

L'impact de l'éthanol sur le marché du maïs aux États-Unis

Travail de Bachelor réalisé en vue de l'obtention du Bachelor HES

par :

Maike DA SILVA

Conseiller au travail de Bachelor :

Marianne STOREY, maître d'enseignement HES

Lausanne, 16 juillet 2021

Haute École de Gestion de Genève (HEG-GE)

Filière Economie d'entreprise

Déclaration

Ce travail de Bachelor est réalisé dans le cadre de l'examen final de la Haute école de gestion de Genève, en vue de l'obtention du titre de Bachelor of Science en économie d'entreprise.

L'étudiant a envoyé ce document par email à l'adresse d'analyse remise par son conseiller au travail de Bachelor pour analyse par le logiciel de détection de plagiat URKUND.

<http://www.orkund.com/fr/student/392-orkund-faq>

L'étudiant atteste avoir réalisé seul-e le présent travail, sans avoir utilisé des sources autres que celles citées dans la bibliographie

L'étudiant accepte, le cas échéant, la clause de confidentialité. L'utilisation des conclusions et recommandations formulées dans le travail de Bachelor, sans préjuger de leur valeur, n'engage ni la responsabilité de l'auteur, ni celle du conseiller au travail de Bachelor, du juré et de la HEG.

Remerciements

Je souhaite remercier toutes les personnes qui ont été impliquées dans la réalisation de ce Travail de Bachelor :

En premier lieu, ma conseillère, Madame Marianne Storey, pour sa disponibilité et ses réponses durant le semestre qui m'ont guidé et m'ont permis d'avancer dans l'écriture de ce Travail de Bachelor.

Ensuite, mes connaissances qui m'ont aidé à relire ce travail.

Finalement, je remercie ma famille et mes proches qui m'ont soutenu et encouragé psychologiquement durant mon cursus à la Haute École de Gestion.

Résumé

Depuis 2005, il existe un mandat aux États-Unis appelé Renewable Fuel Standard (RFS) qui exige la production de volumes minimaux de carburants renouvelables. Ce Travail de Bachelor s'intéresse à la partie du bioéthanol à base de maïs. Aux États-Unis, le bioéthanol est presque entièrement fabriqué à base de maïs. En effet, l'objectif de ce travail est de savoir comment le bioéthanol a impacté le marché du maïs américain et comment ces deux marchés évolueront ensemble dans le futur. Malgré une grande partie littéraire estimant que la RFS et le bioéthanol à base de maïs sont les causes principales de la hausse du prix du maïs, il est clair d'après mon analyse que de nombreux facteurs en sont les causes essentielles.

Les causes principales de la montée du prix du maïs sont premièrement, les conditions météorologiques qui sont un facteur constant et qui peuvent faire diminuer la production et les stocks. Ensuite, la croissance démographique des pays en développement augmente la demande de maïs, ce qui impacte son prix, car les États-Unis sont les plus grands exportateurs de maïs. Par ailleurs, ce ne sont pas que les prix du maïs qui ont augmenté, mais le prix de toutes les matières agricoles. Au niveau énergétique, l'augmentation des prix du pétrole impacte à la hausse les coûts de la production de maïs. Il y a également les marchés des animaux d'élevage et de volaille qui impactent la demande de maïs. Malgré un lien évident entre les prix du pétrole brut, du bioéthanol et du maïs, les marchés de l'agriculture et de l'énergie ne se comportent pas toujours de la même façon. En effet, le pétrole influencera davantage le maïs, alors que ce dernier impactera surtout le bioéthanol.

La production de bioéthanol à base de maïs a eu des impacts positifs sur le prix de ce dernier, mais également sur les producteurs des deux commodités. Il est clair que l'industrie du bioéthanol a créé beaucoup d'emplois et contribue chaque année à l'économie américaine. De plus, la RFS a permis une baisse des prix du pétrole brut ainsi qu'un prix au détail de l'essence plus faible. Le bioéthanol a apporté une meilleure sécurité énergétique en réduisant la dépendance des États-Unis au pétrole brut. Étant des importateurs nets de pétrole brut, cela les rend moins exposés aux ruptures de production de pétrole brut venant de l'extérieur.

L'industrie du bioéthanol a permis d'améliorer l'environnement en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et de carbone. Depuis l'interdiction du MTBE, la demande de bioéthanol en tant qu'additif d'octane a également augmenté.

