, method="nelder-mead",
8                     tol=1e-10)
9     a = log_vraisemblance(data,i,optim.x)
10    if a<m:
11        m =a
12        k = i
13    optim1 =minimize(lambda x: log_vraisemblance_weibull(data[:k], x), x0[:2],
14                    method="nelder-mead", tol=1e-10)
15    optim2 =minimize(lambda x: log_vraisemblance_weibull(data[k:], x), x0[2:],
16                    method="nelder-mead", tol=1e-10)
17    param1={"a1": optim1.x[1],"b1": optim1.x[0],"a2":optim2.x[1],"b2": optim2.x[0], "k*": k}
18    return param1

```

code 3 – Estimation des parametres

## 2.2 Méthode 2 : Méthode analytique

### 2.2.1 Etude théorique

Le problème se présente comme suit :

Soit  $X_i$  la valeur ajustée d'une action à la clôture. Nous émettons l'hypothèse que

$$Y_i = \log\left(1 + \frac{X_i}{X_{i-1}}\right) \sim \begin{cases} W(a_1, b_1) & \text{si } i \leq k \\ W(a_2, b_2) & \text{si } i > k \end{cases} \quad (9)$$

Nous cherchons à déterminer les paramètres  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $a_2$ ,  $b_2$  et  $k$ .

En nous appuyant sur le document [1], on introduit la variable  $Z_i$  définie de sorte à obtenir une relation linéaire entre  $Z$  et  $h(Y)$  avec  $h$  une fonction connue.

Pour cela, nous allons utiliser la fonction de répartition de Y qui suit une loi de Weibull.

On a :

$$\left\{ \begin{array}{l} F(y) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{y}{a}\right)^b\right) \\ \iff \\ 1 - F(y) = \exp\left(-\left(\frac{y}{a}\right)^b\right) \\ \iff \\ \log(1 - F(y)) = -\left(\frac{y}{a}\right)^b \\ \iff \\ \log(1 - F(y)) = -\left(\frac{y}{a}\right)^b \\ \iff \\ \log(-\log(1 - F(y))) = b\log(y) - b\log(a) \end{array} \right. \quad (10)$$

Donc en prenant :  $Z = \log(-\log(1 - F(y)))$ , Z peut s'écrire sous la forme suivante :

$$Z = Ah(Y) + B \quad \text{avec} \quad A = b \quad \text{et} \quad B = -b\log(a). \quad (11)$$

Etant donné que la distribution de Y change au cours du temps on a

$$Z_i = \left\{ \begin{array}{ll} A_1 \log(Y_i) + B_1 & \text{si } i \leq k \\ A_2 \log(Y_i) + B_2 & \text{si } i > k \end{array} \right. \quad (12)$$

Pour générer le vecteur Z, nous avons besoin de la fonction de répartition qui sera approximée par le rang median d'après la formule de Bernard [3]

$$\left\{ \begin{array}{ll} F(y_i) = MR_1(i) & \text{si } i \leq k \\ F(y_i) = MR_2(i) & \text{si } i > k \end{array} \right. \quad (13)$$

avec

$$\left\{ \begin{array}{ll} MR_1(i) = \frac{(i-0.3)}{k_0+0.4} & i \in \{1, \dots, k_0\} \\ MR_2(i) = \frac{(i-0.3)}{n-k_0+0.4} & i \in \{k_0 + 1, \dots, n\} \end{array} \right. \quad (14)$$

Z devient donc :

$$Z_i = \begin{cases} = \log(-\log(1 - \text{MR1}(i))) \simeq A_1 \log(Y_i) + B_1 & \text{si } i \leq k \\ = \log(-\log(1 - \text{MR2}(i))) \simeq A_2 \log(Y_i) + B_2 & \text{si } i > k \end{cases} \quad (15)$$

Ainsi , d'après [1] nous savons que les estimateurs des paramètres  $A_1$  ,  $B_1$ ,  $A_2$ ,  $B_2$  sont obtenus en minimisant la somme des erreurs quadratique entre Z et son approximation lineaire.

Posons :

$$D(k_0) = \sum_{i=1}^{k_0} (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1)^2 + \sum_{i=k_0+1}^n (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_2)^2. \quad (16)$$

Pour minimiser cette fonction par rapport aux paramètres  $A_1$  ,  $B_1$ ,  $A_2$ ,  $B_2$ , nous allons calculer les différentes dérivées partielles.

$$\begin{cases} \frac{\partial D}{\partial A_1} = \sum_{i=1}^{k_0} -2 \log(Y_i) (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1) \\ \frac{\partial D}{\partial B_1} = \sum_{i=1}^{k_0} -2 (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1) \end{cases} \quad (17)$$

On annule les dérivées et on obtient le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{k_0} \log(Y_i) (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1) = 0 \\ \sum_{i=1}^{k_0} -2 (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^{k_0} \log(Y_i) (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1) = 0 \\ B_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k_0} (Z_i - A_1 \log(Y_i))}{k_0} \end{cases} \quad (19)$$

$$\begin{cases} \hat{A}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k_0} (Y_{k_0}^- - Y_i) \log(Y_i)}{\frac{\sum_{i=1}^{k_0} \log(Y_i)}{k_0} \sum_{i=1}^{k_0} \log(Y_i) - \sum_{i=1}^{k_0} \log(Y_i)^2} \\ \hat{B}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k_0} (Z_i - A_1 \log(Y_i))}{k_0} \end{cases} \quad (20)$$

Par le meme procédé, on obtient l'estimateur de  $A_2$  et  $B_2$  en faisant un changement de variable :

$$\begin{cases} \hat{A}_2 = \frac{\sum_{i=k_0+1}^n (\tilde{Y}_{k_0}^* - Y_i) \log(Y_i)}{\frac{\sum_{i=k_0+1}^n \log(Y_i)}{n-k_0} \sum_{i=k_0+1}^n \log(Y_i) - \sum_{i=k_0+1}^n \log(Y_i)^2} \\ \hat{B}_2 = \frac{\sum_{i=k_0+1}^n (Z_i - A_1 \log(Y_i))}{n-k_0} \end{cases} \quad (21)$$

Une fois les paramètres  $A_1, B_1, A_2, B_2$  trouvés, par les relations  $A_i = b_i$  et  $B_i = -b_i \log(a_i)$  on determine les estimateurs des paramètres  $a_i$  et  $b_i$  de nos lois de Weibull.

Enfin, l'instant de rupture  $k$  est donné par

$$k^* = \arg \min_{k_0} D(k_0) = \sum_{i=1}^{k_0} (Z_i - A_1 \log(Y_i) + B_1)^2 + \sum_{i=k_0+1}^n (Z_i - A_2 \log(Y_i) + B_2)^2 \quad (22)$$

$k$  étant discret pour trouver l'argmin, nous allons procéder de la même manière que dans la méthode 1, c'est à dire en calculant tous les  $D(k_0)$  pour  $k$  appartenant à  $\{4, \dots, n-4\}$ .

### 2.2.2 Implémentation

La fonction ci-dessous estime  $\hat{A}_1, \hat{B}_1, \hat{A}_2, \hat{B}_2$ .

```

1 def estimationAB(X):
2     n=len(X)
3     hbar=np.zeros(n)
4     Ybar=np.zeros(n)
5     hbar_etoile=np.zeros(n)
6     Ybar_etoile=np.zeros(n)
7     A1_chap_nom=np.zeros(n)
8     A2_chap_nom=np.zeros(n)
9     A1_chap_denom=np.zeros(n)
10    A2_chap_denom=np.zeros(n)
11    A1_chap=np.zeros(n)
```

```

12 A2_chap=np.zeros(n)
13 B1_chap=np.zeros(n)
14 B2_chap=np.zeros(n)
15 for k0 in range(4,n-4):
16     Y=F(k0,n)
17     hbar[k0]=(1/k0)*sum(np.log(np.array(sorted(X[:k0]))))
18     Ybar[k0]=(1/k0)*sum(Y[:k0])
19     hbar_etoile[k0]=(1/(n-k0))*sum(np.log(np.array(sorted(X[k0:]))))
20     Ybar_etoile[k0]=(1/(n-k0))*sum(np.array(Y[k0:]))
21     #estimation des A1 B1 A2 B2
22     #estimation A1
23     A1_chap_nom[k0]=sum((np.log(np.array(sorted(X[:k0])))-hbar[k0])*
24         (np.array(Y[:k0])-np.array(Ybar[k0])))
25     A1_chap_denom[k0]=sum((np.log(np.array(sorted(X[:k0])))-hbar[k0])**2)
26     A1_chap[k0]=A1_chap_nom[k0]/A1_chap_denom[k0]
27     #estimation B1
28     B1_chap[k0]=Ybar[k0]-A1_chap[k0]*hbar[k0]
29     #estimation A2
30     A2_chap_nom[k0]=sum((np.log(np.array(sorted(X[k0:])))-hbar_etoile[k0])*
31         (np.array(Y[k0:])-np.array(Ybar_etoile[k0])))
32     A2_chap_denom[k0]=sum((np.log(sorted(X[k0:]))-hbar_etoile[k0])**2)
33     A2_chap[k0]=A2_chap_nom[k0]/A2_chap_denom[k0]
34     #estimation B2
35     B2_chap[k0]=Ybar_etoile[k0]-A2_chap[k0]*hbar_etoile[k0]
36 result=[A1_chap,B1_chap,A2_chap,B2_chap]
37 return result

```

code 4 – Estimation de A et B

Le code python suivant est la fonction qui estime le moment de rupture ainsi que les quatre paramètres en fonction des données  $(a_1, b_1, a_2, b_2)$  .

```
1 def estimation_abk(X):
2     [A1t,B1t,A2t,B2t]=estimationAB(X)
3     k=Calcul_K_Etoile(B1t,A1t,B2t,A2t,X)
4     [A1,B1,A2,B2]=estimation_finaleAB(X)
5     param1={"a1": math.exp(-B1/A1),"b1": A1,"a2": math.exp(-B2/A2),"b2": A2, "k*": k}
6     return param1
```

code 5 – Estimation des 5 paramètres

Le code python suivant calcule le  $K^*$ .

```
1 def Calcul_K_Etoile(B1,A1,B2,A2,X):
2     n=len(X)
3     D=np.zeros(n-8) #Pour avoir un vecteur D de la bonne taille
4     for i in range(4,n-4):
5         Y=F(i,n)
6         D[i-4]=Calcul_D(i,n,Calcul_Vect_E(i,n,B1[i],A1[i],B2[i],A2[i],Y,X))
7
8     k_etoile=np.argmin(D)+4
9     return k_etoile
```

code 6 – Calcul de  $K^*$

### 3 Implémentation et test des deux méthodes

#### 3.1 Data de test tirée de [1]

Pour tester nous avons repris le vecteur  $X$  de l'article [1] qui est composé de deux lois de weibull : Weibull(6,3) et Weibull (10,9) avec un instant de rupture de 13.

$i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_i$	5.66	4.78	5.49	6.30	4.69	7.29	4.02	5.01	5.59	3.79
$i$	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$X_i$	5.48	5.48	6.37	8.94	8.81	11.09	8.17	9.86	10.31	9.72
$i$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$X_i$	10.12	9.66	9.89	10.40	10.01	8.47	7.14	10.30	11.20	10.44

Table 4: Illustrative data.

FIGURE 1 – Data de test Weibull(6,3) et Weibull (10,9)

#### 3.2 Resultat methode Methode 1

##### Test de methode log\_vraisemblance avec données dans papier change weibull

```
In [23]: 1 estimateur(myX)
         2
```

100%  22/22 [00:01<00:00, 21.92it/s]

```
Out[23]: {'a1': 5.770345823995239,
          'b1': 6.295665986406711,
          'a2': 10.114161395675657,
          'b2': 11.998723201215167,
          'k*': 13}
```

FIGURE 2 – Resultat de l'estimation par la methode 1

### 3.3 Resultat methode Methode 2

#### Test de methode analytique avec données dans papier change weibull

```
In [14]: 1 myX=np.array([5.66 , 4.78 , 5.49 , 6.30 , 4.69 ,
2                7.29 , 4.02 , 5.01 , 5.59 , 3.79 ,
3                5.48 , 5.48 , 6.37 , 8.94 , 8.81 ,
4                11.09 , 8.17 , 9.86 , 10.31 , 9.72 ,
5                10.12 , 9.66 , 9.89 , 10.40 , 10.01,
6                8.47 , 7.14 , 10.30 , 11.20 , 10.44])
7
8
9
10 estimation_abk(myX)

Out[14]: {'a1': 5.780123489415348,
          'b1': 6.154549967170994,
          'a2': 10.163006246696888,
          'b2': 9.825842919819664,
          'k*': 13}
```

FIGURE 3 – Resultat de l'estimation par la methode 2

Les résultats obtenus sont en accord avec ceux obtenus dans l'article [1]. Ce qui nous conforte dans l'idée que notre implémentation est bien correcte.

## 4 Recherche supplémentaire (méthode non implémentée)

Comme nous l'avons vu dans la partie sur l'étude de la log-vraisemblance du modèle, il n'existe pas de formule fermée pour les paramètres de la loi de Weibull. Ainsi en nous inspirant de l'article [2], nous avons également étudié une approche géométrique au problème d'estimation. En reprenant le système (6) nous avons

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial a} l(a, b) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} l(a, b) = 0 \end{cases} \iff \begin{cases} a = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^b \right)^{\frac{1}{b}} \\ \frac{1}{b} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i^b \log(x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^b} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log(x_i) \end{cases} \quad (23)$$

Notons  $H(b, x)$  la partie droite de l'égalité précédente. Il est montré, notamment à l'aide de l'inégalité de cauchy schwarz que  $H$  est une fonction monotone croissante en  $b$  avec une limite finie positive



lorsque  $b \rightarrow \infty$ . De même du côté gauche de l'égalité nous avons la fonction  $\frac{1}{b}$  qui est strictement décroissante et qui tend vers 0 en  $\infty$ . Il en découle que la fonction H et la fonction  $\frac{1}{b}$  ne se rencontrent qu'en un seul point qui correspond au maximum de vraisemblance pour le paramètre b. Une fois que nous avons b il est alors possible de calculer a.

Ainsi en traçant les courbes représentatives des deux fonctions nous avons une méthode graphique simple afin d'obtenir les paramètres de notre modèle.

## 5 Applications aux données du CAC 40

Dans cette partie, on applique les 2 méthodes présentées précédemment aux données de CAC 40. Une analyse des résultats des méthodes appliquées sur chaque action est faite par la suite. Les données financières ont été récupérées à partir de Yahoo Finance du 01 Juin 2017 au jour actuel.

### Version CAC40 :

La fonction suivante représente le code python utilisé pour la récupération des données. On a eu recours aux modules pandas et datetime.

