



UNIVERSITÉ
CAEN
NORMANDIE

Université de Caen
Normandie



IUT Grand Ouest Normandie

Pôle de Caen

Bachelor Universitaire de Technologie
Science des Données

Deuxième année

Ressource : Description et prévision de données temporelles

Analyse des séries temporelles

Investing.com

Auteurs

Sidy Diop

Romain Lesueur

Courteney Saint-Hubert

Rasmata Sawadogo

Année universitaire 2024-2025

SOMMAIRE

Introduction	3
1 Présentation et préparation des données	4
1.1 Présentation des données	4
1.2 Préparation des données	4
1.3 Difficultés rencontrées	5
2 Analyse globale des matières premières	6
2.1 Visualisation de la valeur journalière de la cotation de chacune des matières premières	6
2.2 Visualisation de l'évolution moyenne mensuelle de la cotation journalière de chacune des matières premières	7
2.3 Étude du taux d'évolution de la moyenne mensuelle de la cotation journalière de chacune des matières premières	8
3 Étude d'association entre cacao et café	9
3.1 Identification des données atypiques	9
3.2 Analyse de la relation	9
3.3 Modèle de régression linéaire	9
4 Analyse des cotations du Brent	10
4.1 Visualisation des tendances générales	10
4.2 Analyse des composantes saisonnières	11
4.3 Visualisation du comportement de la moyenne mensuelle de cotation journalière du Brent depuis le 1er janvier 2020	12
4.4 Modélisation linéaire par morceaux	13
4.5 Prédiction de la valeur moyenne mensuelle de la cotation du Brent pour les 26 prochains mois	15
Conclusion	16
Annexes	17
Table des figures	18

Introduction

Les matières premières jouent un rôle clé dans l'économie mondiale. Elles influencent les industries, les marchés financiers et les politiques économiques. Analyser l'évolution des prix de ces ressources au fil du temps permet de mieux comprendre leurs dynamiques, de prévoir leurs variations futures et de prendre les bonnes décisions.

Ce projet se concentre sur l'analyse des cotations de plusieurs matières premières essentielles depuis le 1^{er} janvier 2010. Ces données, collectées sur le site *Investing.com*, offrent une perspective sur les variations historiques de prix en lien avec des événements économiques, climatiques et géopolitiques. Les matières premières étudiées sont :

- Café (Futures café US C - Devise : USD) ;
- Cacao (Futures cacao US - Devise : USD) ;
- Jus d'orange (Futures jus d'orange - Devise : USD) ;
- Sucre (Futures sucre Londres - Devise : USD) ;
- Pétrole Brent (Futures pétrole Brent - Devise : USD).

L'objectif principal de cette analyse est d'explorer les tendances, les variations saisonnières et les anomalies dans les séries temporelles afin d'identifier des comportements significatifs. Ces *insights* pourront servir à informer des stratégies dans les domaines de la finance, de la production ou encore du commerce international.



Tout d'abord, nous décrivons le processus de collecte et d'importation des données de cotation des matières premières à partir de fichiers PDF, en définissant les variables clés et en les structurant pour faciliter leur exploitation.

Ensuite, nous analysons statistiquement les données, avec un focus particulier sur la variable *Closed Cotation*. Cette partie inclut des visualisations comme des *boxplots* annuels, des courbes de tendance mensuelles, ainsi que l'étude des évolutions moyennes et des associations entre différentes matières premières.

Nous consacrons ensuite une section spécifique à la cotation du Brent, avec une modélisation détaillée portant sur les tendances à long terme, les composantes saisonnières, les ruptures de tendance et des prévisions pour les 26 mois à venir.

Enfin, nous concluons en synthétisant les enseignements principaux, les tendances observées, ainsi que les limites et perspectives de l'étude. Des annexes complètent le rapport en apportant des détails supplémentaires sur les méthodes employées et les graphiques produits.

1 - Présentation et préparation des données

Cette section a pour objectif de décrire les données utilisées dans le cadre de cette étude et les étapes nécessaires à leur préparation. Nous commencerons par présenter les différentes sources de données et les informations qu'elles contiennent, avant de détailler les opérations réalisées pour nettoyer, structurer et harmoniser ces données en vue de leur exploitation. Ces étapes sont cruciales pour garantir la qualité des analyses qui suivront.

1.1 Présentation des données

Les données utilisées dans cette étude concernent les cotations historiques de cinq matières premières essentielles : café, cacao, jus d'orange, sucre et pétrole Brent. Ces données ont été extraites de fichiers PDF provenant du site *Investing.com*. Chaque fichier contient des informations sur les prix journaliers, notamment :

- **Date** : la date de la cotation.
- **Closed Cotation** : le prix de clôture de la journée.
- **Opened Cotation** : le prix d'ouverture de la journée.
- **Highest Cotation** : le prix le plus élevé atteint durant la journée.
- **Lowest Cotation** : le prix le plus bas atteint durant la journée.

Ces données couvrent la période allant de 2010 à 2024. Les fichiers incluent également des variations de format et d'encodage, nécessitant un traitement spécifique pour leur extraction et leur harmonisation.

	▲ Date ▼	Closed_Cotation ▼	Opened_Cotation ▼	Highest_Cotation ▼	Lowest_Cotation ▼
1	2024-10-10	78.36	76.73	78.64	76.73
2	2024-10-09	76.78	77.52	78.00	75.19
3	2024-10-08	77.47	81.01	81.16	76.39
4	2024-10-07	81.13	77.49	81.17	77.39
5	2024-10-06	77.52	78.06	78.07	77.27
6	2024-10-04	78.08	77.80	79.29	77.39
7	2024-10-03	77.90	74.58	77.99	74.33
8	2024-10-02	74.67	74.45	76.14	73.60
9	2024-10-01	74.46	71.86	75.45	69.92
10	2024-09-30	71.70	71.88	72.79	71.03
11	2024-09-27	71.54	70.71	72.00	70.44

Fig. 1 - Extrait du jeu de données

1.2 Préparation des données

La préparation des données a impliqué plusieurs étapes importantes pour garantir leur qualité et leur cohérence.

Les fichiers PDF ont été extraits en tables exploitables à l'aide de la bibliothèque R *tabulapdf*, avec des ajustements pour gérer les encodages et les séparateurs de colonnes. Les données extraites ont été nettoyées, notamment par la conversion des dates au format standard YYYY-MM-DD et la transformation des cotations en nombres décimaux, en remplaçant les virgules par des points et en supprimant les espaces superflus. Les lignes contenant des valeurs manquantes ou incorrectes ont été éliminées pour assurer la fiabilité des analyses. Une harmonisation a été effec-

tuée sur les colonnes de chaque matière première, permettant de fusionner les jeux de données individuels en un tableau consolidé.

Ce tableau final inclut, pour chaque observation, la date, les différentes cotations journalières (*Closed Cotation*, *Opened Cotation*, *Highest Cotation*, *Lowest Cotation*) et une colonne identifiant le type de matière première (*Product*). Cette structure homogène facilite l’exploration et l’analyse des données dans les étapes suivantes.