Table des matières

Déclaration.....	i
Remerciements.....	ii
Résumé	iii
Liste des tableaux	vii
Liste des figures.....	viii
1. Introduction.....	1
1.1 Qu'est-ce que le bioéthanol ?	1
1.2 Histoire du bioéthanol aux États-Unis	3
1.3 Utilisation du bioéthanol	3
1.3.1 Éthanol hydraté	4
1.3.2 Éthanol anhydre	4
1.3.2.1 E10	4
1.3.2.2 E15	4
1.3.2.3 E85.....	5
1.4 Explication du mandat « Renewable Fuel Standard »	5
1.5 Problématique.....	8
1.6 Méthodologie	9
2. Évolution de l'industrie du bioéthanol depuis la RFS	10
2.1 De 2007 à 2020	10
2.2 Situation du marché actuel du maïs aux États-Unis	19
2.3 Situation du marché actuel de bioéthanol aux États-Unis.....	22
2.3.1 Processus de production à base de maïs	22
2.3.2 Broyage sec	23
2.4 Co-produits	24
2.4.1 Revenu et coût d'un boisseau de maïs en 2020	24
2.4.2 Production de bioéthanol aux États-Unis en 2020	25
2.4.3 Importations et exportations de bioéthanol aux États-Unis.....	26

2.4.4	Production mondiale de bioéthanol en 2019 et 2020	28
2.5	Substituts de production au maïs	29
2.5.1	Blé	29
2.5.2	Betterave à sucre	30
2.5.3	Canne à sucre	31
2.6	Production et consommation de bioéthanol dans le monde dans les 10 années à venir	32
2.6.1	États-Unis.....	33
2.6.2	Brésil	34
2.6.3	Chine	34
2.6.4	Génération de bioéthanol utilisées dans les 10 prochaines années dans le monde..	35
2.7	L'impact du bioéthanol sur le prix du maïs	35
2.7.1	Suppression du MTBE.....	36
2.7.2	Coûts et rendements du maïs aux États-Unis.....	36
2.7.3	Facteurs et événements clés à la montée du prix du maïs.....	38
2.7.4	Part d'utilisation du maïs pour le bioéthanol.....	43
2.7.5	Subsides.....	45
2.7.6	Les crédits d'impôt pour le bioéthanol aux États-Unis.....	47
2.7.7	RINs (Numéro d'identification renouvelable).....	48
2.8	L'impact de la RFS sur les prix du pétrole brut et de l'essence.....	50
2.9	Relation entre les prix du maïs, du bioéthanol et du pétrole brut aux États-Unis.....	51
2.10	La spéculation au sein du Chicago Mercantile Exchange	52
2.11	Impact du COVID-19 sur l'industrie du bioéthanol.....	55
2.12	Impact Joe Biden.....	58
2.12.1	Dérogations des petites raffineries	59
3.	Synthèse.....	61
3.1	Synthèse du travail et des résultats obtenus	61

3.2 Le bioéthanol à base de maïs dans le futur	63
4. Conclusion	67
Bibliographie	69
Annexe 1 : Prix moyen annuel d'un boisseau de maïs (en dollars américains).....	76
Annexe 2 : Prix moyen annuel d'un baril de pétrole brut américain (WTI) (en dollars américains).....	77
Annexe 3 : Prix moyen annuel d'un gallon d'éthanol (en dollars américains).....	78
Annexe 4 : Structure du Chicago Mercantile Exchange	79
Annexe 5 : Niveaux limites des positions spéculatives obligatoires de la CFTC.....	80

Liste des tableaux

Tableau 1: Production du bioéthanol américain	11
Tableau 2: Production agricole américaine	12
Tableau 3: Marché américain de l'essence	14
Tableau 4: Marché de l'E15 et E85	15
Tableau 5: Demande, offre et prix du maïs américain pour les périodes 2018/2019 à 2021/2022.....	20
Tableau 6: La valeur ajoutée de l'éthanol.....	25
Tableau 7 : Production annuelle mondiale d'éthanol carburant (millions de gallons).....	28
Tableau 8: Rendement du blé et du maïs par acre planté, sans les paiements gouvernementaux.....	29
Tableau 9: Rendement et production de la betterave à sucre - États et États-Unis 2018-2020	30
Tableau 10: Rendement et production de la canne à sucre - États et États-Unis 2018-2020	31
Tableau 11: Coûts et rendements de la production de maïs aux États-Unis par acre planté sans les paiements gouvernementaux (en dollars américains par acre planté, sauf indication contraire)	36
Tableau 12: Les 10 pays les plus peuplés du monde en 2007	39
Tableau 13: Impact sur les revenus de l'industrie de l'éthanol en 2020 (en millions de dollars américains).....	56