```
1 import datetime
2 import pandas_datareader.data as web
3 start=datetime.datetime(2017,6,1)
4 end=datetime.datetime.today(
5 Donnees=web.DataReader(x,'yahoo',start,end)['Adj Close'].dropna() # x symbole de l'action
```

code 7 – Module Yahoo Finance

### 5.1 Récapitulatif des résultats

Les tableaux ci-dessous regroupent les estimateurs que l'on a pu obtenir à partir de la méthode du log-vraisemblance et de la méthode analytique :

#### Méthode Log-Vraisemblance :

	ML.PA	SGO.PA	CAP.PA	GLE.PA	UG.PA	EN.PA	CA.PA	WLN.PA
a1	0.695999	0.696266	0.696944	0.696530	0.696820	0.696532	0.695632	0.698466
b1	115.670067	92.287782	74.375067	89.802877	96.393540	90.547985	105.885898	65.122319
a2	0.698423	0.703741	0.707695	0.701482	0.699058	0.703869	0.698244	0.712009
b2	48.915654	24.212716	24.187542	20.016590	41.203459	22.625160	49.011014	17.805942
k*	351.000000	706.000000	710.000000	700.000000	291.000000	694.000000	294.000000	710.000000

	SU.PA	EL.PA	DG.PA	BN.PA	CS.PA	RI.PA	BNP.PA	DSY.PA
a1	0.696587	0.696230	0.696067	0.695562	0.695488	0.695537	0.696340	0.697251
b1	90.237029	105.445874	122.568362	138.218645	142.982292	154.696050	101.529752	68.231729
a2	0.702414	0.700655	0.706657	0.701743	0.703196	0.696849	0.696947	0.708689
b2	30.302526	32.293782	23.315991	44.342410	20.581026	82.564865	27.587232	24.130292
k*	695.000000	697.000000	701.000000	706.000000	706.000000	391.000000	697.000000	710.000000

	SAF.PA	ORA.PA	VIV.PA	ENGI.PA	STM.PA	ACA.PA	HO.PA	LR.PA
a1	0.696905	0.695301	0.696615	0.696155	0.699309	0.696667	0.696308	0.695903
b1	86.633091	144.021665	87.835272	116.868425	52.548361	86.834476	81.038616	96.099409
a2	0.714692	0.699784	0.700040	0.695803	0.709775	0.697983	0.700930	0.705501
b2	13.074215	36.507678	37.779941	36.344500	23.005610	25.507976	29.398105	22.618589
k*	710.000000	690.000000	706.000000	697.000000	710.000000	700.000000	699.000000	710.000000

FIGURE 4 – Estimateurs Méthode Log-Vraisemblance

## Méthode Analytique :

	ML.PA	SGO.PA	CAP.PA	GLE.PA	UG.PA	EN.PA	CA.PA	WLN.PA
a1	0.695808	0.696047	0.696730	0.696240	0.697436	0.696553	0.696691	0.698153
b1	140.496993	123.322428	109.002149	112.322386	92.286888	113.592471	103.959852	85.696797
a2	0.698382	0.706639	0.707208	0.705655	0.704101	0.708205	0.704352	0.713848
b2	74.613306	23.432607	26.336052	18.693697	22.621797	21.316275	33.372191	21.601812
k*	351.000000	708.000000	710.000000	707.000000	707.000000	710.000000	710.000000	712.000000

	SU.PA	EL.PA	DG.PA	BN.PA	CS.PA	RI.PA	BNP.PA	DSY.PA
a1	0.696441	0.696093	0.695923	0.695529	0.695551	0.695803	0.696003	0.697040
b1	132.821540	130.000990	150.858493	163.017830	162.735073	157.273716	127.850139	109.997833
a2	0.702273	0.707673	0.708978	0.703592	0.703377	0.701290	0.700973	0.709427
b2	34.510291	33.639474	20.795215	44.673540	24.497082	49.036457	24.829590	28.144947
k*	695.000000	714.000000	707.000000	710.000000	707.000000	710.000000	707.000000	712.000000

	SAF.PA	ORA.PA	VIV.PA	ENGI.PA	STM.PA	ACA.PA	HO.PA	LR.PA
a1	0.696650	0.695180	0.696351	0.695994	0.699126	0.696328	0.696124	0.695784
b1	120.963160	188.940398	127.632189	148.385382	69.985608	119.040462	125.950688	153.062950
a2	0.715929	0.701951	0.703962	0.697423	0.710749	0.703760	0.706115	0.707183
b2	13.066058	40.130279	34.851482	30.733749	22.994106	22.257015	28.656108	26.374818
k*	710.000000	704.000000	708.000000	704.000000	708.000000	707.000000	712.000000	710.000000

FIGURE 5 – Estimateurs Méthode Analytique

## 5.2 Analyse des résultats

### 5.2.1 LVMH Moët Hennessy - Louis Vuitton, Societe Europeenne (MC.PA)

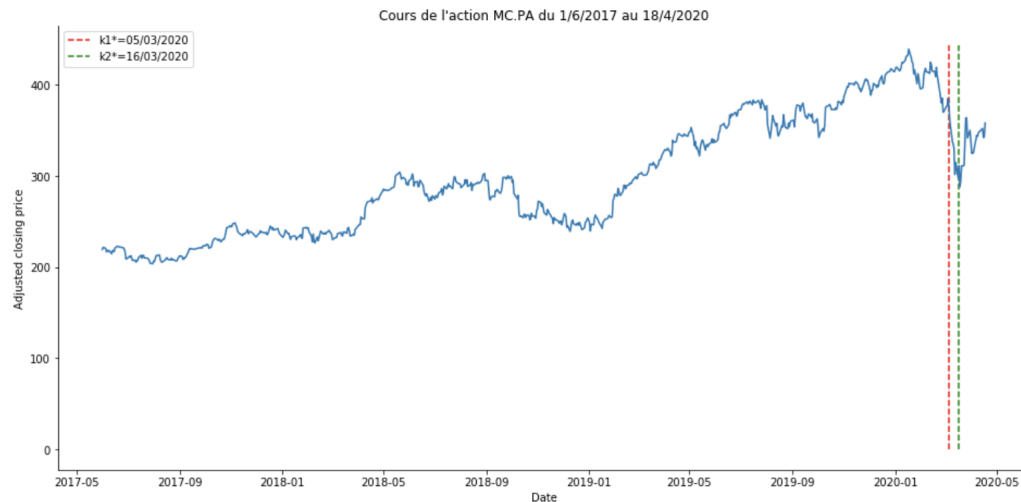


FIGURE 6 – Cours de l'action MC.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-05

Par la méthode Analytique : 2020-03-16

Concernant l'instant de rupture nous pouvons voir sur le tracé ci dessus que la première rupture à la date du 05 mars 2020, correspond à une chute de l'action qui pourrait s'expliquer par ( mettre ici l'explication). La deuxième à la date du 16 mars correspond quant à elle à une hausse cours de l'action qui pourrait s'expliquer par ( ajouter ici l'explication).

### 5.2.2 L'Oreal SA (OR.PA)

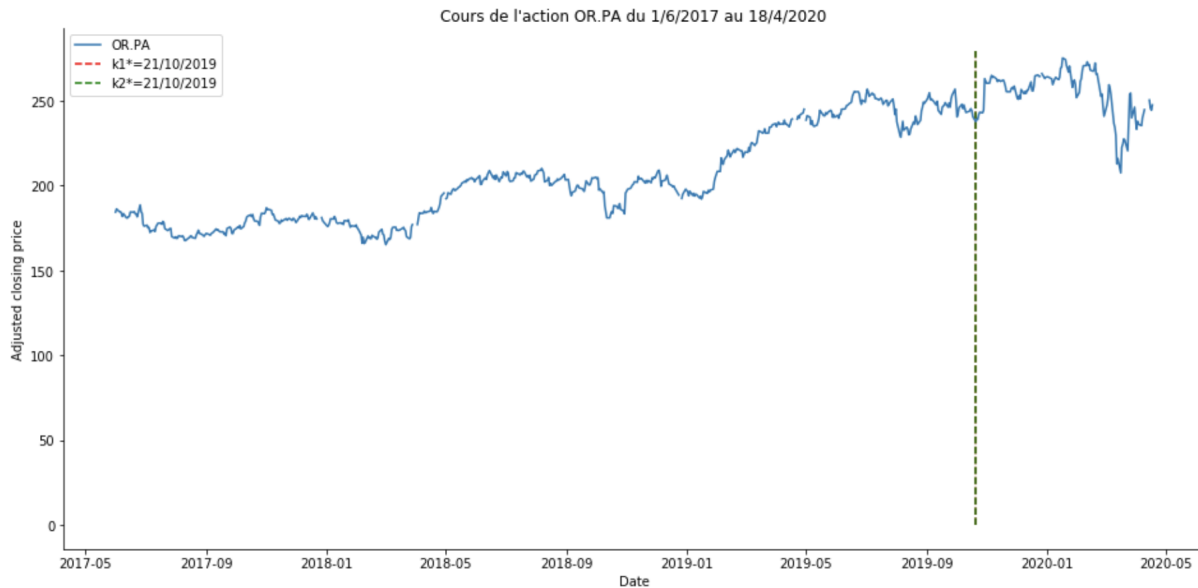


FIGURE 7 – Cours de l'action OR.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2019-10-21

Par la méthode Analytique : 2019-10-21

Les deux méthodes obtiennent le même temps de rupture du 2019-10-21, car l'Oréal a annoncé le 21 octobre 2019 qu'il rachètera les deux marques au groupe français de cosmétiques Clarins. On en conclut qu'il y a un changement le 21 octobre.

### 5.2.3 SANOFI (SAN.PA)

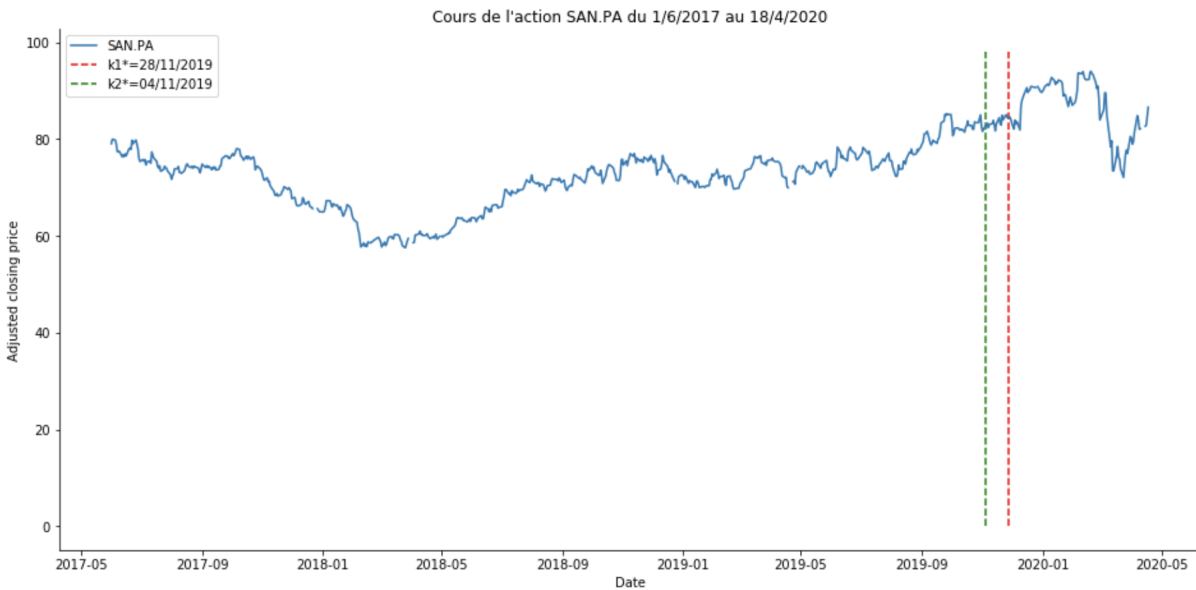


FIGURE 8 – Cours de l'action SAN.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2019-11-28

Par la méthode Analytique : 2019-11-04

Les deux méthodes renvoient des dates différentes par rapport à la situation réelle. En effet SANOFI est en plus forte hausse du CAC 40 à la mi-séance du jeudi 21 novembre 2019, période qui se trouve dans la durée de notre estimation.

#### 5.2.4 TOTAL S.A. (FP.PA)

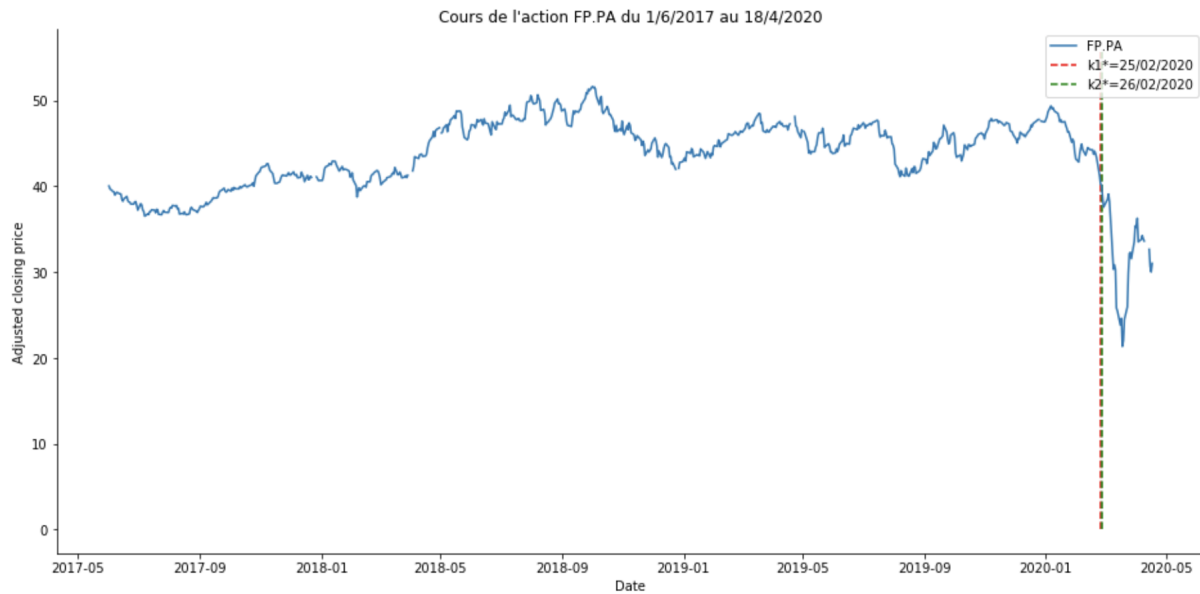


FIGURE 9 – Cours de l'action de FPPA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-25

Par la méthode Analytique : 2020-02-26

Les date obtenues par les deux méthodes sont presque les mêmes (25/02/2020 et 26/02/2020). En observant la période, on peut s'apercevoir que le Covid-19 a apporté des changements aux actions.

### 5.2.5 Hermès (RMS.PA)

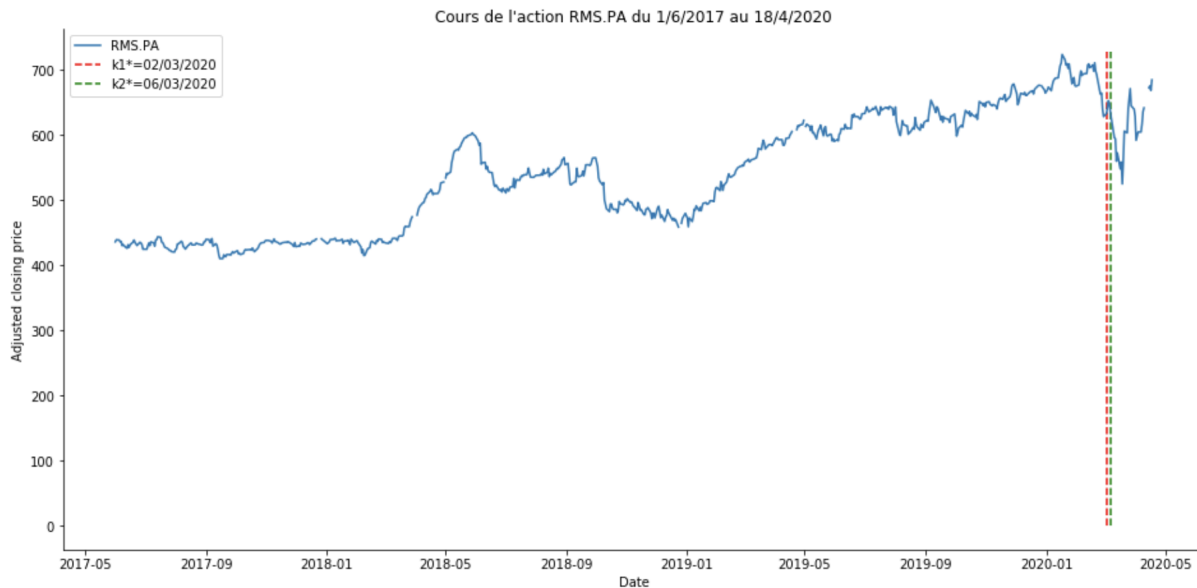


FIGURE 10 – Cours de l'action de Hermès

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-02

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

La méthode 1 renvoie 2020-03-02. Il y a effectivement un petit saut par rapport à la méthode 2 qui nous renvoie 2020-03-06 qui correspond à une forte baisse de l'action. On peut voir que les actions sont influencées par le Covid-19. En raison de l'impact de l'épidémie, Hermès a fermé 42 usines.



### 5.2.6 Kering SA (KER.PA)

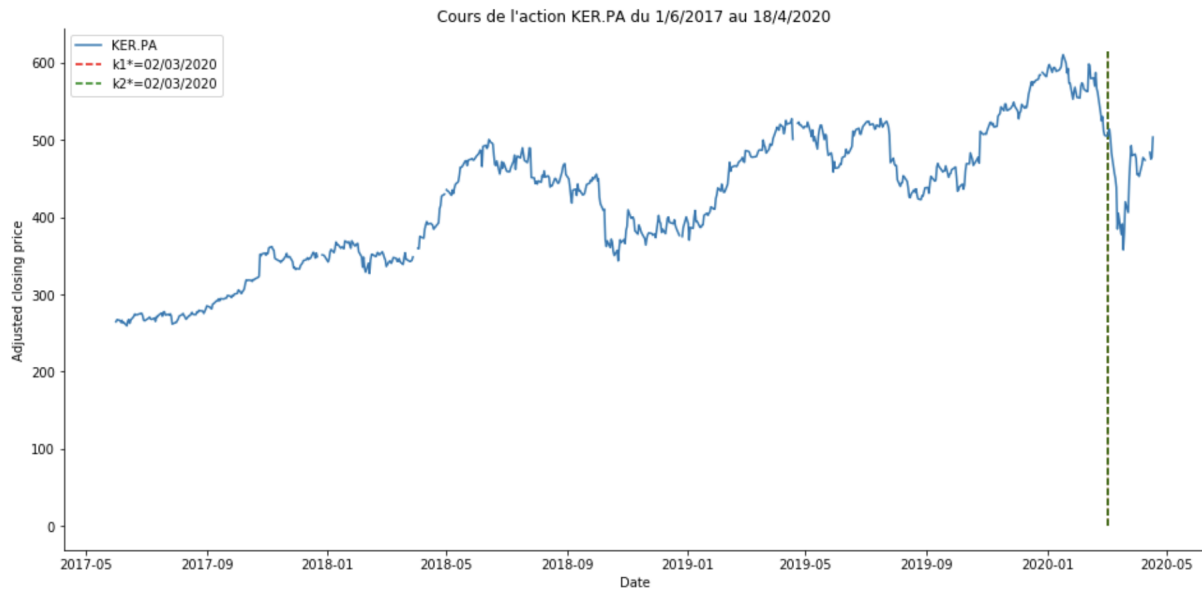


FIGURE 11 – Cours de l'action KER.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-02

Par la méthode Analytique : 2020-03-02

Les deux méthodes obtiennent le même date 2020-03-02 , nous avons des raisons de croire que cela est dû au changement provoqué par Covid-19.