Futures pétrole Brent - Données Historiques				
Date	Dernier	Ouv.	Plus Haut	Plus Bas
10/10/2024	78,360	76,730	78,640	76,730
09/10/2024	76,780	77,520	78,000	75,190
08/10/2024	77,470	81,010	81,160	76,390
07/10/2024	81,130	77,490	81,170	77,390
06/10/2024	77,520	78,060	78,070	77,270
04/10/2024	78,080	77,800	79,290	77,390
03/10/2024	77,900	74,580	77,990	74,330
02/10/2024	74,670	74,450	76,140	73,600
01/10/2024	74,460	71,860	75,450	69,920
30/09/2024	71,700	71,880	72,790	71,030
27/09/2024	71,540	70,710	72,000	70,440
26/09/2024	71,090	72,890	73,280	70,250
25/09/2024	72,900	74,440	74,670	72,500
24/09/2024	74,470	73,430	75,120	73,260
23/09/2024	73,900	74,710	75,170	73,100
20/09/2024	74,490	74,770	75,000	74,000
19/09/2024	74,880	73,130	75,180	72,910
18/09/2024	73,650	73,690	74,100	72,310
17/09/2024	73,700	72,910	74,280	72,170
16/09/2024	72,750	72,090	73,390	71,520
13/09/2024	71,610	72,300	73,240	71,460
12/09/2024	71,970	70,600	72,870	70,590
11/09/2024	70,610	69,680	71,090	69,000
10/09/2024	69,190	71,920	72,280	68,680

Fig. 2 - Extrait du fichier PDF du jeu de données sur le pétrole

1.3 Difficultés rencontrées

Lors du traitement du fichier `Futures pétrole Brent - Données Historiques.pdf`, la fonction `extract_tables` de la librairie `Tabula` a échoué à extraire correctement les données. L’écart réduit entre les colonnes *Dernier* et *Ouv.*, notamment pour des valeurs au format `XXX,XXX`, rendait les tableaux difficiles à détecter, même après ajustement des paramètres `columns`, `area` ou désactivation de `guess`. Les données de ces colonnes fusionnaient fréquemment, entraînant des valeurs manquantes (NA), et la dernière colonne n’était parfois pas détectée.

Diverses approches ont été envisagées. Les ajustements manuels via des patterns regex se sont révélés fastidieux. Une autre tentative consistait à utiliser la méthode `area` de `Tabula` pour définir des zones précises de détection, mais cette solution n’a pas permis de résoudre le problème de fusion des colonnes. Finalement, nous avons opté pour la fonction `extract_text`, qui a permis une extraction plus fiable, nécessitant toutefois un traitement supplémentaire pour organiser les données.

En conclusion, bien que cette méthode ait fonctionné, elle reste complexe. Une exploration d’alternatives pourrait s’avérer bénéfique pour des cas similaires.

2 - Analyse globale des matières premières

2.1 Visualisation de la valeur journalière de la cotation de chacune des matières premières

L'analyse des *boxplots* annuels des cotations journalières pour chaque matière première met en évidence des dynamiques spécifiques et des tendances distinctes.

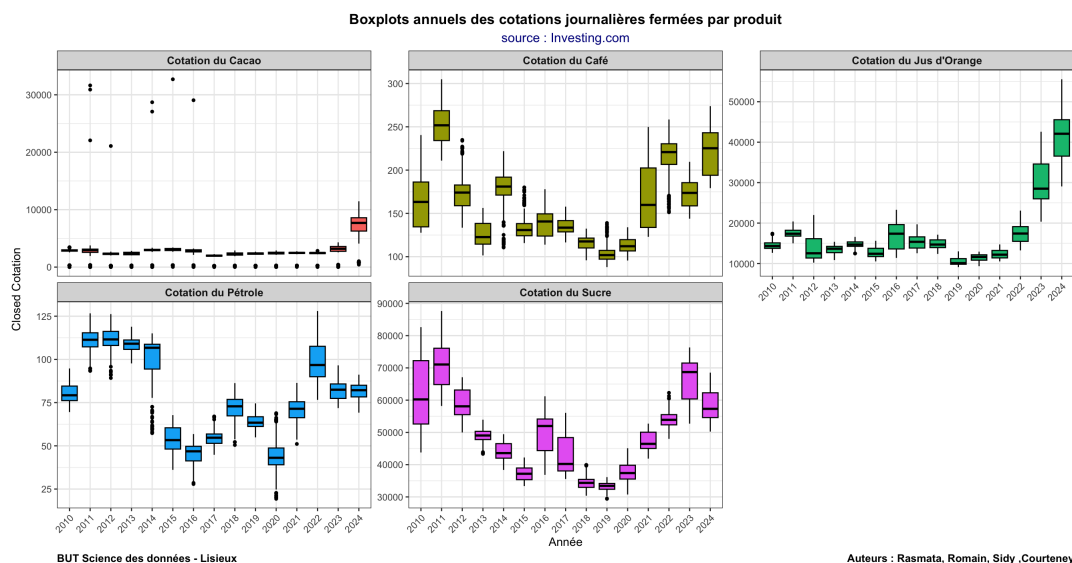
Le marché du cacao montre une stabilité générale avec des fluctuations modérées, ponctuées de pics atypiques, principalement liés à des crises géopolitiques ou sociales dans les pays producteurs, ainsi qu'à des anomalies climatiques.

Le café présente une tendance haussière depuis 2020, avec une dispersion croissante, suggérant des fluctuations dues à des chocs d'offre et de demande, exacerbés par des conditions climatiques extrêmes et la pandémie de COVID-19.

Le jus d'orange connaît une hausse marquée depuis 2020, principalement en raison de la sécheresse et des maladies des agrumes au Brésil, réduisant la production et exerçant une pression haussière sur les prix.

Les cotations du pétrole montrent une grande volatilité, avec un pic notable entre 2010 et 2012 dû à des facteurs géopolitiques. La forte remontée après 2020 est liée à la reprise économique post-COVID, aux décisions de l'OPEP+ et aux tensions géopolitiques, notamment la guerre en Ukraine.

Enfin, le sucre suit une trajectoire en « U », avec une baisse jusqu'en 2018 en raison de la surproduction, suivie d'une remontée progressive à partir de 2020, due aux perturbations de la pandémie de COVID-19.



En résumé, bien que chaque matière première suive une dynamique propre influencée par des facteurs spécifiques tels que les conditions climatiques, les enjeux géopolitiques et les cycles de production, un point commun notable entre toutes ces matières premières est l'augmentation des prix observée à partir de 2020. Cette hausse générale peut être attribuée aux perturbations mondiales causées par la pandémie de COVID-19, qui a affecté les chaînes d'approvisionnement, modifié les comportements de consommation et entraîné une pression accrue sur la production.

2.2 Visualisation de l'évolution moyenne mensuelle de la cotation journalière de chacune des matières premières

L'analyse de l'évolution moyenne mensuelle des cotations révèle des dynamiques distinctes, tout en montrant une tendance générale de hausse des prix à partir de 2020.