Liste des figures

Figure 1 : Produits finis obtenus selon différentes matières premières.....	2
Figure 2: Objectif de volume de carburant renouvelable fixé par le Congrès en 2007	6
Figure 3: Volume final de carburant renouvelable pour 2019	7
Figure 4: Superficie et rendement moyen du maïs aux États-Unis.....	10
Figure 5: Prix en dollars américains par boisseau.....	13
Figure 6: Carte des stations proposant du E85 aux États-Unis	16
Figure 7: Carte des stations proposant du E15 aux États-Unis	16
Figure 8: Importations américaines de pétrole brut (milliers de barils).....	17
Figure 9: Production de pétrole des États-Unis de 2007 à 2019 (en millions de tonnes métriques).....	18
Figure 10: Utilisation du maïs par segment en 2020 (millions de boisseaux)	19
Figure 11: Production de bioéthanol aux États-Unis par type de méthode de production	22
Figure 12: Processus de fabrication de l'éthanol par broyage à sec.....	23
Figure 13: Production historique d'éthanol aux États-Unis	26
Figure 14: Exportations et importations d'éthanol des États-Unis.....	26
Figure 15: Répartition des exportations américaines d'éthanol par destination en 2020	27
Figure 16: Principales destinations des exportations américaines d'éthanol en 2019....	27
Figure 17: Production mondiale d'éthanol carburant en 2020 par pays (en millions de gallons).....	28
Figure 18: Évolution du marché mondial de l'éthanol.....	33
Figure 19: Production mondiale de biocarburants à partir de produits de base traditionnels et avancés	35
Figure 20: Production mondiale de maïs 1994-2010 (en tonnes)	40

Figure 21: Prix annuel moyen du pétrole brut WTI de 2000 à 2021 (en dollars américains par baril)	41
Figure 22: Prix moyen du carburant au détail aux États-Unis 2011-2021 (en dollars américains par gallon).....	42
Figure 23: Utilisation du maïs américain de 2016/2017 à 2019/2020 (en millions de boisseaux)	43
Figure 24: Prix du maïs, du blé et du soja corrigés de l'inflation 1912-2018	44
Figure 25: Subventions pour le maïs aux États-Unis 1995-2020 (en dollars américains)	46
Figure 26: Transactions d'un RIN dans le système de transactions modérées de l'EPA48	
Figure 27: Prix des RINs D6 de 2010 à 2021 (en dollars américains)	49
Figure 28: Part des importations totales aux États-Unis en provenance des pays de l'OPEP de 2000 à 2020 (en pourcentage).....	50
Figure 29: Entrées nettes de bioéthanol des raffineurs et mélangeurs 2017-2020 (en milliers de barils par jour).....	55
Figure 30: Production américaine de pétrole brut, importations nettes et entrées dans les raffineries de 2011 à 2020 (en millions de barils par jour)	57
Figure 31: Importations d'éthanol des États-Unis : Part de la consommation totale d'éthanol des États-Unis 2010-2010 (en pourcentage)	58
Figure 32: Nombre de dérogations des petites raffineries aux États-Unis 2011-2020 ...	59
Figure 33: Évolution du marché mondial de l'éthanol.....	64

1. Introduction

1.1 Qu'est-ce que le bioéthanol ?

Le bioéthanol est un alcool qui est utilisé pour faire un biocarburant renouvelable fabriqué à partir de la biomasse. La différence entre l'éthanol et le bioéthanol sont leur matière première. L'éthanol est à base de matières fossiles alors que le bioéthanol est fait à base de matières renouvelables.

Le bioéthanol pur est non toxique et biodégradable. Mais pour qu'il puisse servir comme carburant, des dénaturants chimiques et toxiques y sont ajoutés avant d'être mélangés à l'essence.

Le bioéthanol peut réduire la pollution, car il est plus propre. Une fois les deux matières mélangées, le niveau d'octane est plus élevé et donc plus résistant à l'auto-inflammation, mais les émissions d'évaporation sont également plus élevées. C'est pour cela qu'un traitement est ajouté à l'essence avant de le mélanger au bioéthanol. Ainsi, les émissions d'évaporation sont diminuées.

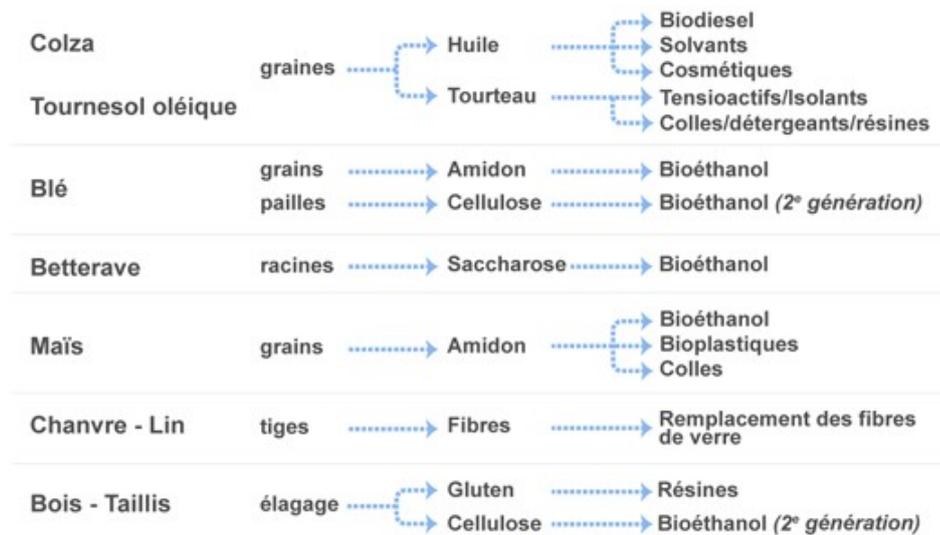
Évidemment, la combustion du bioéthanol entraîne également des émissions de CO₂¹. Cependant, comme le bioéthanol est fabriqué à partir de biomasse, cette dernière transforme le CO₂ en oxygène durant sa croissance. Ensuite, une fois le bioéthanol fabriqué, le CO₂ absorbé par la croissance de la biomasse compense celui produit par la combustion du bioéthanol.