### 5.2.7 Air Liquide (AI.PA)

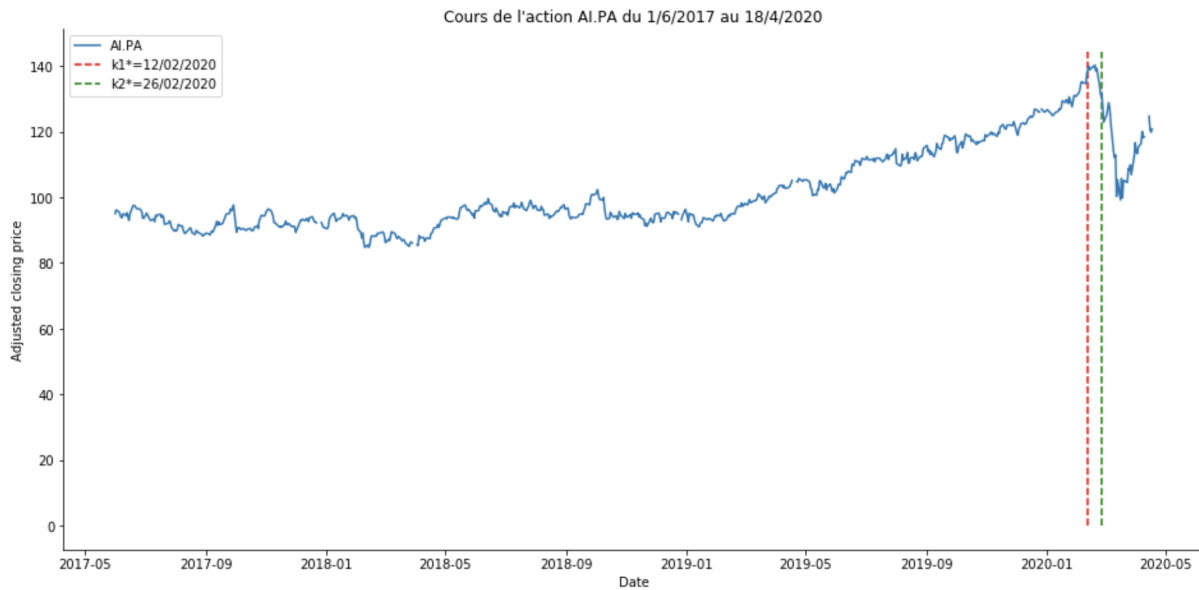


FIGURE 12 – Cours de l'action AI.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-12

Par la méthode Analytique : 2020-02-26

La méthode 1 renvoie 2020-02-12 tandis que la méthode 2 renvoient 2020-02-26. D'après la période on peut s'apercevoir que ce changement a également été causé par le Covid-19 qui a affecté les stocks mondiaux.

### 5.2.8 Airbus SE (AIR.PA)

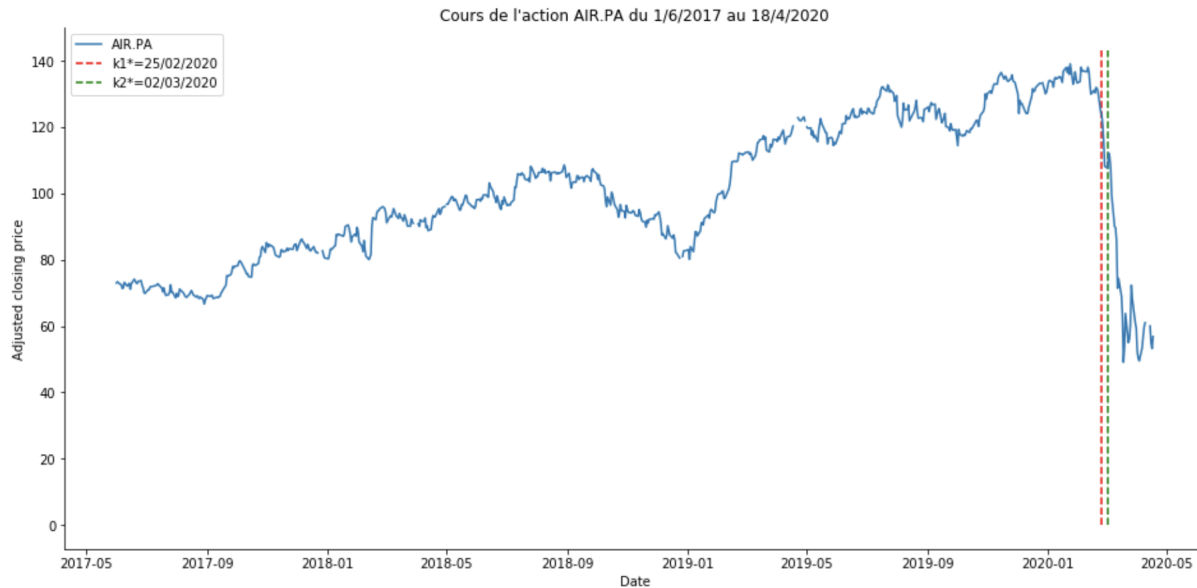


FIGURE 13 – Cours de l'action AIR.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-25

Par la méthode Analytique : 2020-03-02

Les dates données par les deux méthodes sont très proches : la méthode 1 donne 2020-02-25 et la méthode 2 donne 2020-03-02. Selon la période choisie, les méthodes renvoient des valeurs liées au Covid-19.

### 5.2.9 Schneider Electric (SU.PA)

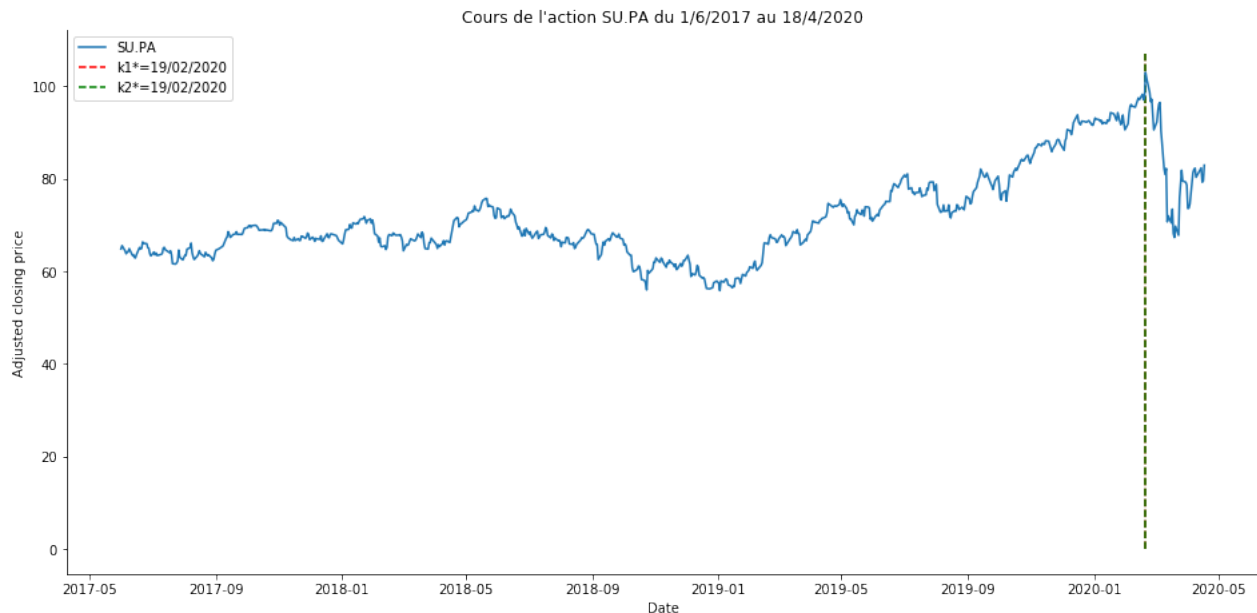


FIGURE 14 – Cours de l'action (SU.PA)

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-18

Par la méthode Analytique : 2020-02-18

Schneider Electric, groupe de construction électrique, est très implanté en Asie-Pacifique (29% de son chiffre d'affaires) a dû fermer des usines en Chine (10% du C.A.) en janvier et février en raison de l'épidémie.

Cependant, le 20-02-2020, l'action Schneider Electric a atteint des niveaux historiques après avoir annoncé des résultats meilleurs que prévus et précisé que les conséquences du coronavirus sur son activité devraient être rapidement surmontées. Le groupe qui évalue l'impact de l'épidémie à quelques 300 millions d'euros sur son activité au premier trimestre, a précisé que ce manque à gagner devrait être compensé au second semestre à mesure que l'activité redémarrera en Chine. Et effectivement, le groupe a rouvert 80% des capacités de ses usines en Chine.

### 5.2.10 EssilorLuxottica (EL.PA)

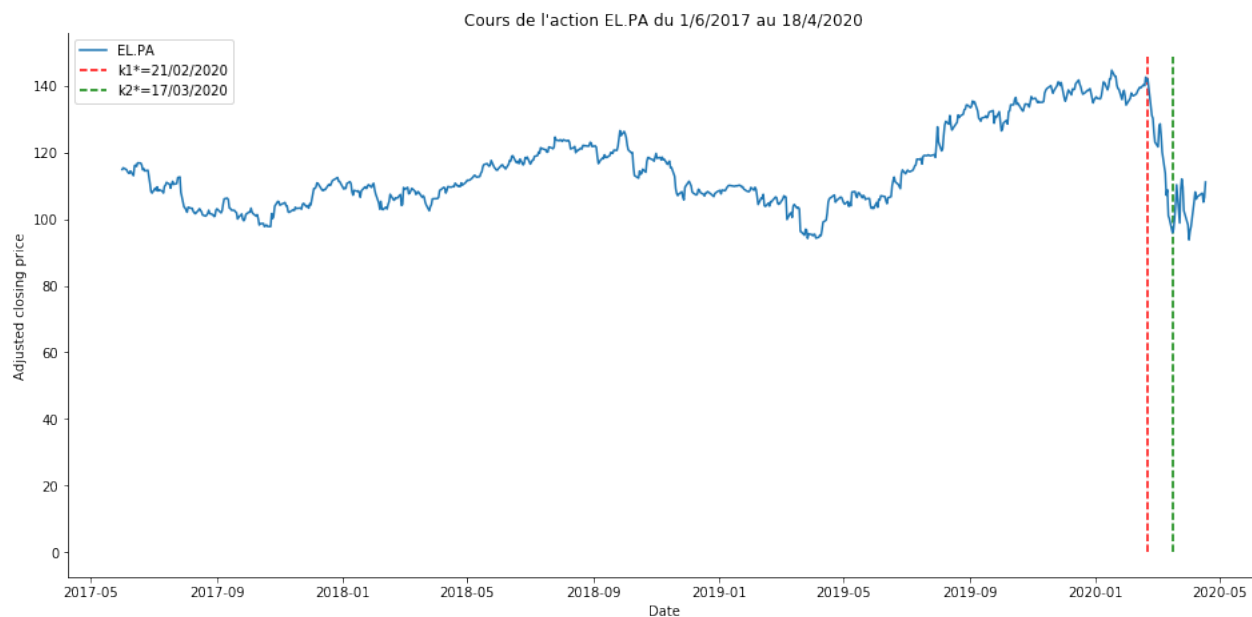


FIGURE 15 – Cours de l'action EL.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-20

Par la méthode Analytique : 2020-03-16

En janvier et février, le groupe a enregistré une croissance solide en ligne avec ses objectifs annuels. L'activité a commencé à se détériorer en mars, au fur et à mesure du déplacement de l'impact du virus, initialement centré sur la Chine, vers des régions entières d'Europe et d'Amérique du Nord.

En effet, l'épidémie du Covid-19 impacte négativement l'activité du groupe en Chine, qui représente environ 5% de son chiffre d'affaires consolidé. En plus, les acheteurs chinois comptent pour plus d'un tiers des dépenses en produits de luxe. Ils effectuent pour l'essentiel leurs achats quand ils sont en déplacement à l'étranger.

### 5.2.11 VINCI SA (DG.PA)

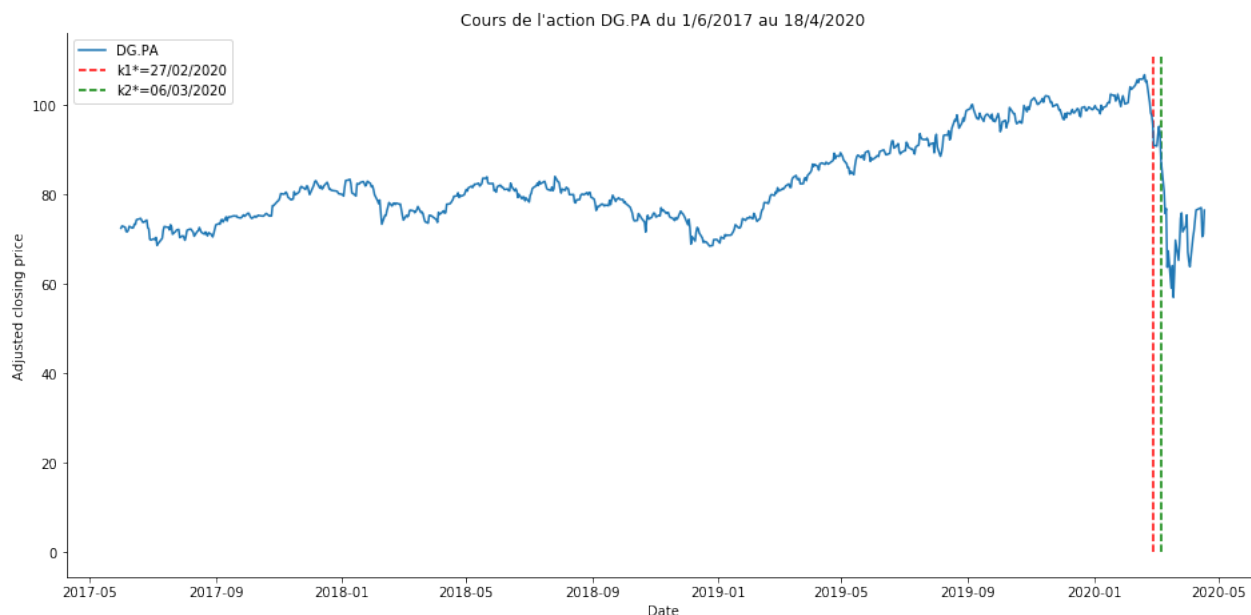


FIGURE 16 – Cours de l'action DG.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-27

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

Le 25-02-2020, Vinci a annoncé la signature d'un contrat de réhabilitation de la voie ferrée reliant les villes de Tororo et Gulu, sur 375 km. Ce projet est mis en œuvre par le gouvernement de la République d'Ouganda avec la participation de fonds européens.

Le 26-02-2020, Vinci se retrouve au coeur d'une enquête menée par un juge français après des plaintes d'ONG et d'ex-employés indiens et népalais concernant les conditions de travail sur des chantiers du Mondial-2022, ce qui explique la forte descente.

Le 03-03-2020, Vinci bénéficie du relèvement d'opinion de RBC. La maison d'analystes a rehaussé son opinion de Performance en ligne à Surperformance et maintenu son objectif de cours à 107 euros sur le groupe. La banque souligne que les exploitants de routes à péages sont moins exposés au risque

du Covid-19 que les aéroports. La maison d'études pense qu'il pourrait y avoir un transfert du trafic aérien vers le trafic routier, les voyageurs pouvant se sentir plus en sécurité lorsqu'ils se déplacent en voiture qu'en avion.

### 5.2.12 Danone S.A. (BN.PA)

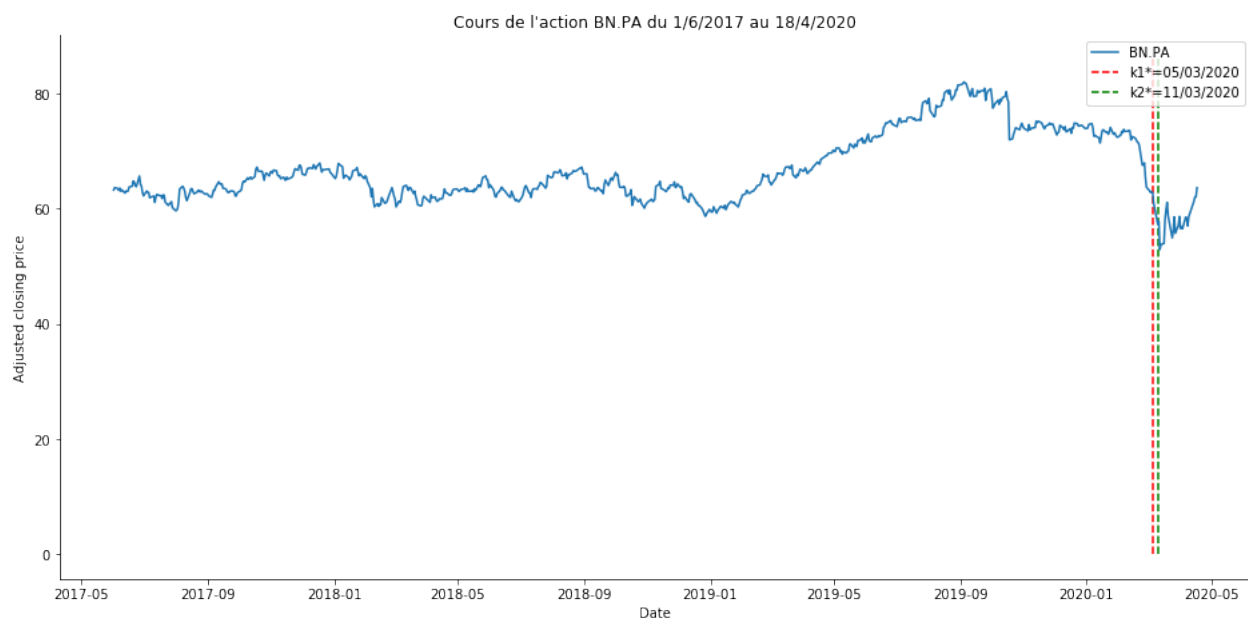


FIGURE 17 – Cours de l'action (BN.PA)

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-05

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

Le 05-03-2020, Danone a annoncé le lancement par son collectif des marques d'eau (dont evian, Volvic, AQUA et Bonafont) de 'WeActForWater', une série de mesures afin de relever les défis de l'emballage responsable, du climat, de la préservation des aquifères et de l'accès à l'eau.