Le cacao reste relativement stable jusqu'en 2020, puis connaît une forte hausse attribuée à une offre limitée, une demande accrue, des crises géopolitiques et des conditions climatiques défavorables. La pandémie a également perturbé les chaînes d'approvisionnement.¹

Le café présente une volatilité marquée, avec une reprise nette depuis 2020, principalement due à des problèmes d'approvisionnement et des conditions climatiques extrêmes au Brésil et au Vietnam. La pandémie a exacerbé cette volatilité.²

Le jus d'orange, stable au début, connaît une forte hausse après 2020, causée par des sécheresses et des maladies des agrumes au Brésil, ainsi que des perturbations liées à la pandémie.³

Le pétrole montre des fluctuations cycliques, avec des pics en 2011 et 2022, et des baisses dues à des crises économiques ou sanitaires, notamment en 2020. Depuis 2021, une reprise est observée en raison de la relance économique post-COVID et des décisions de l'OPEP+.

Le sucre suit des cycles réguliers, avec une remontée depuis 2019, amplifiée par les perturbations liées à la pandémie.

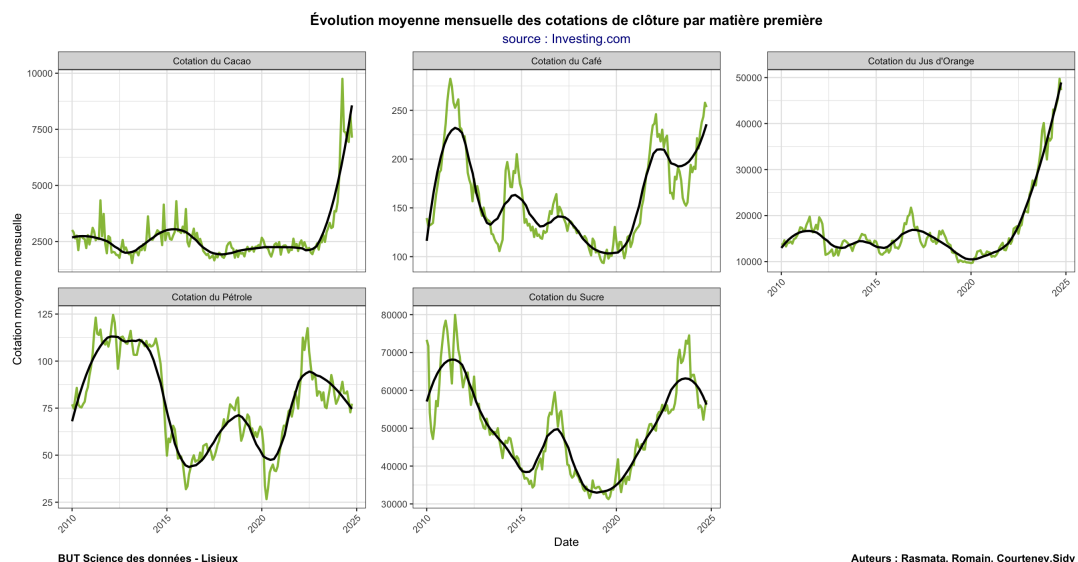


Fig. 4 - Évolution moyenne des cotations de clôture par matière première

Globalement, la hausse des prix depuis 2020, visible pour la plupart des matières premières, peut être attribuée à des facteurs mondiaux tels que les crises géopolitiques, les changements climatiques et la reprise économique post-pandémie, bien que chaque produit soit influencé par des dynamiques spécifiques liées à son marché.

1. Source : Oiko Credit.
2. Source : ICO.
3. Source : LSA Conso.

2.3 Étude du taux d'évolution de la moyenne mensuelle de la cotation journalière de chacune des matières premières

Le graphique illustre les variations mensuelles du taux d'évolution des cotations fermées pour plusieurs matières premières, mettant en évidence des dynamiques distinctes influencées par des facteurs économiques et climatiques.

Le cacao présente des fluctuations marquées, avec des pics atteignant +80 % et des creux proches de -40 %, témoignant d'une forte sensibilité aux aléas climatiques, aux crises géopolitiques et à la demande mondiale. Bien que ces oscillations soient importantes, une tendance globalement croissante se dégage, soulignant l'impact des perturbations sur l'offre et la demande, notamment dans les pays producteurs.

Le café, quant à lui, montre des variations modérées, oscillant entre -10 % et +30 %. La volatilité y est moins marquée, ce qui reflète une stabilité relative de l'offre et de la demande. Une tendance croissante reste néanmoins perceptible, en raison de l'amélioration continue des conditions de production dans les principaux pays producteurs, tout en tenant compte des effets de la pandémie sur la chaîne d'approvisionnement.

Le jus d'orange, dont l'évolution était plus stable avant 2020, affiche une nette augmentation après cette période. Cette hausse est due à des perturbations climatiques, telles que des sécheresses, et à une demande accrue pour des produits considérés comme sains dans un contexte post-COVID-19, accentuée par une réduction de l'offre.

Le pétrole, gravement impacté par la pandémie de COVID-19, connaît une chute spectaculaire autour de 2020, suivie d'une reprise progressive. Cette évolution reflète une tendance haussière modérée dans le cadre de la relance économique mondiale et des décisions stratégiques de l'OPEP+ pour soutenir les prix, en ajustant la production face à des tensions géopolitiques et économiques.

Le sucre présente une volatilité modérée, mais suit une tendance légèrement croissante, soutenue par une demande industrielle stable et des facteurs saisonniers influençant la production. Bien que moins sujet à des variations extrêmes, les dynamiques de ce marché sont influencées par les ajustements de la production mondiale.

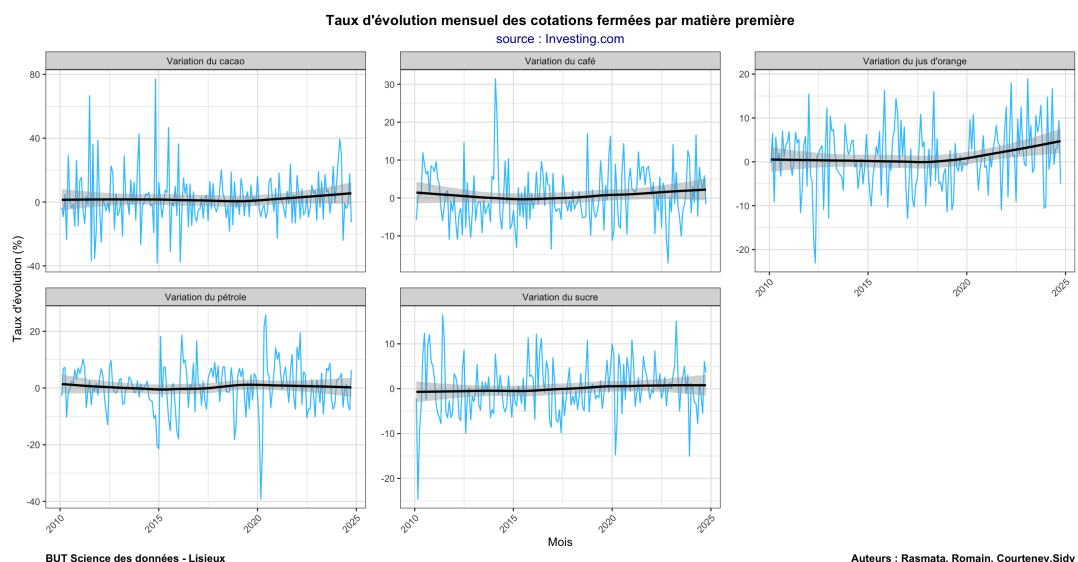


Fig. 5 - Taux d'évolution des cotations fermées par matière première

En somme, une tendance croissante est perceptible pour la majorité des matières premières, bien que la volatilité varie selon leur sensibilité aux facteurs climatiques, économiques et sociaux. Chaque matière première réagit différemment aux événements mondiaux, ce qui se reflète dans la diversité des taux d'évolution observés sur la période.