En allant plus en détail dans le processus de fabrication du bioéthanol, on remarque donc que l'effet CO₂ dépend de la façon dont le producteur va fabriquer et fermenter le bioéthanol.

Les différentes matières pouvant être utilisées à la création du bioéthanol sont mentionnées ci-dessous.

¹ Dioxyde de carbone

Figure 1 : Produits finis obtenus selon différentes matières premières



(Connaissance des énergies 2013)

Il existe 3 générations de biocarburants selon le mandat américain « Renewable Fuel Standard ».

- 1^{re} : Le bioéthanol créé à partir de plantes riches en sucre (betterave, canne à sucre) ou en amidon (maïs, sorgho, orge, blé)
- 2^e : Le bioéthanol créé à partir des parties non alimentaires des plantes (paille, tiges, bois, déchets de papiers, déchets organiques)
- 3^e : Le bioéthanol créé à partir d'hydrogène produit par des micro-organismes ou à partir d'huile produite par des microalgues

Comme le démontre la figure ci-dessus, selon la matière première et le processus de fermentation utilisés, on obtient différents biocarburants. Celui qui va nous intéresser durant ce travail va être le bioéthanol à partir de maïs.

L'un des gros points discutables pour le bioéthanol de première génération était l'occupation des terres agricoles initialement prévues pour la production d'aliments destinés à nourrir l'Humain et les animaux. La production de bioéthanol des 2 et 3^e génération n'ont pas besoin d'occuper ses territoires ou en tout cas n'ont pas besoin d'agrandir ces derniers.

Les États-Unis veulent produire dans le futur du bioéthanol avec des méthodes qui utilisent moins d'énergie que la fermentation conventionnelle et donc n'utiliser que les 2 et 3^e génération. Ces dernières utilisent également moins d'engrais et de pesticides que la méthode de la 1^{re} génération.

1.2 Histoire du bioéthanol aux États-Unis

Au début des années 1850, l'éthanol était utilisé pour l'éclairage aux États-Unis. Au milieu de cette décennie, plusieurs états américains instaurèrent une taxe sur l'alcool. À la suite de cette décision, le prix de l'éthanol a augmenté au point qu'il était devenu trop cher en comparaison aux autres carburants. Sa production a alors chuté et n'a plus décollé. Ce n'est qu'en 1906 que la taxe a été enlevée. 2 ans plus tard, la voiture T d'Henry Ford est créée. M. Ford l'avait conçue pour fonctionner avec un mélange d'essence et d'alcool. Ce mélange appelé à cette époque le carburant du futur était la première apparition du bioéthanol. En 1919, a eu lieu, la fameuse période de la « Prohibition ». De 1920 à 1933, l'éthanol a été interdit parce qu'il était considéré comme une boisson alcoolisée. À partir du milieu des années 30, le bioéthanol est à nouveau utilisé comme carburant, mais à très basse échelle. (U.S. Energy Information Administration (EIA) 2021)

Ce n'est que dans les années 1970, pendant les très connus embargos pétroliers qui causèrent la hausse du prix du pétrole et des insécurités au niveau de l'approvisionnement, que le bioéthanol refait son apparition en tant que carburant alternatif.

C'est à la suite de ces événements que les travaux du département américain de l'énergie (US Department of Energy) sur les énergies renouvelables ont commencé pour trouver des alternatives au pétrole.

En 1997, il y a eu la création du protocole de Kyoto, mis en place afin de réduire les émissions de gaz à effet de serre pour lutter contre le réchauffement climatique. Vers le début des années 2000, une hausse du prix du pétrole apparaît. Afin de respecter les engagements du protocole de Kyoto et également la sécurité d'approvisionnement d'énergie, le gouvernement américain encourageait les biocarburants en allant même jusqu'à leur donner un régime fiscal plus avantageux comme démontré dans la suite de ce Travail.