Le 11-03-2020, Danone a procédé à une émission obligataire d'un montant de 800 millions d'euros, ravivant un marché européen de la dette obligataire fermé depuis la déroute des marchés financiers.

Le groupe a émis une obligation à 7 ans, avec un rendement final de 0,571%, et a reçu une demande dépassant 5,8 milliards d'euros pour cette opération, selon l'agence de presse.

### 5.2.13 AXA (CS.PA)

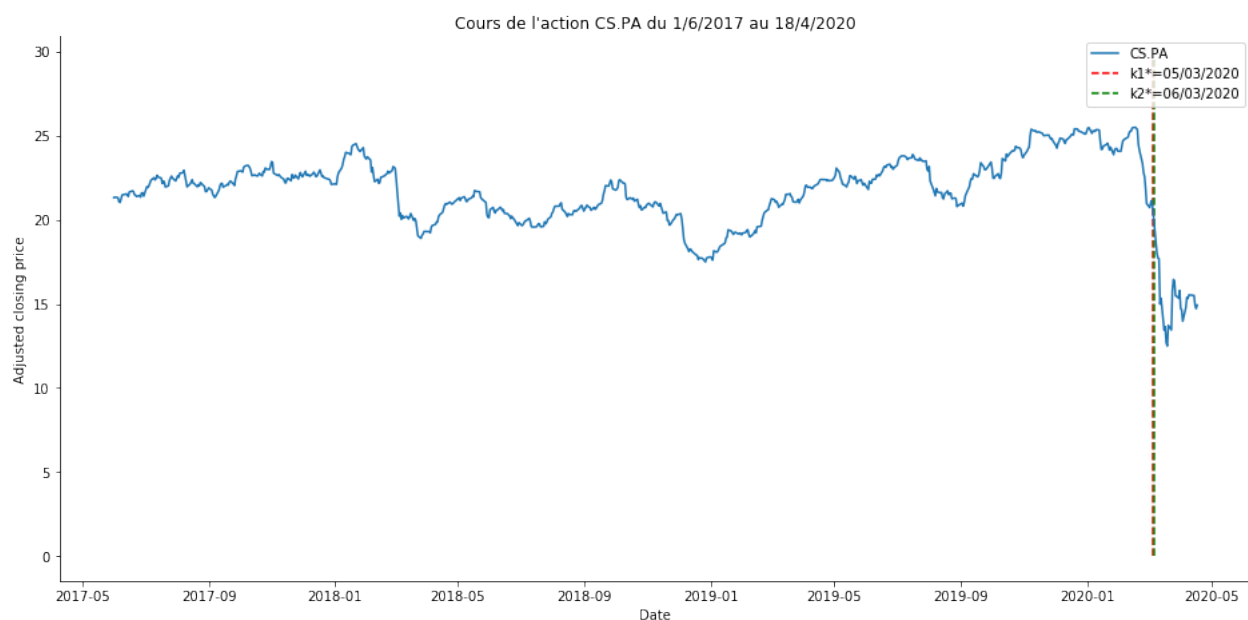


FIGURE 18 – Cours de l'action CS.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-04

Par la méthode Analytique : 2020-03-05

Berenberg a fait une recommandation Conserver et un objectif de cours de 29,70 euros sur AXA. Le bureau d'études justifie son conseil par plus de risques à court terme par rapport à d'autres valeurs du secteur en raison de son exposition à la réassurance.



### 5.2.14 Pernod Ricard SA (RI.PA)

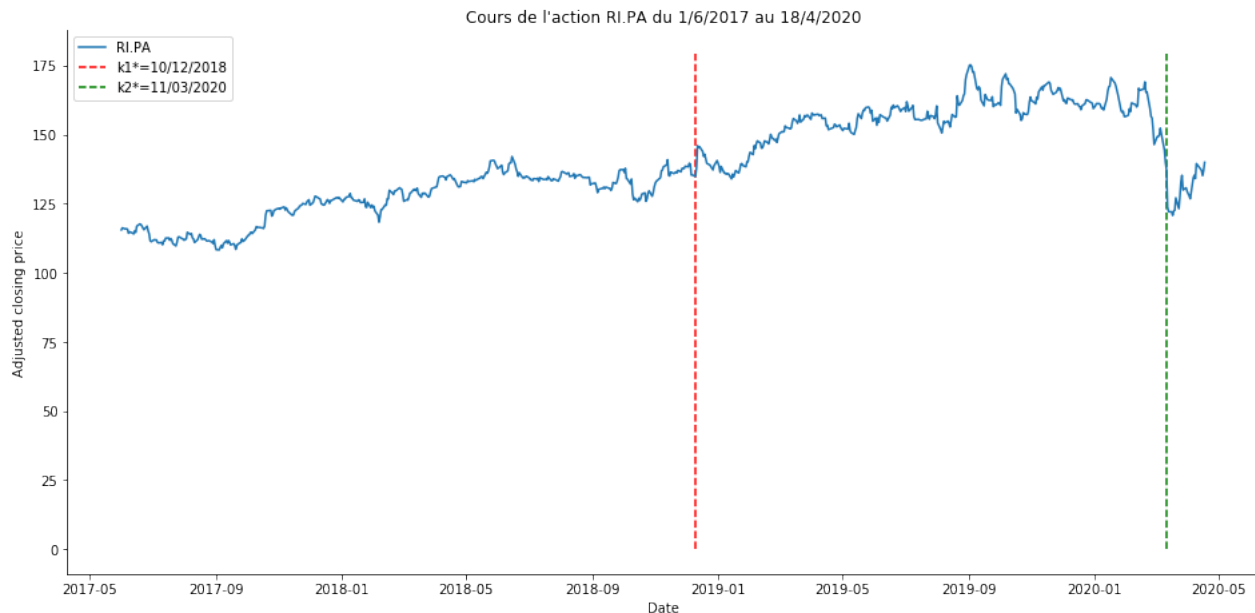


FIGURE 19 – Cours de l'action (RI.PA)

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2018-12-10

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

Le cours de Bourse de Pernod Ricard a atteint son record historique en décembre 2018 suite à l'annonce de l'entrée du fonds Elliott à hauteur de 2,5% de son capital. Elliott a annoncé avoir pris une participation de plus de 2,5% au capital de Pernod Ricard et vouloir engager des mesures visant à améliorer sa performance opérationnelle et sa gouvernance.

A cause de la crise du coronavirus qui bloque les voyages et force les lieux de consommation à fermer, Pernod Ricard a subi une chute de son bénéfice d'exploitation annuel.

La pandémie de COVID-19 a des répercussions importantes sur l'activité de l'entreprise. En Chine, l'activité a été très limitée en février et mars et a connu une reprise lente de l'activité à partir d'avril. Dans le "Travel Retail", le déclin de l'activité est de 80% entre février et fin juin.

### 5.2.15 BNP Paribas SA (BNP.PA)

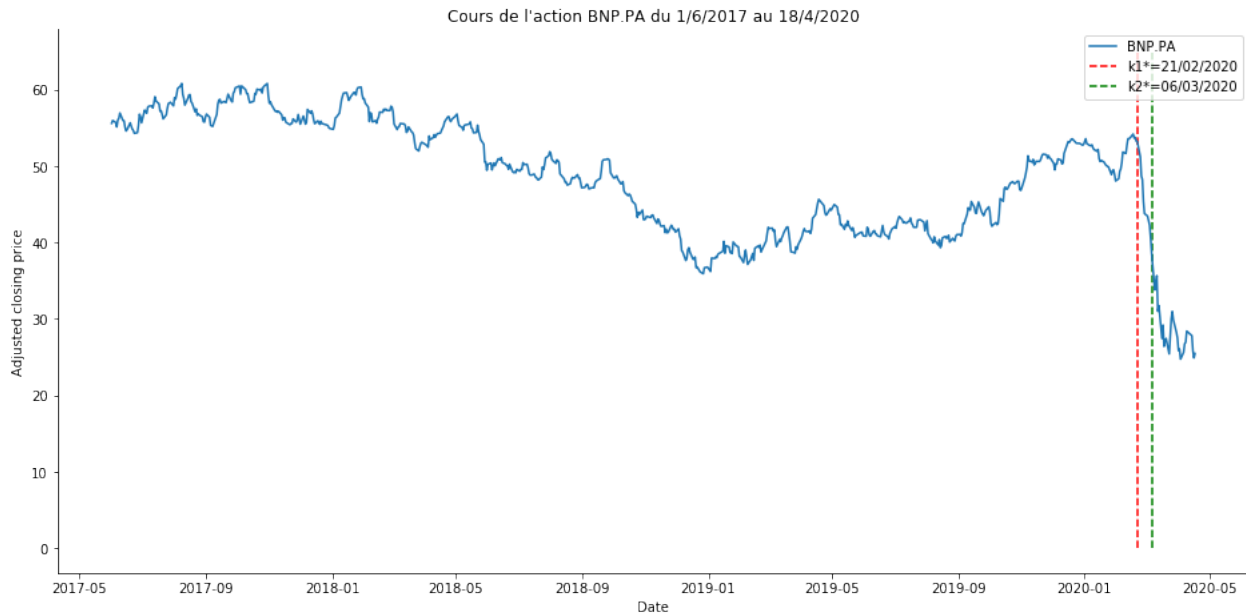


FIGURE 20 – Cours de l'action BNP.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-21

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

En effet, depuis le début de l'année, les cours des principales banques françaises perdent entre 20% et 30%, elles chutent dans le sillage du rendement des emprunts d'Etat allemands qui sert de référence en Europe. De plus la situation s'est aggravée à cause du corona virus.

Le 06-03-2020, BNP Paribas Personal Finance, la principale filiale crédit de BNP Paribas fait appel de sa condamnation pour "pratique commerciale trompeuse" au détriment de plus de 4.600 emprunteurs, pour avoir dissimulé les risques de ses prêts toxiques en francs suisses Helvet Immo. Ce jugement contraignait la banque à verser immédiatement des dizaines de millions d'euros d'indemnités aux emprunteurs.

### 5.2.16 Dassault Systemes (DSY.PA)

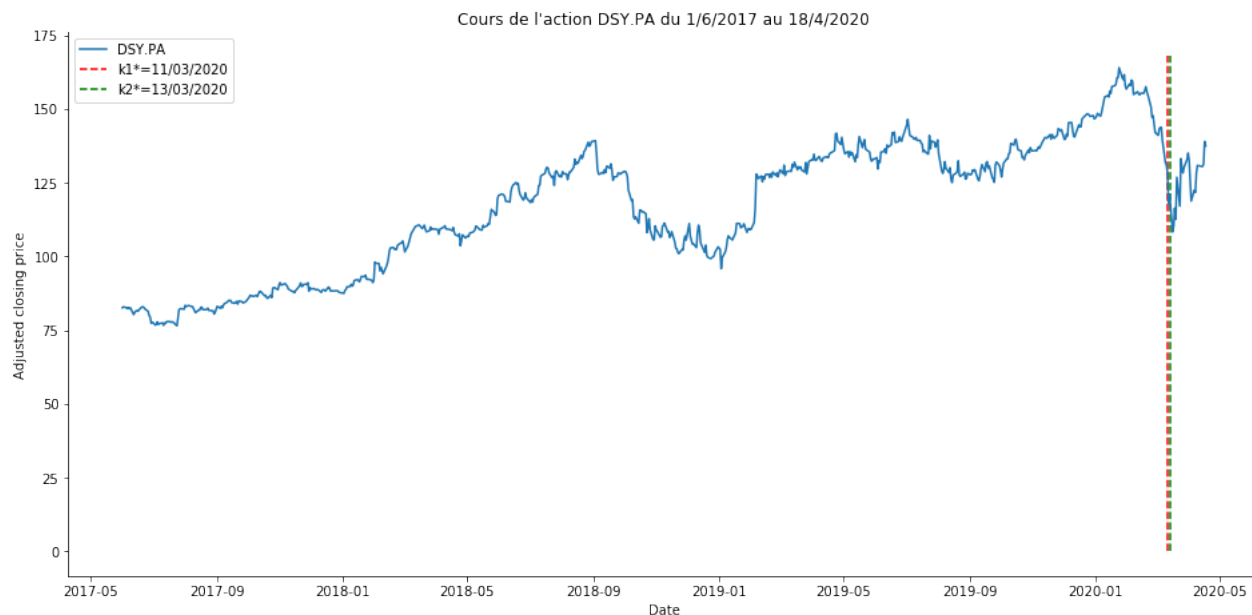


FIGURE 21 – Cours de l'action DSY.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-11

Par la méthode Analytique : 2020-03-13

Dassault systems a connu des ruptures en 11-03-2020 et 13-03-2020, ce qui est expliqué par la crise du COVID-19.

En fait, la crise sanitaire avait un impact sur les activités de Dassault Systèmes vu que la Chine représente 6% des ventes et 12% des licences en base annuelle (d'après le bureau d'analyse Oddo). De plus, l'exposition sectorielle de DSY est très orientée secteurs industriels qui n'est pas un élément positif durant la crise.

### 5.2.17 Safran SA (SAF.PA)

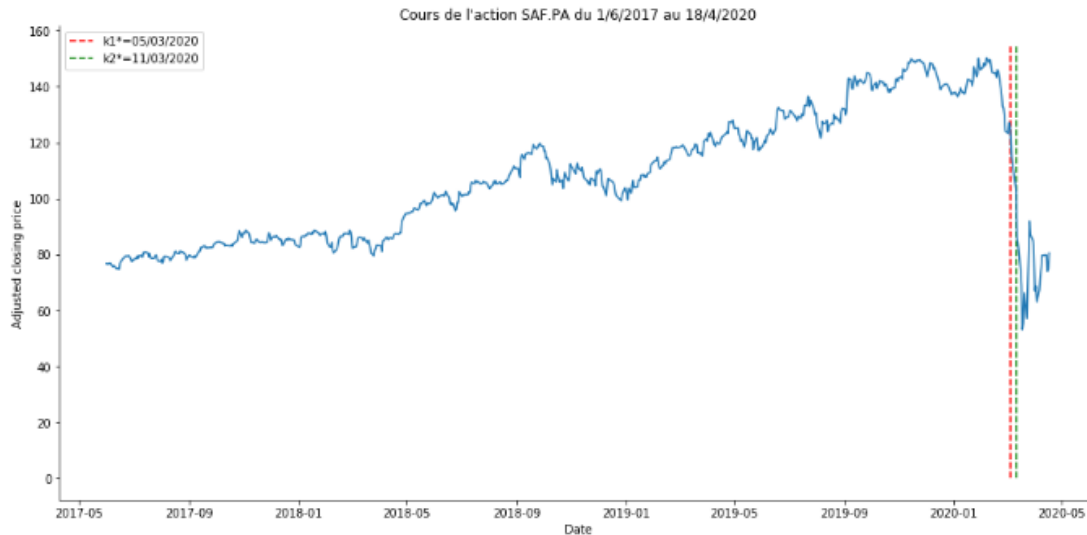


FIGURE 22 – Cours de l'action SAF.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-11

Par la méthode Analytique : 2020-02-24

Safran est un grand groupe industriel et technologique français, présent au niveau international dans les domaines de l'aéronautique, de l'espace et de la défense. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées par les deux méthodes durant le 11 mars 2020 et le 24 février 2020. Ces ruptures peuvent être expliquées, premièrement, par le fait que l'équipementier aéronautique Safran a fait état en mois de février d'une hausse plus marquée que prévu de son résultat opérationnel en 2019, porté par les ventes de pièces détachées de moteurs, mais a prévenu d'une possible baisse de son chiffre d'affaires en 2020 liée à l'arrêt de la production du 737 MAX de Boeing. Deuxièmement, par la crise Covid19, Safran a décidé d'augmenter le montant de son programme d'économies annoncé en février en raison de l'aggravation de cet épidémie. Et pour atteindre ses prévisions, le groupe a annoncé en février qu'il réaliserait 300 millions d'euros d'économies afin de faire face aux difficultés liées à l'immobilisation du Boeing 737 MAX et aux conséquences de l'épidémie sur ses activités en Chine.

### 5.2.18 Orange S.A (ORA.PA)

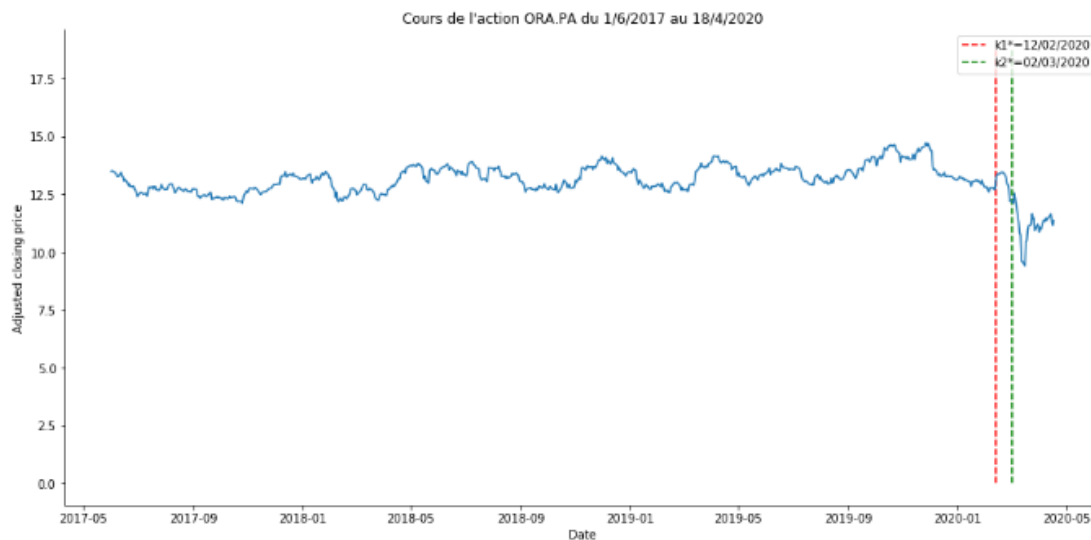


FIGURE 23 – Cours de l'action ORA.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-12

Par la méthode Analytique : 2020-03-03

Orange est une société française de télécommunications. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 12 février 2020 et le 03 mars 2020. En effet suite à la crise du covid19, Orange n'a pas pu participer au congrès Télécoms de Barcelone, et le cout pour cette entreprise de l'annulation du congres n'était pas négligeable.