3 - Étude d'association entre cacao et café

Cette section explore l'association éventuelle entre les cotations journalières moyennes mensuelles du café et du cacao. L'objectif est d'évaluer si ces deux matières premières présentent des liens significatifs dans leurs variations au fil du temps.

3.1 Identification des données atypiques

L'analyse des données concernant l'association entre les cotations moyennes mensuelles du café et du cacao révèle plusieurs éléments intéressants, bien que la relation entre ces deux variables soit relativement modérée.

Tout d'abord, l'existence de données atypiques, notamment en mars, avril et septembre 2024, suggère que des événements exceptionnels ont pu perturber les marchés du cacao, tels que des conditions climatiques extrêmes ou des tensions géopolitiques, affectant la production ou la demande de manière ponctuelle. Par exemple, des sécheresses sévères et des vagues de chaleur ont affecté les principales régions productrices de cacao, notamment la Côte d'Ivoire et le Ghana, réduisant la production et augmentant les prix⁴

3.2 Analyse de la relation

En ce qui concerne l'association entre les cotations, la courbe de régression lissée indique une relation positive, ce qui signifie que lorsque les prix du café augmentent, les prix du cacao tendent également à augmenter. Cependant, l'intensité de cette relation est modérée, comme le montre un coefficient de corrélation de 40,05 %, et le coefficient de détermination de 16,04 % révèle que seulement 16 % des variations des prix du cacao peuvent être expliquées par les variations des prix du café. En d'autres termes, les autres facteurs influençant les prix du cacao sont loin d'être négligeables.

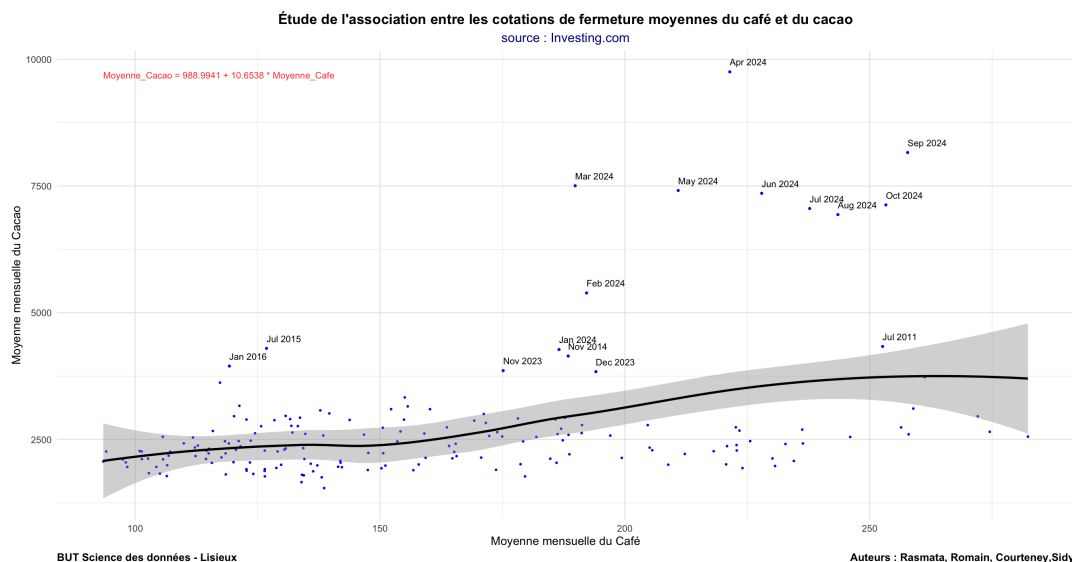


Fig. 6 - Étude de l'association entre les cotations de fermetures moyennes du café et du cacao

3.3 Modèle de régression linéaire

Le test d'hypothèse, avec une valeur p extrêmement faible (3,04e-08), confirme la signification statistique de la relation linéaire entre les deux variables, bien qu'elle soit modeste. L'équation

4. Source : agenceecofin.com.

de régression des moindres carrés,

$$Moyenne_Cacao = 988,9941 + 10,6538 \times Moyenne_Café,$$

montre que pour chaque augmentation d'une unité de la cotation du café, celle du cacao augmente de 10,65 unités.

Globalement, bien qu'une association positive entre les deux produits soit détectée, elle reste faible, suggérant que d'autres variables influencent plus directement les prix du cacao. De plus, l'existence de données atypiques indique qu'une exploration plus approfondie de ces anomalies serait nécessaire pour comprendre leur impact sur l'association et les prix des matières premières en général.

```
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1470.1  -606.3  -151.7   193.4  6404.0

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   988.994    306.350   3.228  0.00149 **
Moyenne_Cafe  10.654      1.837   5.798 3.04e-08 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1131 on 176 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.1604,    Adjusted R-squared:  0.1556
F-statistic: 33.62 on 1 and 176 DF,  p-value: 3.042e-08
```

Fig. 7 - Relation entre la cotation de fermeture moyenne du café et la cotation de fermeture moyenne du cacao : résultat de la régression linéaire

4 - Analyse des cotations du Brent

Cette section se concentre sur l'étude détaillée des cotations journalières du Brent depuis le 1er janvier 2010, avec une attention particulière sur les tendances, les composantes saisonnières, et les prévisions.

4.1 Visualisation des tendances générales

Le graphique illustre l'évolution mensuelle moyenne du prix du baril de Brent entre 2010 et 2024, avec une courbe lissée pour identifier les tendances majeures.

- **Tendances générales** : Jusqu'en 2014, les prix oscillent autour de 100 USD, suivis d'une chute marquée en 2014-2016 (environ 30 USD début 2016) due à une surproduction mondiale. Après une reprise en 2016-2018 (plus de 70 USD), la pandémie de COVID-19 en 2020 provoque une chute brutale, suivie d'une remontée rapide. De 2022 à 2024, les prix montrent des fluctuations dues aux tensions géopolitiques (ex. conflit russo-ukrainien) et aux politiques de l'OPEP.

- **Périodes marquantes** : - *2014-2016* : Crise pétrolière liée à l'offre excédentaire. - *2020* : Effondrement des prix sous l'effet du COVID-19. - *2022-2024* : Variations dues aux incertitudes géopolitiques.