1.3 Utilisation du bioéthanol

Depuis bien des décennies, les voitures sont conçues pour rouler à l'essence ou au diesel. Le problème est que le bioéthanol pur n'est pas compatible avec les caractéristiques des véhicules de série. Pour l'intégrer, un mélange à faible quantité de bioéthanol à l'essence est nécessaire. Il est également possible de modifier les véhicules pour augmenter la quantité de bioéthanol mélangée. Enfin une solution très peu utilisée est de créer des véhicules 100 % bioéthanol.

Il existe donc 3 types de bioéthanol utilisés comme carburants :

- Éthanol hydraté dans des moteurs 100 % bioéthanol
- Éthanol anhydre (0-24 %) mélangé à de l'essence conventionnelle dans des moteurs traditionnels
- Éthanol anhydre (0-85 %) dans des véhicules à carburant modulable (VCM)

1.3.1 Éthanol hydraté

Cette solution offre la possibilité d'utiliser directement du bioéthanol hydraté, plus facile et moins cher à produire. Les moteurs (essence ou diesel), dans ce cas, doivent être légèrement modifiés, ou mieux encore, directement conçus à cet effet. Il s'agit de la solution retenue au Brésil pour les véhicules 100 % bioéthanol.

1.3.2 Éthanol anhydre

La quasi-totalité de l'essence actuellement vendue aux États-Unis contient environ 10 % de bioéthanol en volume. Il y existe actuellement 3 mélanges bioéthanol-essence différents. En effet, selon le pourcentage de bioéthanol mélangé à l'essence, cela va impacter la teneur en bioéthanol.

1.3.2.1 E10

L'essence contenant 10 % de bioéthanol est appelée E10. Actuellement, la quasi-totalité des voitures vendues sur le sol américain, y compris les modèles européens et japonais, ont une garantie des fabricants pour l'utilisation du bioéthanol jusqu'à hauteur de 10 %. Tous les véhicules à essence peuvent utiliser du E10 sans avoir à faire de modifications. (EIA 2021)

1.3.2.2 E15

Pour l'essence contenant 15 % de bioéthanol, l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) a décidé que tous les modèles de voitures, de camionnettes, de SUVs² et de VCM³ construits dès 2001 pouvaient utiliser de l'E15. (U.S. Energy Information Administration (EIA) 2021)

² Véhicule utilitaire sport

³ Les VCM sont des véhicules à carburants modulables qui peuvent utiliser aussi bien du bioéthanol que de l'essence dans le même réservoir

1.3.2.3 E85

Pour l'E85, c'est un peu plus compliqué. La quantité de bioéthanol dans le mélange peut varier de 51 à 85 %. (U.S. Energy Information Administration (EIA) 2021)

Cette teneur en bioéthanol varie selon divers critères comme la zone géographique et la température de l'air. Les seuls véhicules à pouvoir utiliser l'E85 sont les VCM.

1.4 Explication du mandat « Renewable Fuel Standard »

Depuis le début des années 1990, il existe plusieurs politiques concernant l'air pur et l'énergie. Ces dernières ont permis au marché des biocarburants de s'accroître aux États-Unis. La mise en vigueur de ce programme de normes découle de la loi sur la pureté de l'air (CAA⁴). Cette dernière a été modifiée par la loi sur la politique énergétique de 2005 (EPA⁵). Dans cette loi, figure le premier mandat de normes sur les carburants renouvelables (Renewable Fuel Standard) afin d'établir des quantités minimales de carburants renouvelables. En 2005, le gouvernement a créé un mandat appelé « Renewable Fuel Standard ». Elle est appelée RFS 1. C'est une norme sur les carburants renouvelables qui fixe des exigences quantitatives minimales pour l'utilisation de ces derniers.

En 2007, les objectifs d'utilisation des carburants renouvelables sont revus et sont cette fois-ci fixés pour obtenir une augmentation régulière de l'utilisation jusqu'en 2022. Le programme RFS a été modifié, car la loi sur l'indépendance et la sécurité énergétiques de 2007 (EISA⁶) a modifié la loi CAA. Ces décisions de l'Agence de protection de l'environnement américaine (EPA⁷) sont en accord avec les ministères américains de l'Agriculture et de l'Énergie. Depuis, le mandat est appelé RFS 2. Pour simplifier la lecture, il n'y aura plus de distinction entre la première et deuxième version.

La RFS est une politique américaine qui instaure des normes au niveau des volumes minimaux de carburant renouvelables. Les objectifs principaux du mandat sont d'accroître la sécurité nationale au niveau énergétique en étant moins dépendant du pétrole et également de réduire les émissions de GES⁸.