### 5.2.19 Vivendi SA (VIV.PA)

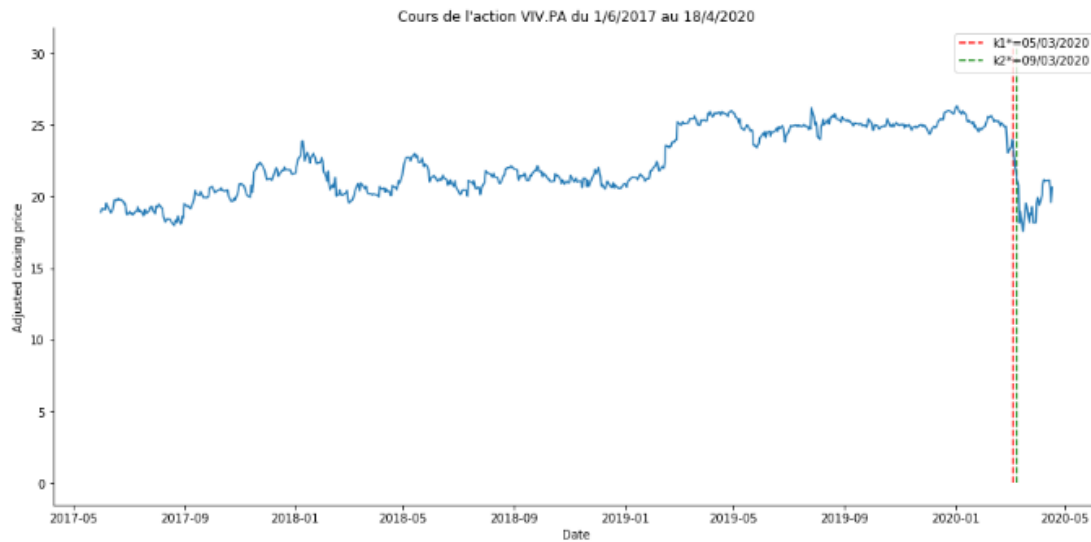


FIGURE 24 – Cours de l'action VIV.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-05

Par la méthode Analytique : 2020-03-09

Vivendi est un groupe français spécialisé dans les contenus, les médias, et la communication. Présent dans plus de 100 pays et coté à la Bourse de Paris où il appartient à l'indice CAC 40, le groupe est actif dans l'univers des contenus, des médias et de la communication. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 05 et le 09 mars 2020. Comme toute entreprise du CAC40, Vivendi a été affecté par la crise du Covid19 et a connu une variation de -12,66 % en mois de mars. Sauf que, a court terme, le risque d'un ralentissement de l'activité du groupe de médias et de divertissement lié au coronavirus est limité, du coup elle prévoit être un profil défensif qui pourrait être mis à profit par certains investisseurs à la recherche de sécurité durant la crise boursière actuelle

### 5.2.20 ENGIE SA (ENGI.PA)

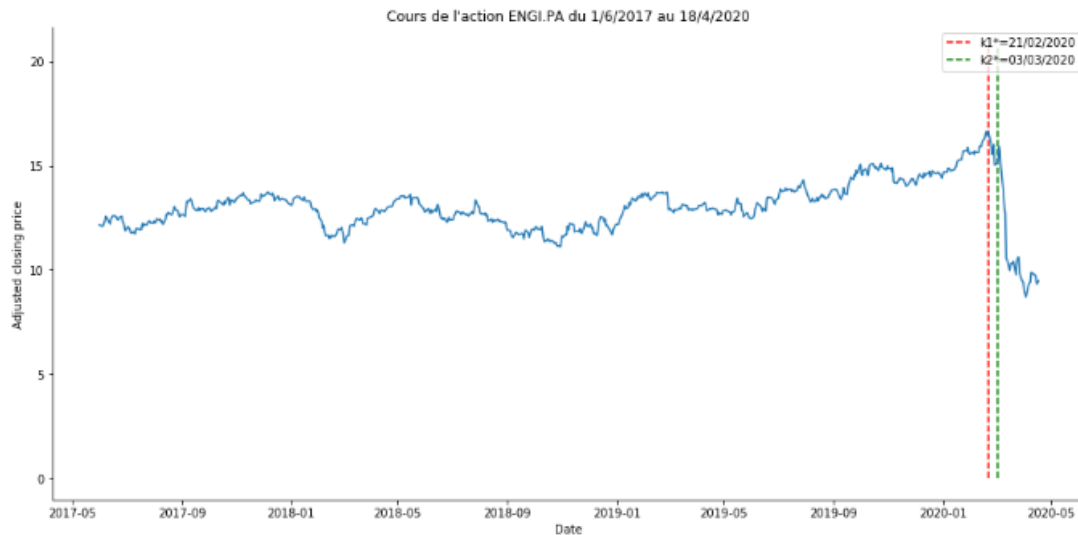


FIGURE 25 – Cours de l'action ENGI.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-20

Par la méthode Analytique : 2020-03-03

Engie est un groupe industriel énergétique français. C'est le troisième plus grand groupe mondial dans le secteur de l'énergie en 2015. Son principal actionnaire est l'État français, qui détient un quart du capital. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 20 Février 2020 et le 3 mars 2020. Engie n'a pas pu échapper à l'impact du coronavirus. Suite à cela, cette dernière a annoncé le retrait de sa prévision pour 2020 et l'annulation de son dividende.

### 5.2.21 STMicroelectronics N.V (STM.PA)

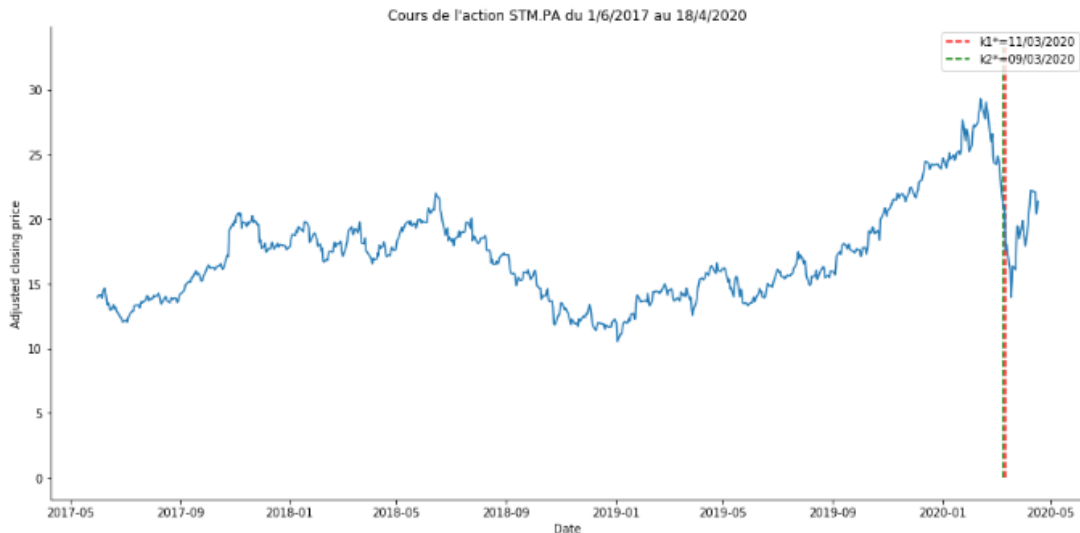


FIGURE 26 – Cours de l'action STM.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-11

Par la méthode Analytique : 2020-03-09

STMicroelectronics (souvent appelée simplement ST) est une société internationale d'origine française et italienne, qui développe, fabrique et commercialise des puces électroniques (semi-conducteurs). Elle est l'un des tout premiers acteurs mondiaux du secteur économique de la production de semi-conducteurs. En septembre 2017, le groupe intègre le CAC 40 après être sorti de l'indice quatre ans auparavant. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 9 et le 11 mars 2020; la crise de 2020. En effet, compte tenu de la pandémie du nouveau coronavirus, le fabricant de semi-conducteurs STMicroelectronics a annoncé la réduction de sa production en France en accord avec le syndicats, et cette réduction pourra aller jusqu'à 50 % des effectifs de production.



### 5.2.22 Credit Agricole S.A (ACA.PA)

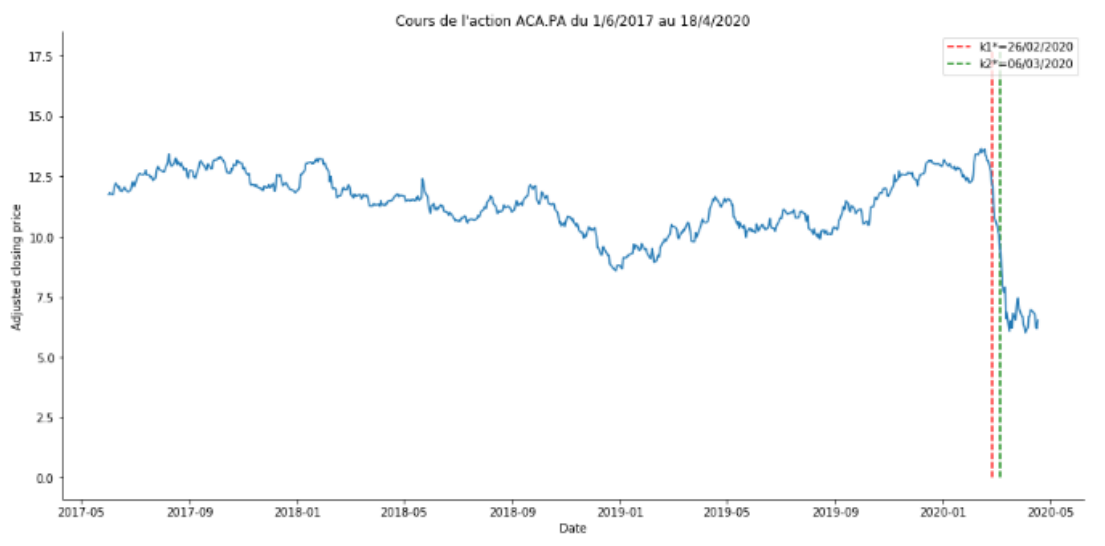


FIGURE 27 – Cours de l'action ACA.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-26

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

Le Crédit agricole, anciennement surnommé la « Banque verte » du fait de son activité d'origine au service du monde agricole, est le plus grand réseau de banques coopératives et mutualistes au monde. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 26 février et le 6 mars 2020. Comme toute entreprise, Crédit Agricole a décroché sous 10,3E, sans avoir rebondi lors du comblement du 'gap' des 10,76E : il s'ensuit un mouvement qui mérite le vocable de 'krach' avec une chute de -52% en 4 semaines et -50% depuis le 1er janvier. Suite à cette crise Crédit Agricole a indiqué que l'intention de distribuer des dividendes au titre de l'exercice 2019 apparaît incompatible avec les recommandations de la Banque centrale européenne demandant aux banques sous sa supervision de ne pas verser de dividendes tant que perdure la crise du coronavirus.

### 5.2.23 Thales S.A (HO.PA)

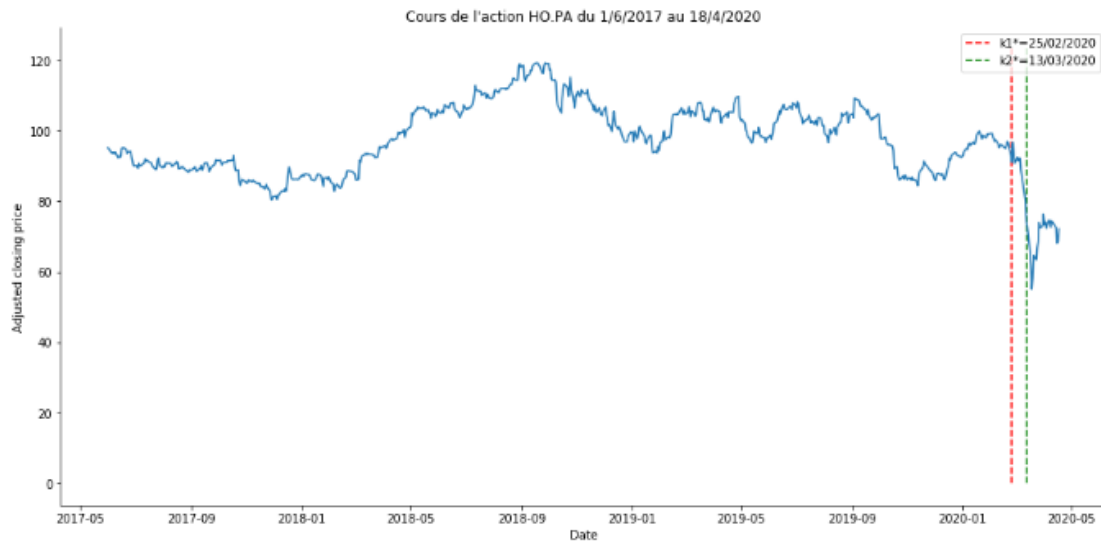


FIGURE 28 – Cours de l'action HO.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-25

Par la méthode Analytique : 2020-03-13

Thales est un groupe d'électronique spécialisé dans l'aérospatiale, la défense, la sécurité et le transport terrestre dont le siège social se situe dans le quartier de La Défense à Paris. Pour cette entreprise, les ruptures ont été observées durant le 25 février et le 13 mars 2020. En effet, le fait d'être dépendant de composants en provenance d'Asie, la filière électronique a été particulièrement exposée aux impacts du Covid-19, avec des risques de rupture des approvisionnements et d'arrêt de la production. Une crise dont elle veut tirer les leçons pour sortir la France de sa dépendance vis-à-vis de la Chine.

### 5.2.24 Legrand SA (LR.PA)

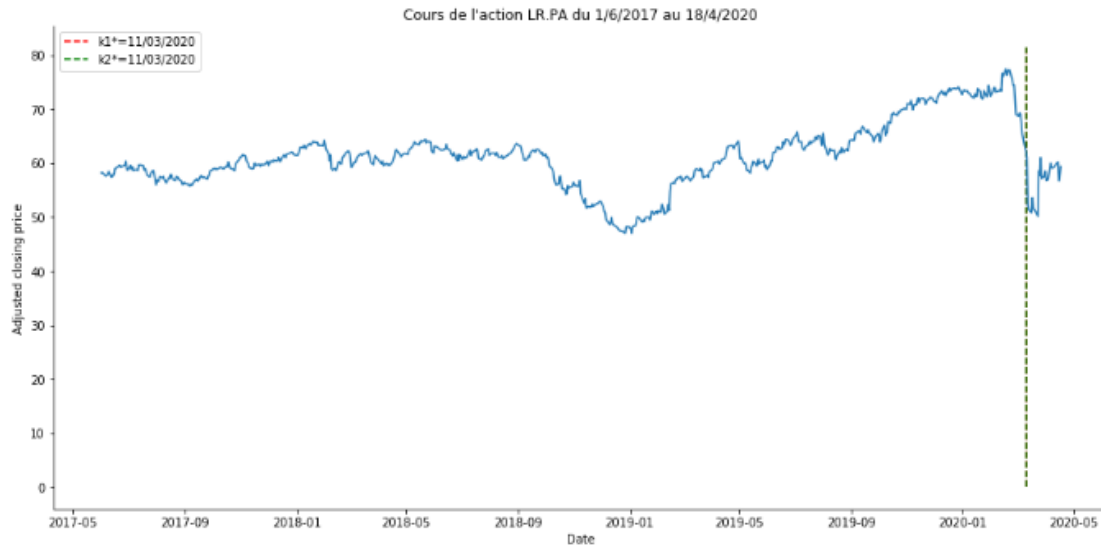


FIGURE 29 – Cours de l'action LR.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-11

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

Legrand est un groupe industriel français historiquement implanté à Limoges dans le Limousin et un des leaders mondiaux des produits et systèmes pour installations électriques et réseaux d'information. Pour cette entreprise, la rupture par les deux méthodes a été observée le 11 mars 2020. Cette rupture peut être expliquée par la crise Covid19. En effet, Legrand a annoncé la suspension de ses objectifs publiés le 13 février dernier en raison de la dégradation sanitaire et économique mondiale due au fait de la propagation rapide du Covid-19 dans de nombreux pays.