- **Conclusion** : Ce graphique met en lumière l'influence des facteurs économiques et géopolitiques sur le marché pétrolier, fournissant une base d'analyse pour anticiper les évolutions futures.

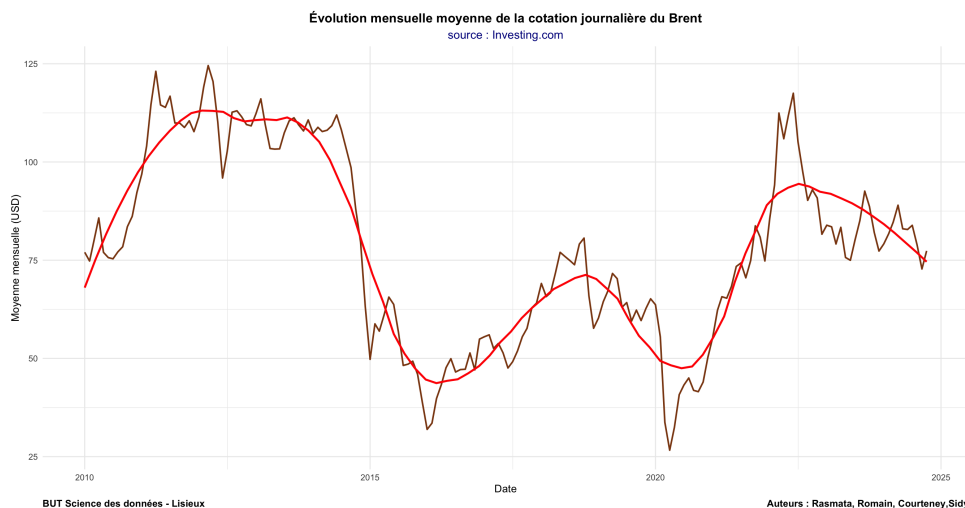


Fig. 8 - Évolution mensuelle moyenne du prix du baril de Brent (2010-2024)

4.2 Analyse des composantes saisonnières

Un diagramme des saisonnalités a été produit pour explorer la présence de composantes cycliques ou saisonnières dans les cotations. Ces variations permettent de mieux comprendre les fluctuations annuelles.

Les données utilisées pour cette analyse ont été extraites pour chaque mois de l'année, avec les moyennes mensuelles des cotations du Brent sur plusieurs années.

Le graphique ci-dessous illustre la variation de la moyenne mensuelle du Brent au fil des années, permettant de visualiser les tendances saisonnières. Les courbes montrent clairement les fluctuations annuelles typiques des cotations du Brent, avec des pics et des creux correspondant à des périodes spécifiques de l'année.

Ce graphique met en évidence les tendances saisonnières suivantes :

- **Saisonnalité marquée :** On note une tendance régulière avec des pics de prix en janvier, avril, octobre, et décembre, suivis de creux pendant l'été (juin à août).
- **Fluctuations par année :** Les prix du Brent varient d'une année à l'autre, avec des variations importantes observées, notamment en 2011 et 2020. La chute en 2020 est particulièrement marquée en raison de la crise du COVID-19.
- **Volatilité élevée en 2020 :** L'année 2020 montre une chute drastique, suivie d'une reprise progressive, illustrant la volatilité liée à la pandémie mondiale.
- **Tendance haussière après 2016 :** Globalement, une tendance à la hausse se dessine depuis 2016, malgré des baisses ponctuelles en raison d'événements géopolitiques ou économiques majeurs.

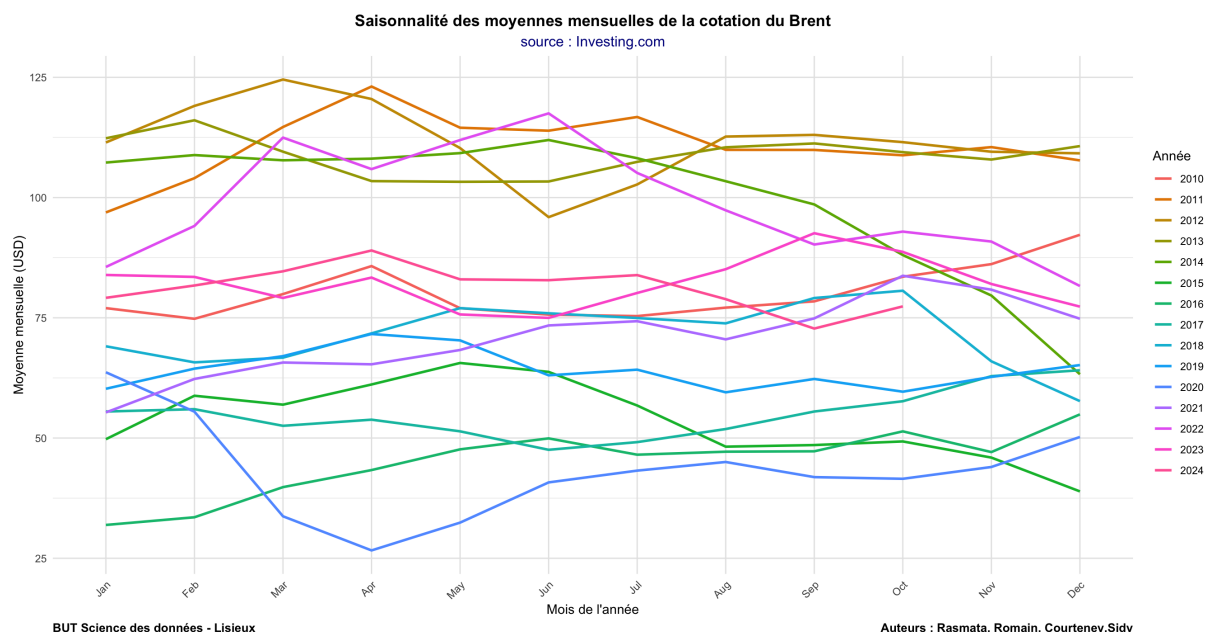


Fig. 9 - Saisonnalité des moyennes mensuelles de la cotation du Brent

4.3 Visualisation du comportement de la moyenne mensuelle de cotation journalière du Brent depuis le 1er janvier 2020

Nous avons filtré les données depuis le 1er janvier 2010 afin de mieux observer l'évolution des cotations du Brent, avec un focus particulier sur l'année 2020, marquée par des variations importantes dues à la pandémie de COVID-19. Le graphique ci-dessous présente la moyenne mensuelle des cotations avec une régression lissée.

Observations clés :

- **Chute de 2020** : En janvier 2020, le prix commence à 63,7 USD, mais chute fortement en mars (33,7 USD) et atteint son point bas en avril (26,6 USD), en raison de la baisse de la demande liée à la crise sanitaire mondiale.
- **Reprise en 2021** : Après avril 2020, les prix commencent à se redresser, atteignant 50,2 USD en décembre, et augmentent progressivement à partir de 2021, dépassant les 100 USD en 2022.
- **Fluctuations récentes** : En 2023-2024, les cotations oscillent autour de 80-90 USD, avec des fluctuations dues aux tensions géopolitiques et aux dynamiques économiques mondiales.