4 Clean Air Act

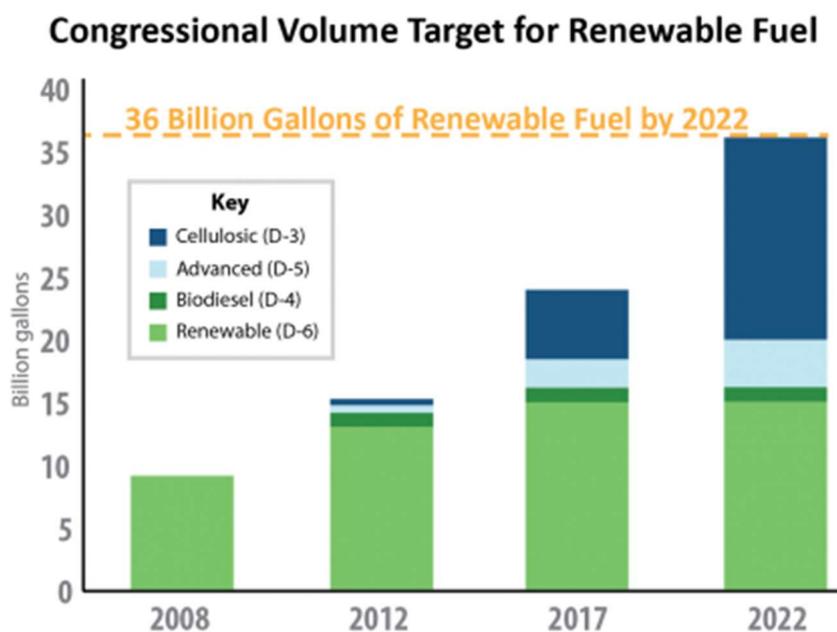
5 Energy Policy Act

6 Energy Independence and Security Act

7 Environmental Protection Agency

8 Gaz à effet de serre

Figure 2: Objectif de volume de carburant renouvelable fixé par le Congrès en 2007



(US EPA 2007)

La RFS indique des normes dans 4 catégories de carburants renouvelables :

- Biocarburant cellulosique (D3)
- Diesel à base de biomasse (D4)
- Biocarburant avancé (D5)
- Carburant renouvelable conventionnel (D6)

Le carburant renouvelable conventionnel (D6) est celui qui concerne l'éthanol à base de maïs. C'est sur cette catégorie que va se porter cette étude.

Comme dit précédemment, en 2007 il y a eu une nouvelle étendue d'exigences dans la RFS. Ces dernières ont augmenté la portée de la RFS avec notamment :

- Augmentation des objectifs à long terme à 36 milliards de gallons de carburant renouvelable
- Extension des volumes annuels jusqu'en 2022

Les installations qui produisaient du biocarburant avant l'entrée en vigueur des nouveautés en 2007 n'ont pas l'obligation de respecter les réductions des émissions du gaz à effet de serre. Cela est valable pour les installations internes et externes aux États-Unis.

Depuis 2007, énormément de progrès ont été faits au niveau de la production de bioéthanol. La consommation de carburants renouvelables a très fortement augmenté. L'un des principaux objectifs était de baisser les importations de pétrole aux États-Unis afin de réduire leur dépendance à cette énergie fossile ce qui a été fait. Les émissions de GES ont également diminué spectaculairement. De plus, depuis la RFS, il y a eu un investissement considérable dans l'industrie des biocarburants afin d'atteindre les objectifs de croissance de la RFS. En observant plus minutieusement, l'industrie du bioéthanol a permis d'augmenter la production de nourriture pour l'Homme et les animaux, mais également de créer des emplois dans les zones rurales où se trouvent les terres agricoles.

Figure 3: Volume final de carburant renouvelable pour 2019

	2019
Cellulosic biofuel (billion gallons)	0.42
Biomass-based diesel (billion gallons)	2.1
Advanced biofuel (billion gallons)	4.92
Renewable fuel (billion gallons)	19.92

(US EPA 2020)

Néanmoins, les objectifs en termes de biocarburant avancé et cellulosique sont loin d'atteindre les objectifs proposés en 2007 pour 2022. En effet, les exigences finales de volume de biocarburants pour 2019 ont été revues à la baisse et ne mentionnaient que 0.42 milliard de gallons. L'objectif de 2022 et même de 2017 est loin d'être atteint pour ces 2 catégories de biocarburants. À l'inverse, le biocarburant D6 a augmenté plus que prévu, car en 2019, le volume atteint dépassait déjà le volume exigé en 2007 pour 2022.