### 5.2.25 Compagnie Generale des Etablissements Michelin Societe en commandite par actions (ML.PA)

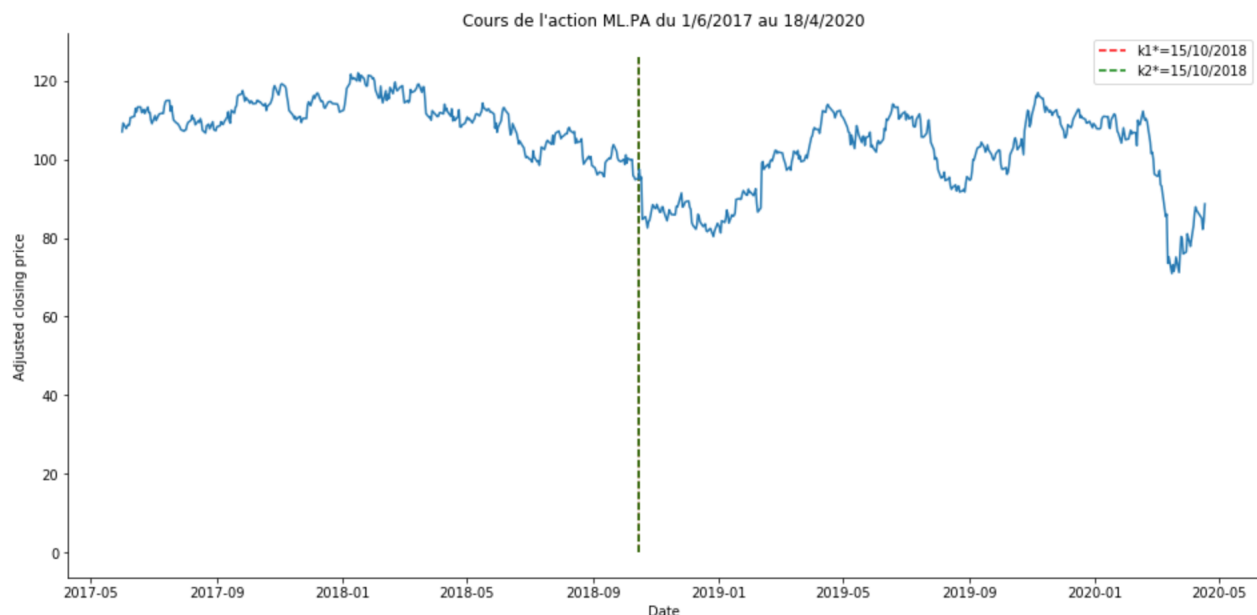


FIGURE 30 – Cours de l'action ML.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2018-10-15

Par la méthode Analytique : 2018-10-15

Les résultats de Michelin correspondent tous les deux au 15 Octobre 2018. On remarque effectivement qu'il y a eu une forte baisse du cours à cette date-ci, la plus forte du CAC 40. C'étaient surtout les prévisions du groupe qui ont alerté le marché ainsi que la hausse des prix des matières premières, principalement le pétrole, faisant que le titre est largement vendu depuis l'ouverture de la bourse de Paris, et suit une tendance baissière depuis le début de l'année 2018.

### Compagnie de Saint-Gobain S.A. (SG0.PA)

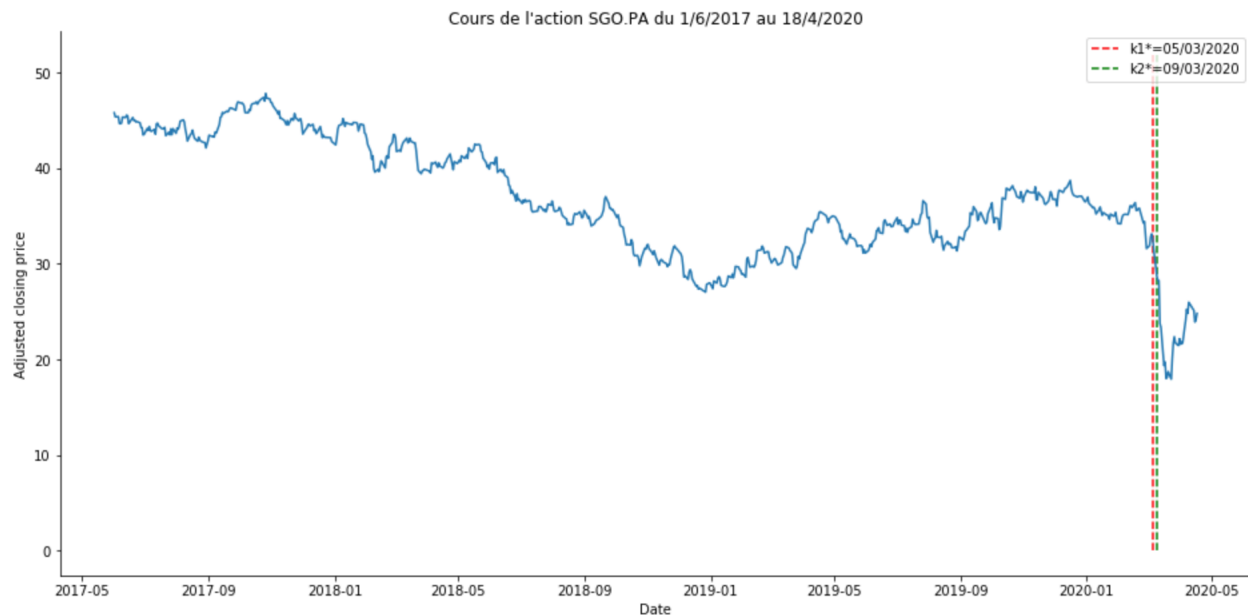


FIGURE 31 – Cours de l'action SGO.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-05

Par la méthode Analytique : 2020-03-09

Dans le cas de la Compagnie Saint-Gobain, les deux résultats, pas très espacés, correspondent respectivement aux 05 et 09 Mars 2020. Cette très grande baisse s'explique par la crise actuelle due au Covid-19, à laquelle la compagnie n'a pas échappé étant donnée son activité principale qu'est la distribution et la transformation de matériaux de construction. Effectivement, toutes les firmes exerçant ce genre d'activités se sont vues fortement ralenties en cette période.

### 5.2.26 Capgemini (CAP.PA)

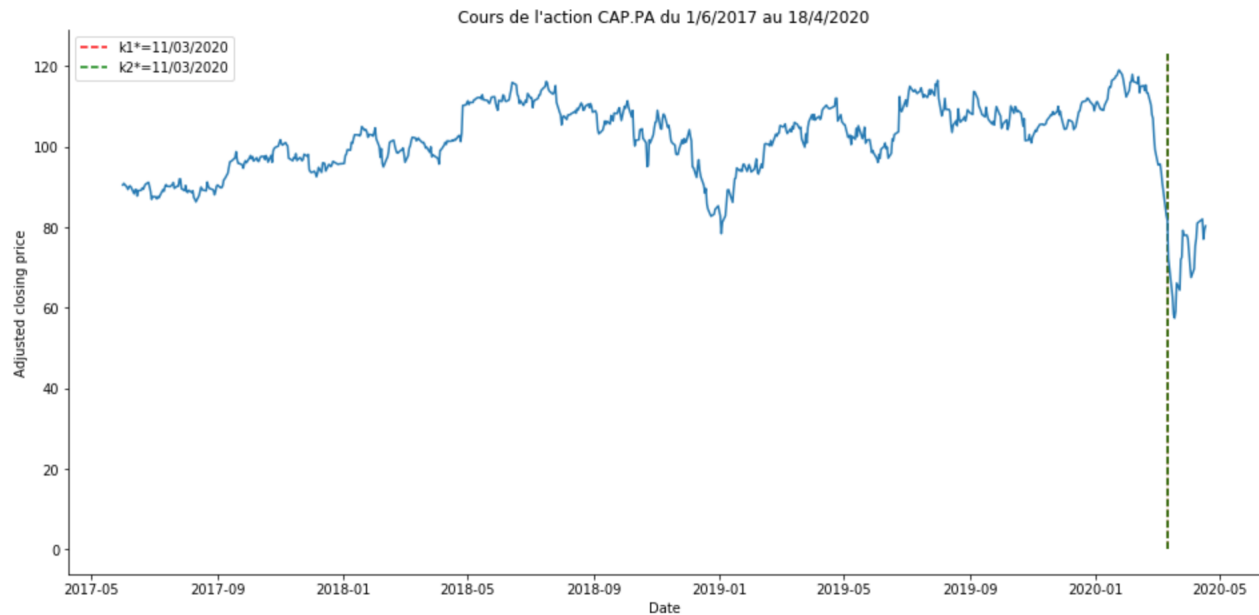


FIGURE 32 – Cours de l'action CAP.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-06

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

Pour Capgemini, les ruptures ont été observées durant les 06 et 11 Mars 2020, ce qui, encore une fois, est justifié par la crise financière générée par le Covid-19. Toutefois, l'on s'aperçoit que le titre a pu reprendre de l'élan après une forte hausse, constituant à présent une opportunité d'achat intéressante selon les analystes du Crédit Suisse.

### 5.2.27 Societe Generale Societe anonyme (GLE.PA)

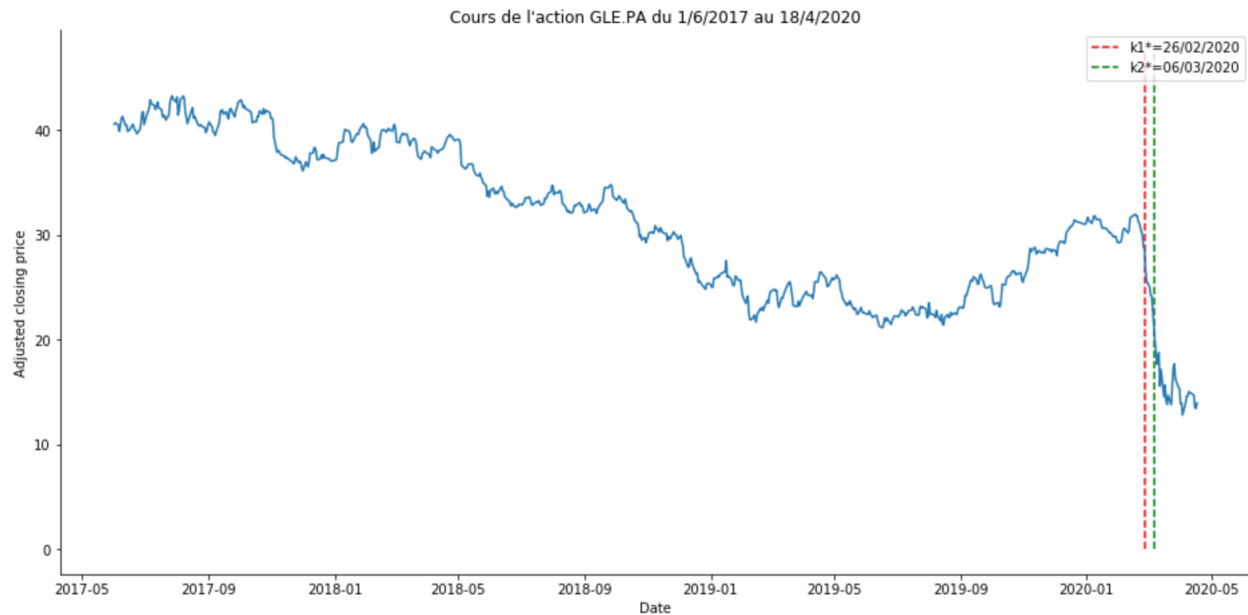


FIGURE 33 – Cours de l'action GLE.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-03

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

Concernant Société Générale, les ruptures ont été observées les 03 et 06 Mars 2020, répercussions, encore une fois, de la crise actuelle dûe au Covid-19. Tout comme les autres firmes du même secteur, le groupe a connu une baisse de plus de 50% en deux mois, résultats bien pire que ceux de 2008 ou 2011.

### 5.2.28 Peugeot S.A. (UG.PA)

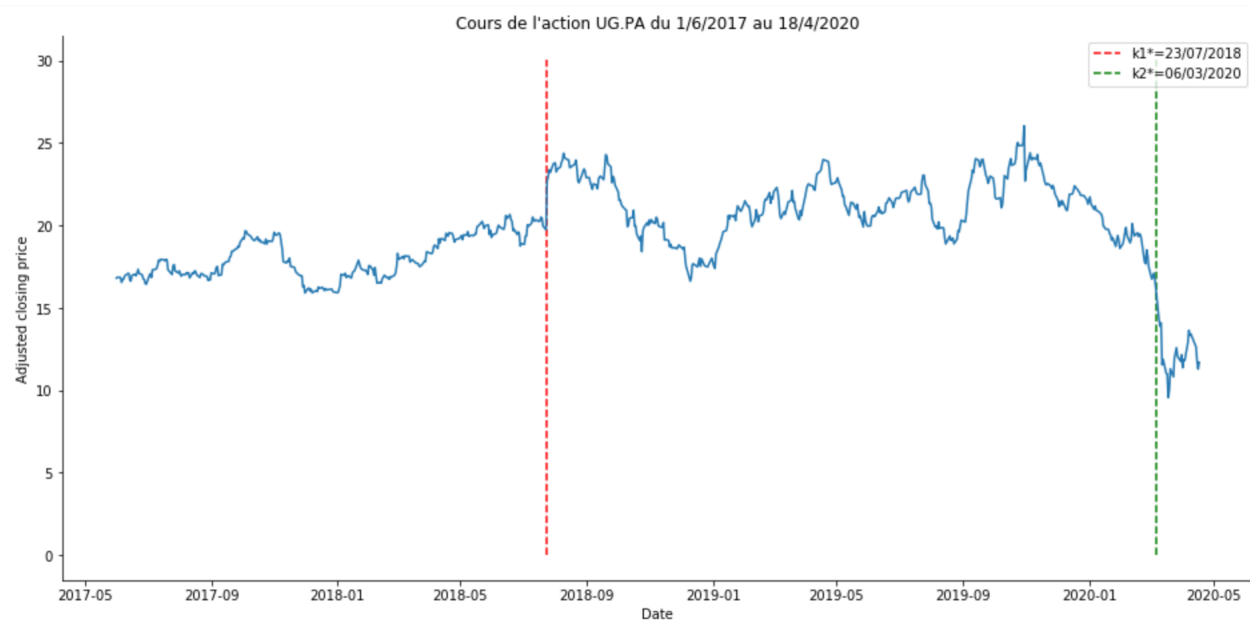


FIGURE 34 – Cours de l'action UG.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2018-23-07

Par la méthode Analytique : 2020-03-06

Dans le cas de Peugeot, deux ruptures ont été observées : la première le 23 Juillet 2018, et la seconde le 06 Mars 2020. En Juillet 2018, on a pu observer une très forte hausse, 18%, du titre Peugeot grâce à l'intégration d'Opel qui avait eu lieu.

Hélas, les résultats du 06 Mars 2020 sont loin d'être aussi optimistes, mettant en avant de très fortes baisses du cours de l'entreprise à cause de la crise dûe au Covid-19, notamment étant donné le domaine d'activité de la firme.



### 5.2.29 Bouygues SA (EN.PA)

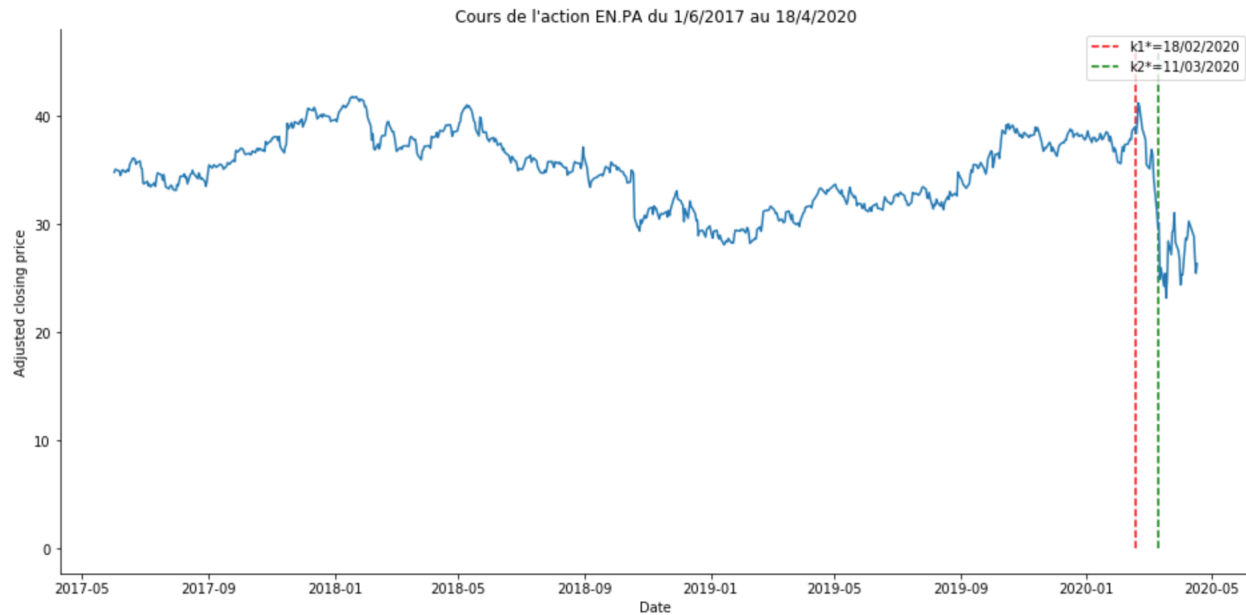


FIGURE 35 – Cours de l'action EN.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-18

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

Selon les résultats obtenus pour Bouygues, opérateur français de télécommunication, les ruptures ont eu lieu les 18 Février 2020 et 11 Mars 2020. On s'aperçoit donc que l'entreprise a été atteinte par la crise du Covid-19 plus tôt que d'autres. La forte instabilité de l'entreprise, et les incertitudes de la pandémie, pesant en particulier sur les activités de construction et audiovisuelles, ont dû pousser le groupe à suspendre ses objectifs 2020, présentées le 20 Février.