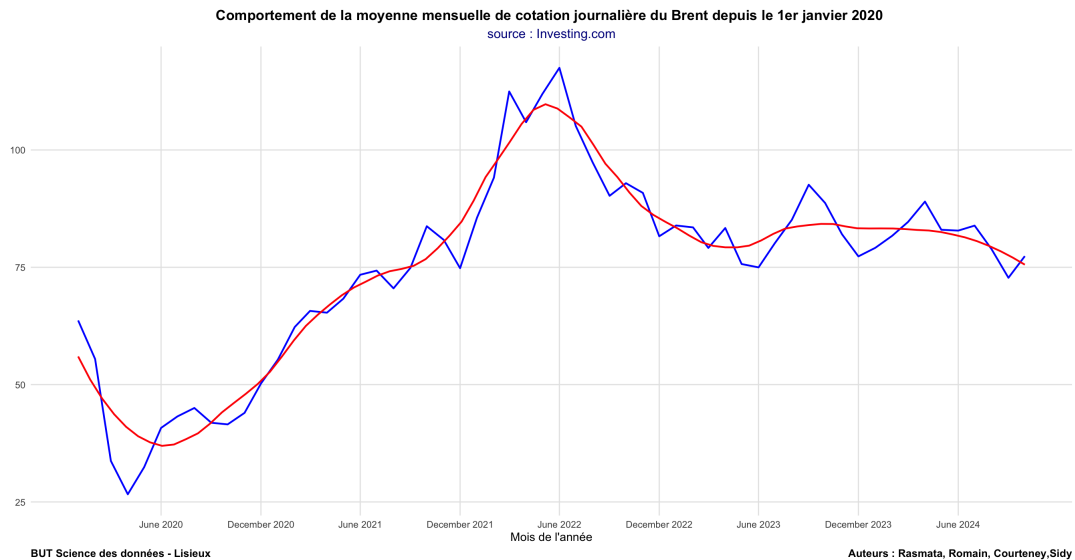


Fig. 10 - Comportement de la moyenne mensuelle de cotation journalière du Brent

4.4 Modélisation linéaire par morceaux

L'analyse des variations mensuelles moyennes de la cotation du Brent depuis janvier 2020 révèle des fluctuations notables, notamment en juin 2022 et juin 2023. Ces ruptures structurelles ont été intégrées dans le modèle de régression par morceaux à l'aide des variables explicatives Var_t1 et Var_t2 , segmentant ainsi la période d'observation en trois intervalles distincts :

- **Période 1 : Avant juin 2022**
- **Période 2 : Entre juin 2022 et juin 2023**
- **Période 3 : Après juin 2023**

Le modèle de régression par morceaux, intégrant ces variables, est formulé comme suit :

$$Moyenne_Brent = \beta_0 + \beta_1 \cdot Year_Month + \beta_2 \cdot Var_t1 + \beta_3 \cdot Var_t2 + \varepsilon$$

avec les coefficients estimés :

- β_0 : Intercept (-60084.463)
- β_1 : Effet global du temps ($+29.758$)
- β_2 : Effet de la première rupture (-52.417)
- β_3 : Effet de la seconde rupture ($+24.663$)

Les équations spécifiques aux périodes sont donc les suivantes :

1. **Avant juin 2022** ($Var_t1 = 0, Var_t2 = 0$) :

$$Moyenne_Brent = -60084.463 + 29.758 \cdot Year_Month$$

2. **Entre juin 2022 et juin 2023** ($Var_t1 = 1, Var_t2 = 0$) :

$$Moyenne_Brent = -60084.463 + 29.758 \cdot Year_Month - 52.417$$

3. **Après juin 2023** ($Var_t1 = 1, Var_t2 = 1$) :