Le bioéthanol provient de biomasse. Pour que cette dernière soit une énergie renouvelable, il ne faut pas en diminuer la quantité, mais au contraire la garder stable ou l'augmenter sinon cela crée des déséquilibres au niveau de l'environnement. Si la quantité de biomasse diminue en volume, l'énergie est dite « propre » et non plus « renouvelable ». Selon la RFS, il faut que l'EPA approuve que le carburant renouvelable respecte les normes et les exigences de la loi. L'une des exigences est que ledit carburant réduise les émissions de GES. Pour cela, ils comparent le niveau des émissions par rapport à un niveau référence pour le pétrole mis en place en 2005.

- Concernant le bioéthanol, L'EPA a accepté le bioéthanol produit à partir de la canne à sucre et de maïs. Il représente le carburant renouvelable conventionnel (D6). Il doit atteindre un seuil de réduction des GES de 20 %
- Pour le biocarburant avancé, il est produit à partir de biomasse renouvelable admissible et doit avoir une réduction de 50 % des GES
- Quant au biocarburant cellulosique, ce dernier doit réduire de 60 % les émissions GES durant tout son cycle de vie

1.5 Problématique

Nous vivons dans une société qui se veut toujours plus écoresponsable. Les biocarburants sont très présents à travers le monde, mais plus particulièrement le bioéthanol depuis le début des années 2000. Depuis 2005, il existe un mandat aux États-Unis appelé « Renewable Fuel Standard » concernant la production de volumes minimaux de carburants renouvelables. Ce Travail de Bachelor s'intéressera à la partie du bioéthanol à base de maïs. En effet, l'objectif est de savoir quel avenir est réservé à ce carburant renouvelable et comment les marchés américains du maïs et du bioéthanol évolueront ensemble dans le futur.

Pour cela, il faudra premièrement comprendre la RFS et ses buts ainsi que ses objectifs de production de bioéthanol antérieurs et actuels. Ensuite, il y aura une analyse des impacts économiques du marché américain du bioéthanol sur le marché américain du maïs via la RFS. Une observation des effets du mandat sur le marché du maïs se fera à travers diverses analyses des changements d'offre et de demande des marchés du maïs, du bioéthanol ainsi que du pétrole brut. Cela permettra également d'examiner les impacts économiques des différents marchés entre eux.

En allant plus loin dans le questionnement des impacts, un des objectifs sera également de démontrer l'effet qu'a eu la RFS sur la rentabilité des producteurs de maïs à travers les années.

1.6 Méthodologie

Il était primordial dans un premier temps de me renseigner sur le sujet de ce Travail de Bachelor. Tout d'abord, il a fallu identifier et comprendre les différents acteurs et marchés nécessaires pour répondre à ma problématique.

La première partie de mon Travail a été la lecture de dizaines de documentations concernant le marché du maïs, du bioéthanol et de l'énergie afin de mieux comprendre le sujet et pouvoir faire mes analyses. La revue littéraire s'est faite à travers de revues et rapports économiques, universitaires, d'agences gouvernementales et d'associations afin de m'informer via des sources hautement qualitatives. En ajoutant mes connaissances acquises durant mon cursus à la Haute École de Gestion, cela m'a permis d'identifier et d'analyser les acteurs et marchés pertinents à ce Travail en faisant des liens entre ces derniers.

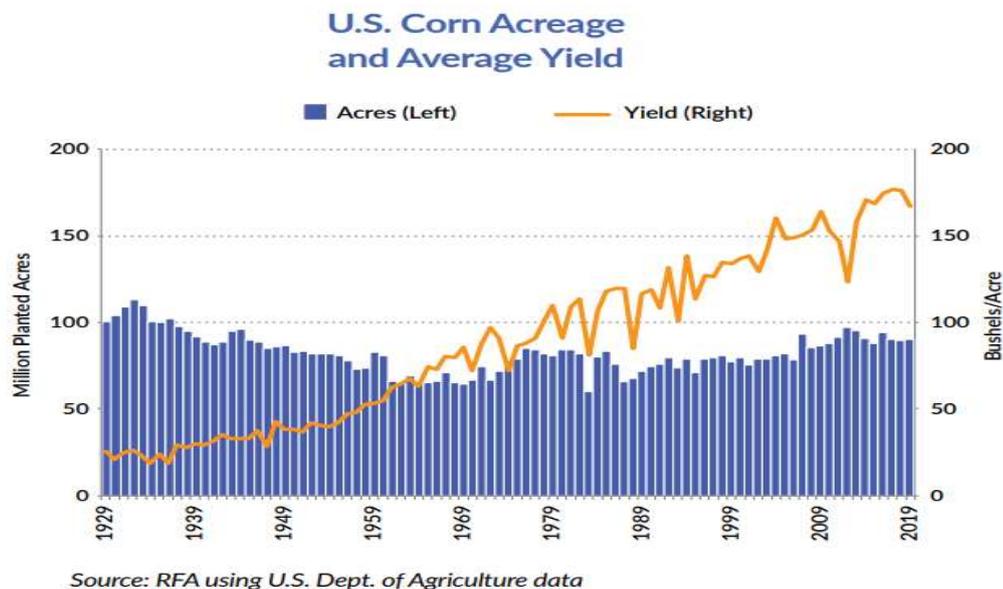
Premièrement, l'analyse documentaire a permis de comprendre l'évolution des différents marchés et de leurs situations actuelles avec des données illustrant les faits. Afin de pouvoir proposer des solutions pour le futur, une recherche sur les co-produits issus du maïs durant la production de bioéthanol était importante. Afin de récolter des informations sur les moyens de production utilisés à l'extérieur des États-Unis pour produire du bioéthanol, une recherche des substituts au maïs utilisés dans d'autres pays producteurs de bioéthanol a été faite. Il y a eu ensuite une analyse sur la montée du prix du maïs en mettant en évidence les différents événements et facteurs clés de cette montée des prix. Il était important de voir comment le COVID-19 a impacté le marché du bioéthanol américain sachant qu'il a causé en 2020 des dégâts dans le monde entier au niveau de la demande de carburants. L'année 2020 a également été importante pour les Américains, car ils ont élu leur nouveau président Joe Biden et ce changement peut potentiellement affecter les objectifs de volume du RFS et donc du bioéthanol. Finalement, il y aura les conclusions de cette recherche tout en mettant en avant les possibilités futures pour le marché du bioéthanol à base de maïs.