### 5.2.30 Carrefour SA (CA.PA)

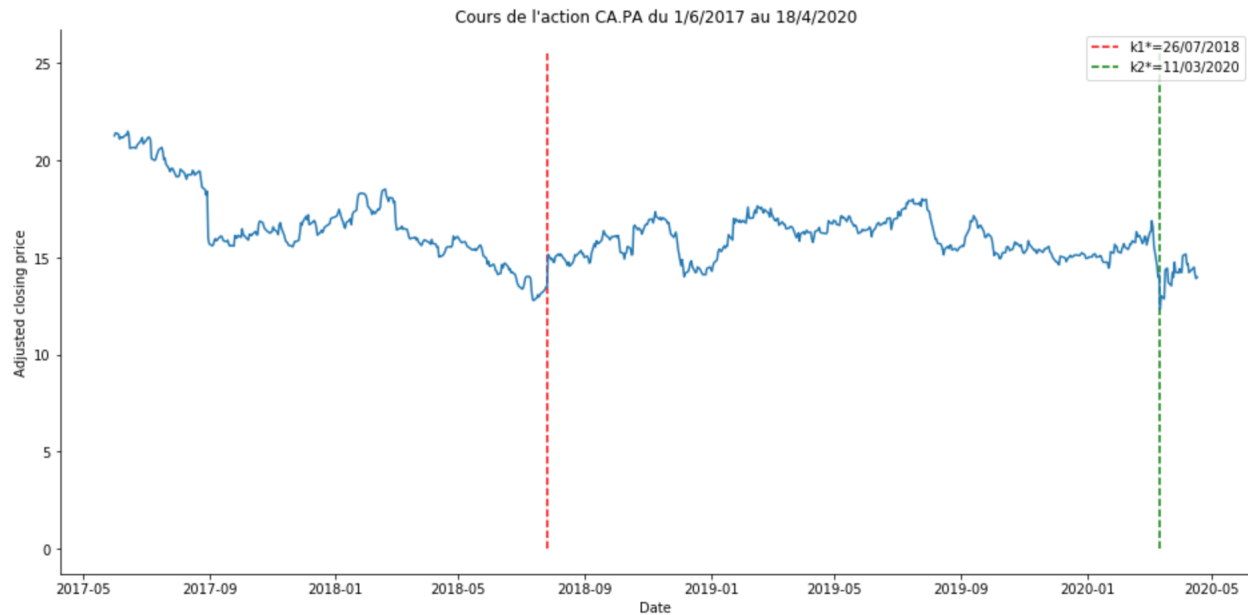


FIGURE 36 – Cours de l'action CA.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2018-07-26

Par la méthode Analytique : 2020-03-11

L'application des deux algorithmes sur les données de Carrefour a démontré deux ruptures différentes : l'une le 26 Juillet 2018 et l'autre le 11 Mars 2020, justifiée par la crise générée par le Covid-19. En ce qui concerne le 26 Juillet 2018, Carrefour a pu jouir d'une forte hausse, profitant notamment d'un marché plus porteur durant cette période, de la croissance de l'e-commerce, mais aussi de la meilleure performance de ses magasins.

Néanmoins, quant à la date du 11 Mars 2020, la baisse observée n'est encore une fois que la conséquence du Corona Virus. Toutefois, le géant reste l'une des entreprises les plus résistantes du CAC 40.

### 5.2.31 Worldline S.A. (WLN.PA)

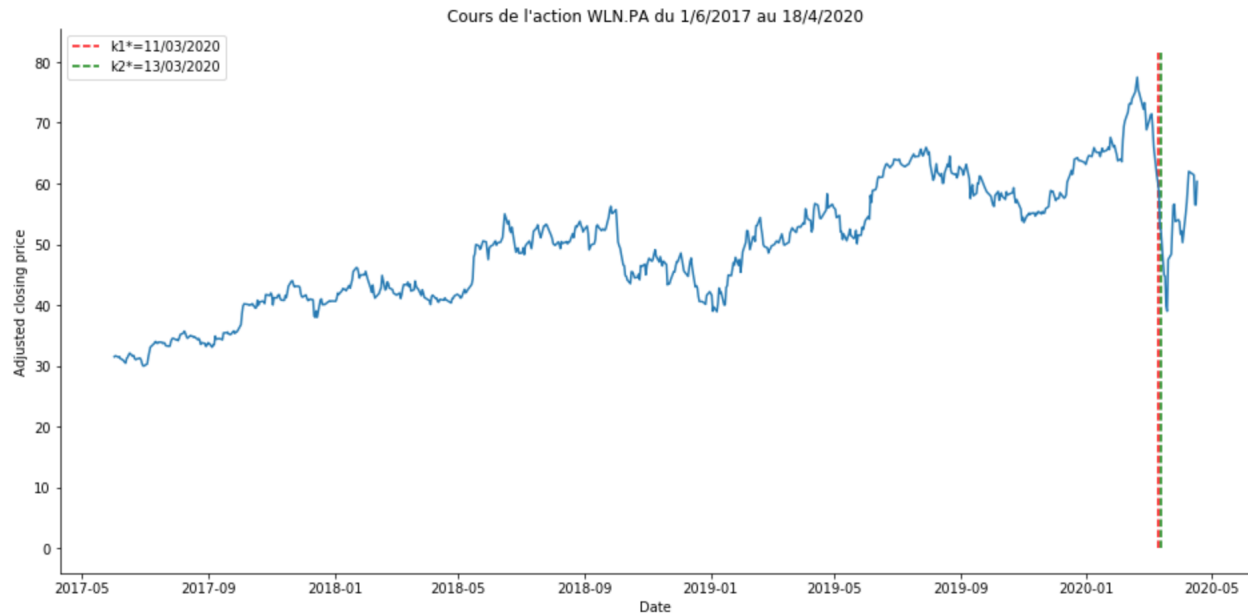


FIGURE 37 – Cours de l'action WLN.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-11

Par la méthode Analytique : 2020-03-13

Concernant l'entreprise Worldline, celle-ci a eu deux résultats quasi-similaires : les 11 et 13 Mars 2020. Bien que n'ayant pu résister au krach avec une baisse très importante, Worldline est l'une des rares entreprises dont la valeur a pu remonter, voire doubler, grâce à son projet d'acquisition d'Ingenico, donnant naissance à un leader européen capable de rivaliser à l'échelon mondial dans le domaine des paiements électroniques.

### 5.2.32 Renault (RNO.PA)

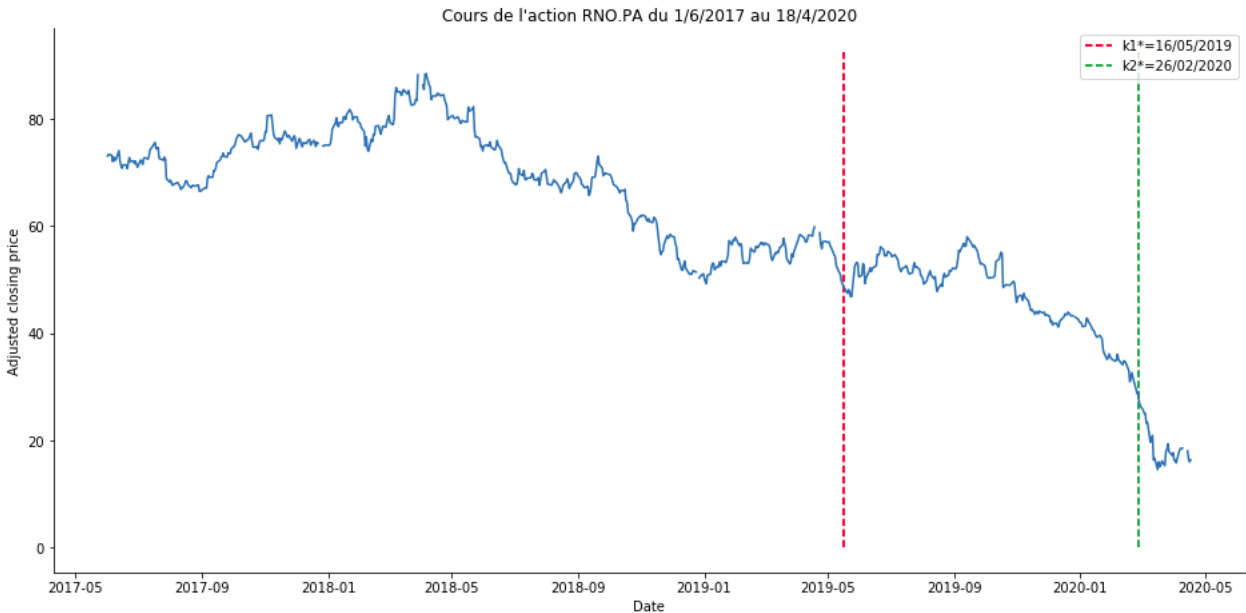


FIGURE 38 – Cours de l'action (RNO.PA)

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2019-05-16

Par la méthode Analytique : 2020-02-25

RENAULT connaît une des plus forte baisse du CAC 40 à la clôture en mai 2019 ( c'est la date affichée par le premier estimateur). En effet quelques jours après son officialisation, le projet de fusion entre Fiat Chrysler et Renault que certain ont appelé “Un braquage à l’italienne!” rencontrerait son premier obstacle. La fusion de Renault avec FCA a été présentée urbi et orbi comme le “coup” du siècle : Fiat allait faire entrer Renault, par la grande porte, dans le marché américain, le second au monde, et Renault allait en retour apporter à FCA la technologie de la voiture électrique, là où Renault a un savoir-faire en pointe et est leader. Enfin, une fois fusionné, le nouvel ensemble serait le plus grand constructeur mondial de véhicules. Et comme chacun sait, plus c’est gros, mieux c’est. Puis on commença à se battre sur les termes financiers de l’accord proposé par le constructeur italo-américain au français en particulier sur le fait que Renault était sous-évalué dans le projet de fusion. Enfin l’Etat

français ne se positionnant pas dans la minute, FCA, vexé, s'est retiré des négociations.

### 5.2.33 Atos SE (ATO.PA)

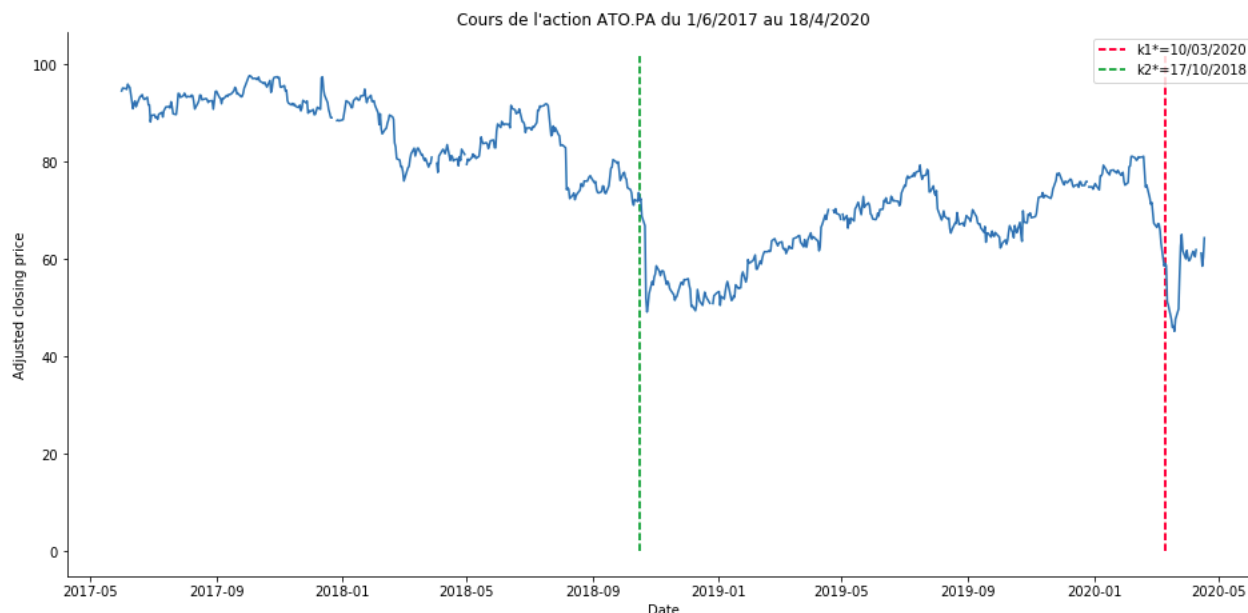


FIGURE 39 – Cours de l'action ATO.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-03-09

Par la méthode Analytique : 2018-10-17

Amère déception pour Atos L'entreprise de services du numérique. Le groupe dirigé par Thierry Breton a abaissé en octobre 2018 son objectif de chiffre d'affaires annuel et s'effondre en Bourse. Tout en estimant que sa marge opérationnelle serait plus proche du bas de la fourchette prévue, après un troisième trimestre décevant et dans la crainte des incertitudes économiques. En Bourse, les investisseurs sanctionnent lourdement l'action, qui s'effondre de 21%. C'était une journée catastrophique pour Atos en Bourse. La société française de services numériques a vu le cours de son action dégringoler de 22,22%, pour tomber à 70 euros à la clôture du marché parisien en Octobre 2018. Le titre est

ainsi revenu à son niveau le plus bas de février 2016. Cette chute est la conséquence d'un avertissement sur les résultats lancé par la direction du groupe. Atos a annoncé revoir à la baisse ses objectifs annuels.

Concernant la deuxième date trouvée. En effet à Paris, en mars 2020, Atos annonce la mise en œuvre à compter du 23 mars 2020 d'un mandat irrévocable avec un prestataire de services financiers indépendant portant sur le rachat de ses propres actions dans la limite de 660 000 actions jusqu'au 31 mai 2020 au plus tard, pour un prix ne pouvant dépasser le plafond de 120 € par action tel que fixé dans la 18ème résolution votée par l'Assemblée Générale Annuelle du 30 avril 2019. L'exécution du présent mandat sera suspendue entre le 25 mars 2020 inclus et le 22 avril 2020 inclus. Ces actions sont destinées à être remises à des bénéficiaires d'actions de performance, de plans d'achat d'actions ou autres plans d'intéressement à long-terme.

#### 5.2.34 PUBLICIS (PUB.PA)

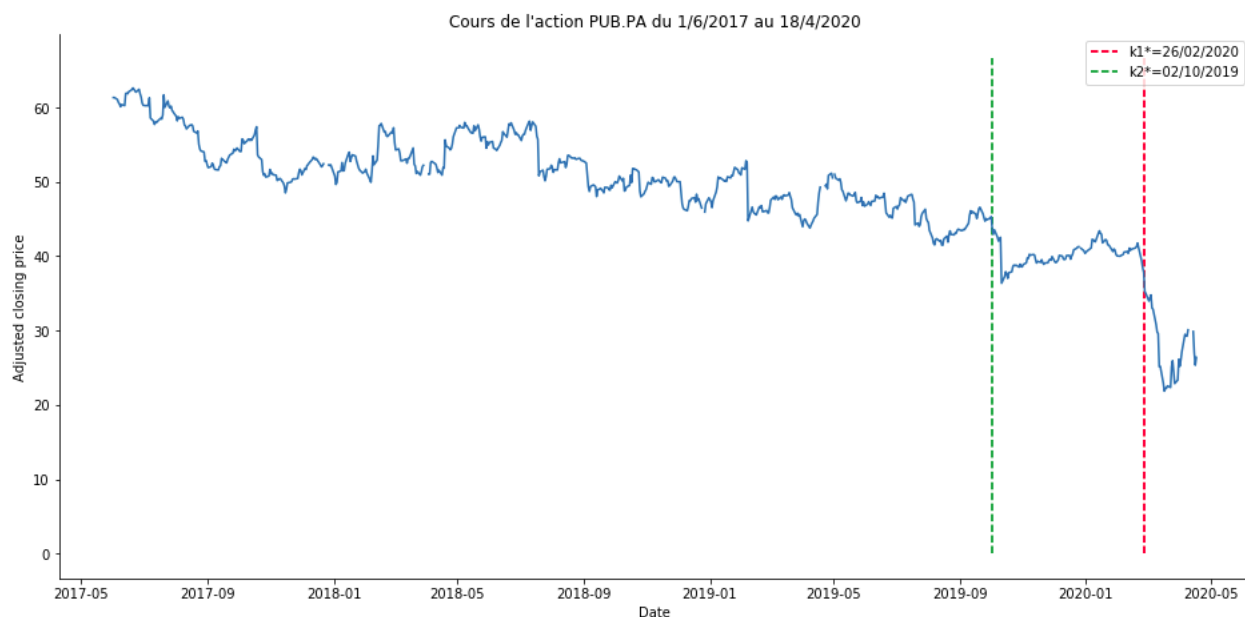


FIGURE 40 – Cours de l'action PUB.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-25

Par la méthode Analytique : 2020-02-27

Le 25 Février 2020 ,le groupe de publicité PUBLICIS est frappé de plein fouet par la crainte d'un ralentissement marqué de l'économie mondiale à cause du virus COVID 19. En cinq séances, le titre accuse un repli de près de 3%.