$$Moyenne_Brent = -60084.463 + 29.758 \cdot Year_Month - 52.417 + 24.663$$

Le graphique ci-dessous illustre la sortie textuelle du modèle de régression linéaire par morceaux .

```
Call:
lm(formula = Moyenne_Brent ~ Year_Month + Var_t1 + Var_t2, data = brent_2020)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-12.371  -4.818  -1.543   1.790   33.535

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -60084.463    3942.116  -15.242 < 2e-16 ***
Year_Month    29.758       1.950   15.259 < 2e-16 ***
Var_t1       -52.417       5.824   -8.999 2.49e-12 ***
Var_t2        24.663       7.925    3.112 0.00297 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 8.64 on 54 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8314,    Adjusted R-squared:  0.8221
F-statistic: 88.79 on 3 and 54 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Fig. 11 - Résultat de la régression linéaire par morceaux

L'analyse des tendances révèle trois dynamiques distinctes :

- **Avant juin 2022** : Le coefficient $\beta_1 = +29.758$ indique une augmentation significative des prix du Brent au fil du temps, reflétant une forte croissance probablement liée à une augmentation de la demande mondiale et à des contraintes d'approvisionnement.
- **Entre juin 2022 et juin 2023** : L'ajout de $\beta_2 = -52.417$ réduit drastiquement la tendance croissante, suggérant un choc externe, tel que des déséquilibres économiques, des décisions géopolitiques ou des politiques énergétiques, ayant entraîné une baisse notable des prix.
- **Après juin 2023** : L'ajout de $\beta_3 = +24.663$ compense en partie l'effet négatif de β_2 , indiquant une reprise des prix, bien que la tendance croissante reste modérée par rapport à la période précédente.

En conclusion, ce modèle par morceaux s'avère pertinent pour expliquer les variations des prix du Brent en présence de ruptures structurelles. La capacité explicative élevée (R^2 ajusté de 82,2 %) confirme que ce modèle s'adapte bien aux fluctuations observées, offrant ainsi une compréhension approfondie des dynamiques du marché pétrolier au cours de la période étudiée.

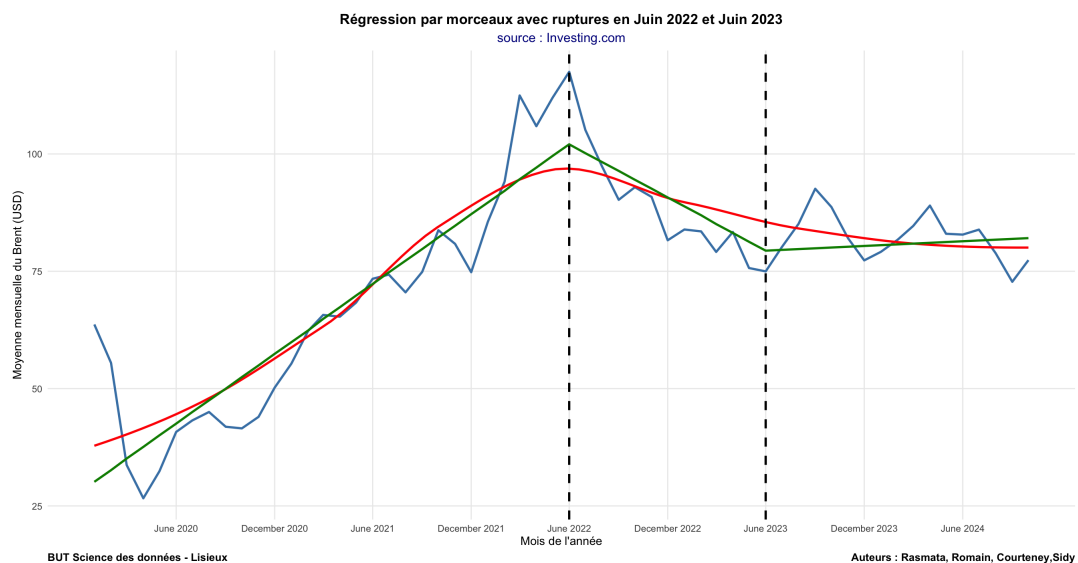


Fig. 12 - Régression par morceaux

4.5 Prédiction de la valeur moyenne mensuelle de la cotation du Brent pour les 26 prochains mois

Le graphique présente la prédiction des prix du Brent pour les 26 prochains mois, avec une bande de confiance à 95 %. La courbe de prédiction centrale montre une légère tendance croissante, suggérant une possible stabilisation et une reprise progressive des prix du Brent à long terme. Cela indique que, selon le modèle, les fluctuations majeures observées entre 2020 et 2023 ne sont pas anticipées dans les 26 mois suivants, sauf en cas de perturbations majeures.

À mesure que la période prévisionnelle s'éloigne, la bande de confiance s'élargit, ce qui reflète une incertitude croissante sur la précision des prévisions, une caractéristique typique des modèles de prédiction à long terme. La zone de prédiction inclut des tendances similaires à celles observées dans les données passées, et les fluctuations des prix semblent bien capturées par le modèle. La bande de confiance symétrique indique que le modèle prévoit une plage raisonnable de fluctuations, sans déséquilibres extrêmes à la hausse ou à la baisse.

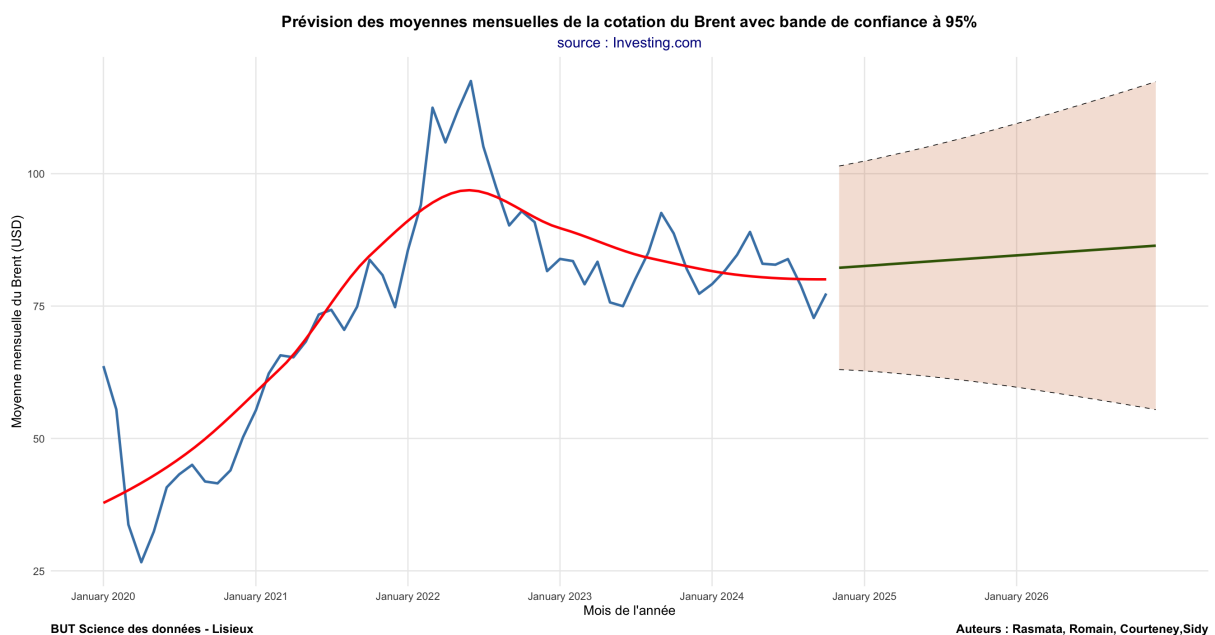


Fig. 13 - Prédiction des cotations mensuelles du Brent avec bande de confiance à 95%

Conclusion

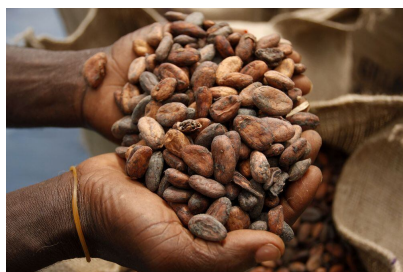
L'analyse des cotations des matières premières sur différentes périodes et sous divers angles met en évidence des dynamiques distinctes influencées par des facteurs géopolitiques, climatiques et économiques mondiaux. Les principales matières premières étudiées (cacao, café, jus d'orange, pétrole et sucre) révèlent des comportements complexes, où les tendances générales de hausse des prix, observées particulièrement après 2020, semblent être liées aux perturbations mondiales causées par la pandémie de COVID-19, les crises géopolitiques, et les conditions climatiques extrêmes.

Le cacao, bien qu'initialement stable, a vu ses prix augmenter de manière significative à partir de 2020, conséquence de crises géopolitiques et de phénomènes climatiques affectant les grands pays producteurs. De même, le café a connu une volatilité accrue en raison de chocs d'offre dus aux conditions climatiques et à la pandémie. Le jus d'orange a subi une pression haussière liée à des facteurs climatiques et à des perturbations dans la chaîne d'approvisionnement, tandis que les cotations du pétrole ont été fortement influencées par des crises géopolitiques, avec des pics en 2011 et 2022. Le sucre a montré une trajectoire plus stable, bien qu'il ait été affecté par les crises économiques et la pandémie.