### 5.2.35 Accor SA (AC.PA)

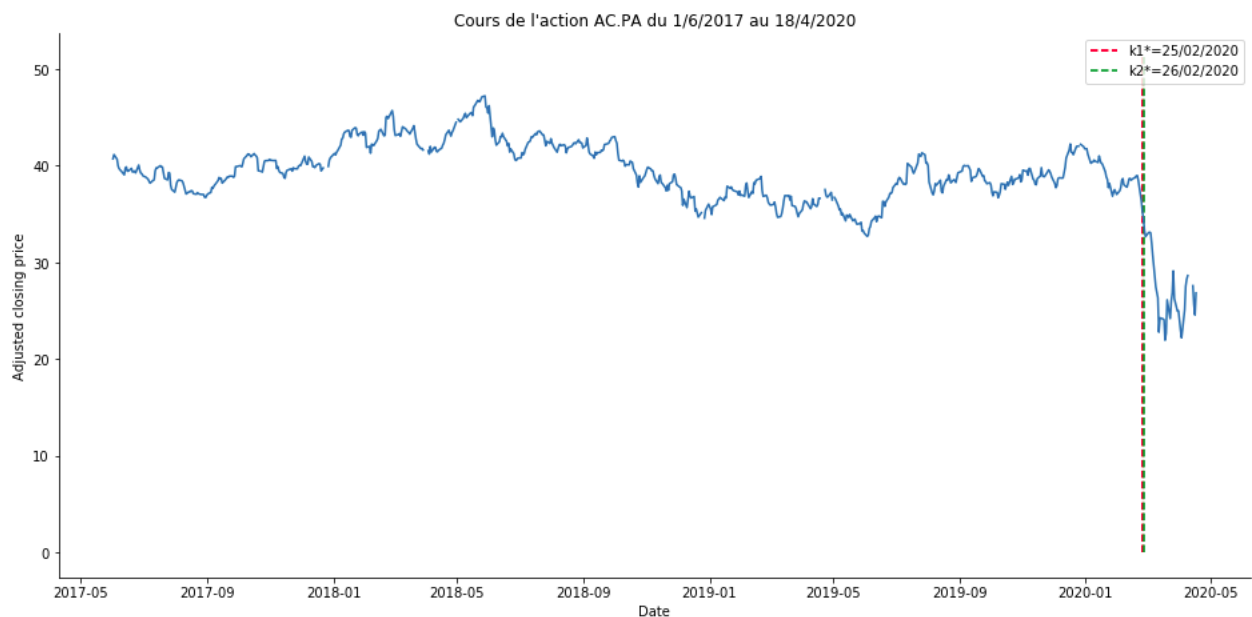


FIGURE 41 – Cours de l'action AC.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-24

Par la méthode Analytique : 2020-02-25

Les deux dates estimées sont très proche la première étant le 24 Février 2020 et la deuxième le 25 Février 2020. Cette date correspond au krach boursier de 2020 qui touche les économies mondiales durant la pandémie de Covid-19, ainsi qu'en raison des désaccords entre l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) et la Russie. La pandémie de Covid-19 aux répercussions sur le tourisme, les compagnies aériennes et le commerce mondial. La mise en quarantaine de pays entiers, entraînant la baisse des productions, fait craindre une lourde crise économique.

### 5.2.36 Unibail-Rodamco-Westfield (URW.PA)

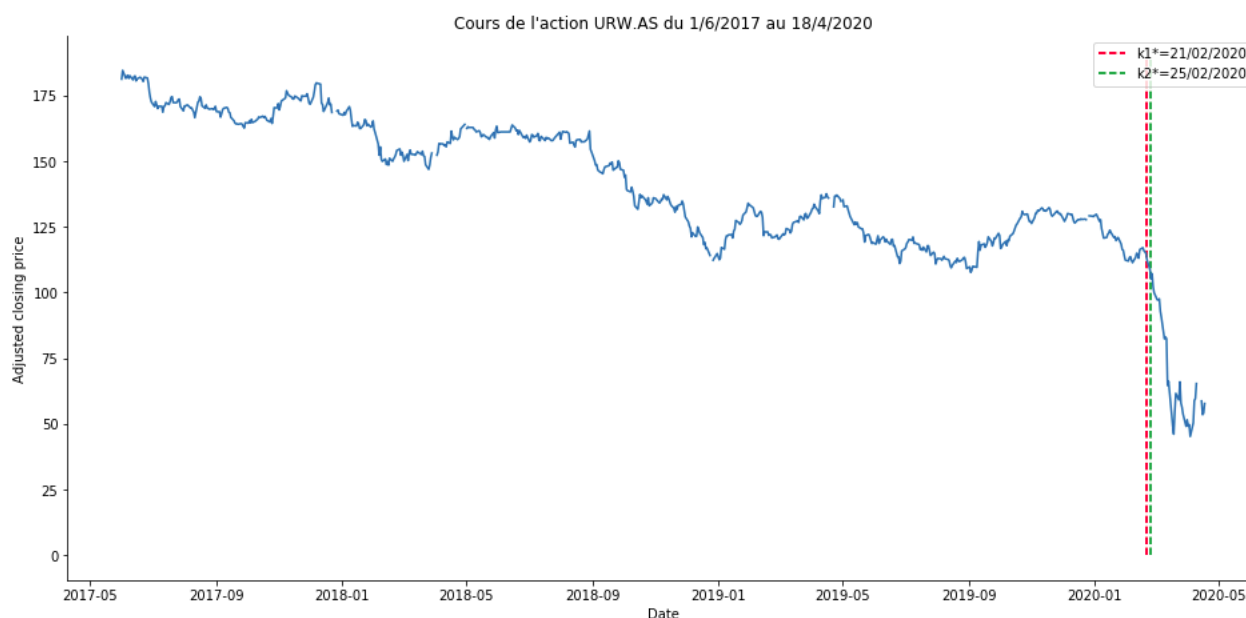


FIGURE 42 – Cours de l'action URW.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-20

Par la méthode Analytique : 2020-02-24

Les deux dates estimées sont très proches la première étant le 24 Février 2020 et la deuxième le 20 Février 2020. Unibail Rodamco Westfield est une société franco-néerlandaise cotée sur les indices CAC 40 et AEX (Amsterdam). Découvrez la présentation de cette grande foncière figurant parmi les 10



plus grandes REIT (Real Investment Trust, foncières cotées) au Monde, du secteur du retail (foncier commercial).

Le groupe Unibail est actuellement capitalisé en Bourse à hauteur de 14,60 milliards d'€ au 27 février 2020 (au sein d'un contexte particulier lié à la crise du coronavirus, sa capitalisation était de 19,55 milliards d'€ début 2020). Face à une valorisation de son parc foncier établie à 65,3 milliards d'€ au 31 décembre 2019, la capitalisation boursière du groupe apparaît comme attrayante. Unibail-Rodamco Westfield a annoncé l'abandon de ses prévisions financières pour 2020 et la suppression de la moitié du dividende prévu au titre de l'exercice 2019 afin de préserver ses liquidités face à la crise du coronavirus.

### 5.2.37 ArcelorMittal (MT.PA)

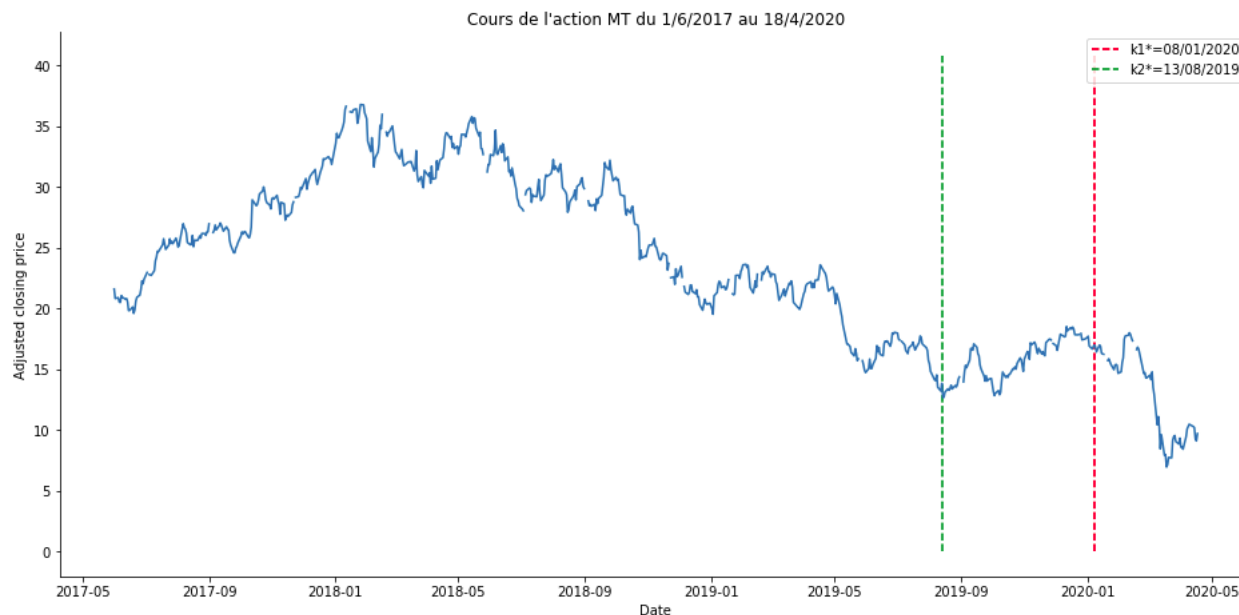


FIGURE 43 – Tableau récapitulatif des résultats obtenus pour ArcelorMittal

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-01-07

Par la méthode Analytique : 2019-08-13

En Aout 2019 l'indice CAC 40 a perdu 198,41 points pour terminer à 5.359 points, dans un volume d'échanges très étoffé de 5,7 milliards d'euros. L'indice a perdu 4,48%. La cote parisienne a brutalement sombré dans le rouge dès l'ouverture, dans le sillage de Wall Street, après que Donald Trump a relancé les hostilités avec la Chine en annonçant l'extension au 1er septembre 2019 à tous les produits chinois de droits de douanes supplémentaires. Pékin a rétorqué qu'il n'aurait d'autre choix que de prendre des mesures de représailles si Donald Trump mettait sa menace à exécution. Sur le terrain des valeurs, "le marché sanctionne encore plus durement les titres cycliques, liés à la croissance et aux sanctions commerciales" d'où ArcelorMittal a dévissé de 6,64% à 13,35 euros.

### 5.2.38 Sodexo S.A (SW.PA)

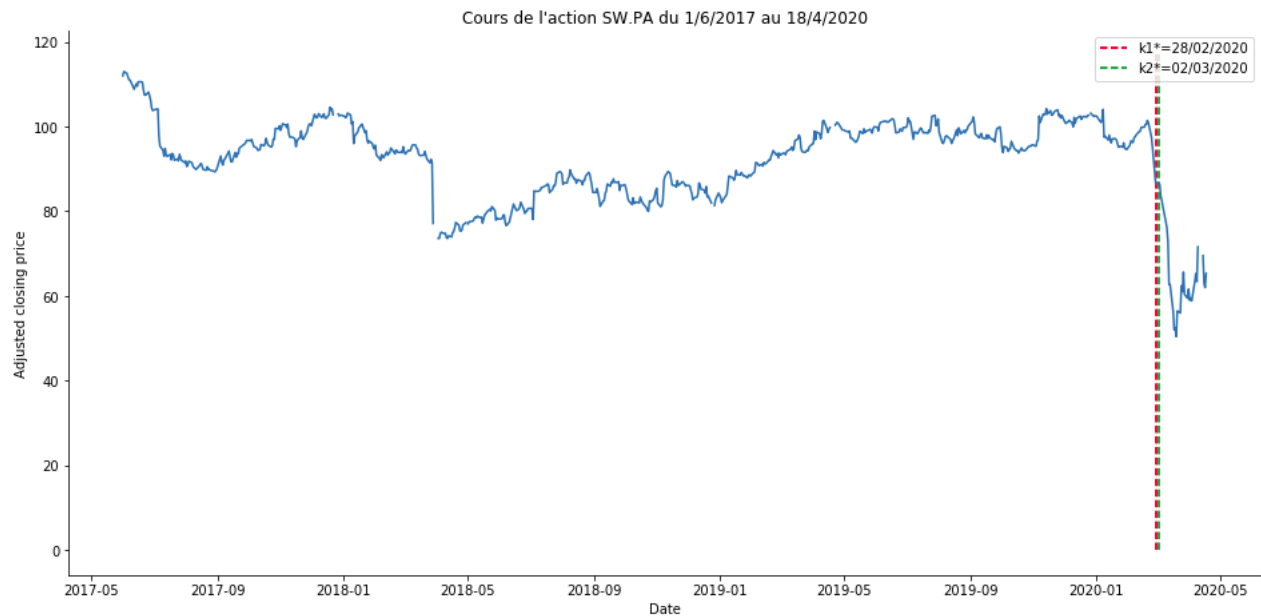


FIGURE 44 – Cours de l'action SW.PA

Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-27

Par la méthode Analytique : 2020-02-28

SODEXO, plus forte baisse du CAC 40 à la clôture du mercredi 26 février 2020 La multinationale française spécialisée dans la sous-traitance de services poursuit son repli amorcé en début de semaine suite à l'inquiétude générale du marché concernant une possible pandémie liée au Covid-19.

### 5.2.39 Veolia VIE.PA

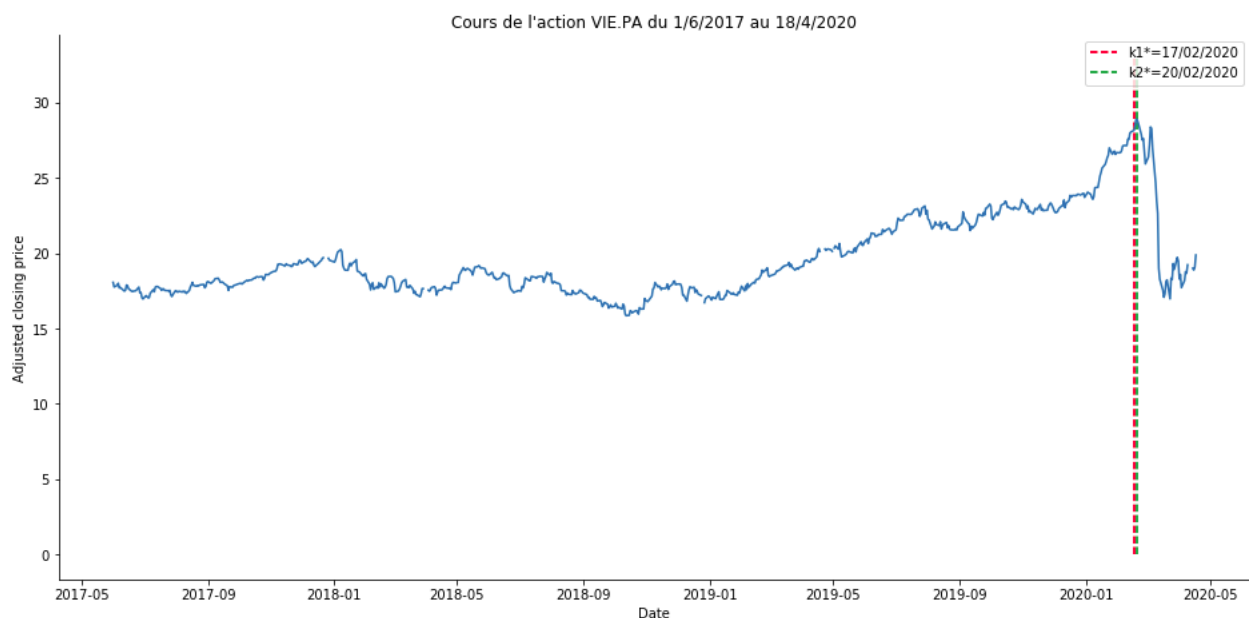


FIGURE 45 – Cours de l'action VIE.PA

#### Temps de rupture trouvés :

Par la méthode Log-Vraisemblance : 2020-02-14

Par la méthode Analytique : 2020-02-18

Veolia est une multinationale française, chef de file mondial des services collectifs. Veolia commercialise des services de gestion du cycle de l'eau, gestion et valorisation des déchets et gestion de l'énergie à une clientèle composée de collectivités locales et d'entreprises. Veolia a suspendu ses prévisions financières pour 2020 et va diviser par deux le dividende qui devait être versé, en raison de la crise du nouveau coronavirus. Le titre Veolia recule de -1% ce jeudi, le groupe ayant suspendu ses guidances 2020 en raison de l'épidémie de coronavirus. L'impact de l'épidémie de Covid-19 sera essentiellement sur les déchets industriels qu'ils soient banals ou dangereux compte-tenu du très fort ralentissement économique.

## 6 Conclusion

En conclusion nous pouvons retenir que dans la plupart des cas, les dates de rupture détecté par les deux methodes ne sont pas les mêmes. En effet la méthode utilisant la log-vraisemblance tend à renvoyer le premier instant où un changement de comportement se produit dans la série tandis que la deuxieme méthode renvoie l'instant du dernier changement qui s'est produit. Lors de l'application des méthodes sur les données des entreprises du CAC40, nous avons remarqué que mise à part Michelin, le Corona Virus n'aura épargné aucune entreprise, quel que soit son domaine. En effet l'instant de rupture pour la majorité des entrepises coïncident avec le debut de la crise sanitaire liée au corona virus.

- [1] D. GHORBANZADEH, P. DURAND, and L. JAUPI, “An analytical method for detecting the change-point in simple linear regression model. application at weibull distribution.,” *Journal of Applied Quantitative Methods*, p. 1, 2016.
- [2] N. Balakrishnan and M. Kateri, “On the maximum likelihood estimation of parameters of weibull distribution based on complete and censored data,” *Statistics & Probability Letters*, vol. 78, no. 17, pp. 2971–2975, 2008.
- [3] A. Benard and E. Bos-Levenbach, *The plotting of observations on probability-paper*. Stichting Mathematisch Centrum. Statistische Afdeling, 1955.