Une caractéristique commune à toutes ces matières premières est la forte volatilité des prix, particulièrement visible pendant et après la pandémie. Les analyses des variations mensuelles et des taux d'évolution confirment l'importance de ces facteurs mondiaux dans la dynamique des prix.

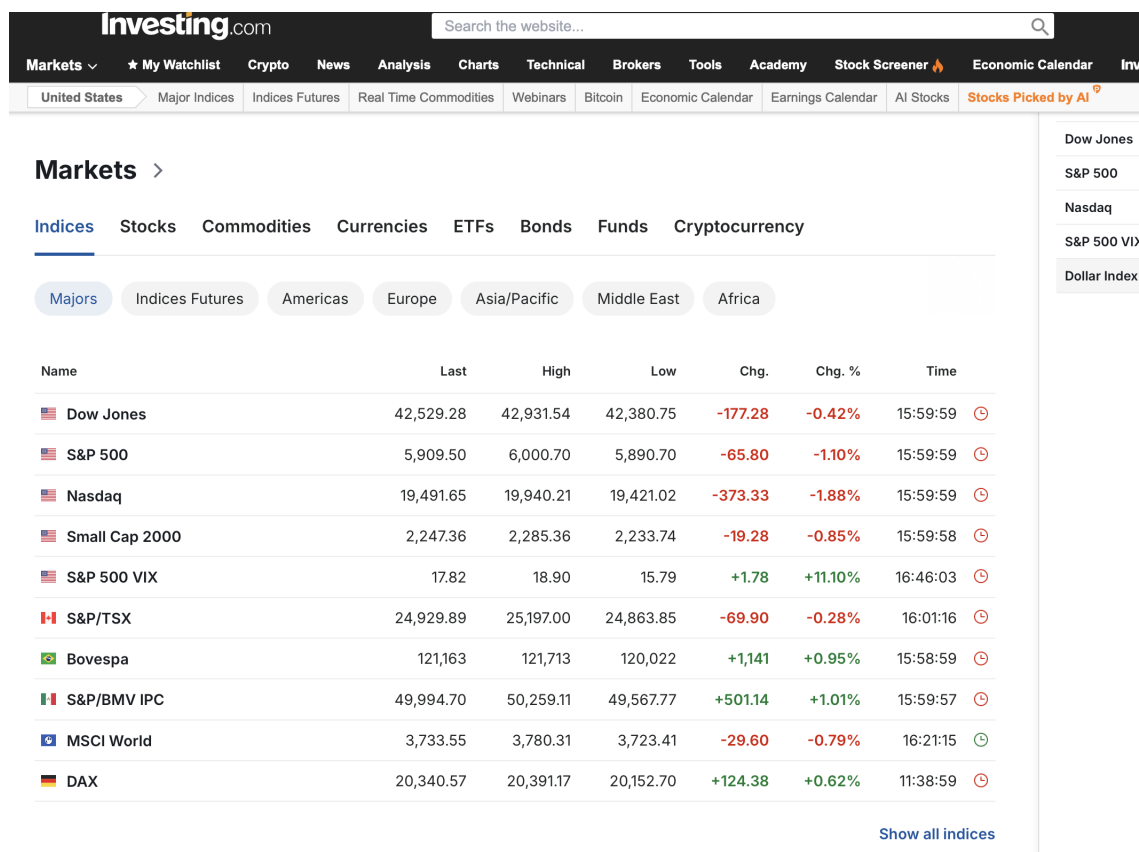
Le marché du Brent, quant à lui, a été marqué par de fortes fluctuations dues à des chocs géopolitiques et à l'offre, avec une tendance générale à l'instabilité mais avec des signes de stabilisation à partir de 2023. La saisonnalité, souvent observée dans d'autres marchés, n'est pas apparue sur le marché du Brent, ce qui témoigne de l'importance de facteurs externes dans la détermination des prix du pétrole.

En conclusion, ce projet démontre que les matières premières sont profondément influencées par une combinaison de facteurs externes complexes, où les tendances à long terme sont marquées par des événements ponctuels de grande envergure, notamment les crises économiques, les catastrophes climatiques et les tensions géopolitiques. Les analyses statistiques et les modélisations des prix de ces matières premières permettent de mieux comprendre leur évolution et les risques associés, tout en mettant en évidence la nécessité pour les acteurs du marché de s'adapter aux changements rapides et souvent imprévisibles.



Annexe

Le site **Investing.com** constitue une ressource fiable et exhaustive, fréquemment utilisée pour le suivi des cotations en temps réel et les analyses financières. Les données extraites de cette plateforme ont joué un rôle clé dans l'identification des tendances et des dynamiques des marchés des matières premières, en particulier pour le cacao.



The screenshot shows the Investing.com website interface. The top navigation bar includes links for Markets, My Watchlist, Crypto, News, Analysis, Charts, Technical, Brokers, Tools, Academy, Stock Screener, Economic Calendar, and Inve. Below this, a secondary bar highlights 'United States' and lists various market categories like Major Indices, Indices Futures, Real Time Commodities, etc. The main content area is titled 'Markets' and features a sub-navigation for Indices, Stocks, Commodities, Currencies, ETFs, Bonds, Funds, and Cryptocurrency. Under the 'Indices' tab, there are filters for Majors, Indices Futures, Americas, Europe, Asia/Pacific, Middle East, and Africa. A table of major indices is displayed, showing columns for Name, Last, High, Low, Chg., Chg. %, and Time. The table lists indices such as Dow Jones, S&P 500, Nasdaq, Small Cap 2000, S&P 500 VIX, S&P/TSX, Bovespa, S&P/BMV IPC, MSCI World, and DAX. A 'Show all indices' link is located at the bottom right of the table.

Name	Last	High	Low	Chg.	Chg. %	Time
Dow Jones	42,529.28	42,931.54	42,380.75	-177.28	-0.42%	15:59:59 ⬇️
S&P 500	5,909.50	6,000.70	5,890.70	-65.80	-1.10%	15:59:59 ⬇️
Nasdaq	19,491.65	19,940.21	19,421.02	-373.33	-1.88%	15:59:59 ⬇️
Small Cap 2000	2,247.36	2,285.36	2,233.74	-19.28	-0.85%	15:59:58 ⬇️
S&P 500 VIX	17.82	18.90	15.79	+1.78	+11.10%	16:46:03 ⬇️
S&P/TSX	24,929.89	25,197.00	24,863.85	-69.90	-0.28%	16:01:16 ⬇️
Bovespa	121,163	121,713	120,022	+1,141	+0.95%	15:58:59 ⬇️
S&P/BMV IPC	49,994.70	50,259.11	49,567.77	+501.14	+1.01%	15:59:57 ⬇️
MSCI World	3,733.55	3,780.31	3,723.41	-29.60	-0.79%	16:21:15 ⬆️
DAX	20,340.57	20,391.17	20,152.70	+124.38	+0.62%	11:38:59 ⬇️

[Show all indices](#)

Table des figures

1	Extrait du jeu de données	4
2	Extrait du fichier PDF du jeu de données sur le pétrole	5
3	Boxplot annuels des cotations journalières fermées par produit	6
4	Évolution moyenne des cotations de clôture par matière première	7
5	Taux d'évolution des cotations fermées par matière première	8
6	Étude de l'association entre les cotations de fermetures moyennes du café et du cacao	9
7	Relation entre la cotation de fermeture moyenne du café et la cotation de fermeture moyenne du cacao : résultat de la régression linéaire	10
8	Évolution mensuelle moyenne du prix du baril de Brent (2010-2024)	11
9	Saisonnalité des moyennes mensuelles de la cotation du Brent	12
10	Comportement de la moyenne mensuelle de cotation journalière du Brent	13
11	Résultat de la régression linéaire par morceaux	14
12	Régression par morceaux	14
13	Prévision des cotations mensuelles du Brent avec bande de confiance à 95%	15