2. Évolution de l'industrie du bioéthanol depuis la RFS

2.1 De 2007 à 2020

Comme pour chaque sujet, il y a des avis qui divergent. L'une des principales divergences réside sur le fait que depuis l'augmentation de production de bioéthanol réglementé par la RFS, les acres de champs de maïs aient augmenté et aient fait diminuer les acres disponibles pour d'autres matières comme le blé ou le soja par exemple.

Figure 4: Superficie et rendement moyen du maïs aux États-Unis



(2020 Ethanol Industry Outlook 2020)

On remarque clairement avec le graphique ci-dessus qu'entre 2007 et 2019, les acres plantés (à gauche en bleu) sont stables. En revanche, le rendement (en orange à droite) n'a cessé d'augmenter de manière générale. La chute du rendement en 2012 a été la conséquence d'une incroyable sécheresse. Ce changement de rendement sera détaillé plus bas dans le document.

Tableau 1: Production du bioéthanol américain

Production bioéthanol américain	2007	2020	Différence
Usines opérationnelles	110	208	+89 %
Production bioéthanol (milliards de gallons)	6.5	13.8	+112 %
Coproduits alimentation animale (millions de tonnes métriques)	18.4	33.1	+80 %
Valeur brute production industrie (milliards de dollars)	17.8	23.0	+29 %
Emplois industrie du bioéthanol (directs, indirects, induits)	238'541	304'780	+28 %

(Maïke Da Silva 2021)⁹

Le fait est que depuis 2007, il y a eu des améliorations technologiques qui ont permis d'améliorer la productivité ainsi que les coûts dans l'industrie de l'agriculture. Comme il est démontré dans les tableaux ci-dessous, les usines ont augmenté de 89 % depuis 2007, mais la production a augmenté de 112 %. On fait plus avec moins. L'alimentation animale via les coproduits du bioéthanol ont augmenté également de 80 %.

De plus, comme pour le bioéthanol la productivité du secteur du maïs a également augmenté. Il y a eu 3 % de moins d'acres plantés et pourtant la production a connu une hausse de 9 %. Plus important, le rendement moyen a augmenté encore plus vite que la production pour atteindre 14 % de plus qu'en 2007. Les prix sont restés inchangés en 2020 par rapport à 2007. Mais en 2019, le prix moyen du boisseau de maïs était estimé à \$3.56 (World Of Corn 2021), soit ~15.23 % moins cher qu'en 2017.

Le but était de voir que l'année 2020, qui a été une mauvaise année a des chiffres bien meilleurs que ceux de 2007. En résumé, le rendement moyen augmente et la production augmente tandis que les acres plantés et le prix moyen des boisseaux diminuent.

⁹ Données issues de: MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. 2021 Ethanol Industry Outlook et RFS2 Ten Years, 2017. Renewable Fuel Association

Tableau 2: Production agricole américaine

Production agricole américaine	2007	2020	Différence
Production de maïs (milliards de boisseaux)	13	14.2	+9 %
Rendement moyen du maïs (boisseaux par acre)	150.7	172	+14 %
Acres de maïs plantés (millions d'acres)	93.5	90.8	-3 %
Prix moyen du maïs (\$/boisseau)	4.20	4.20	0 %

(Maïke Da Silva 2021)¹⁰

Beaucoup pensent que le bioéthanol a fait augmenter le prix du maïs. En réalité, il est possible d'observer dans le tableau ci-dessous que les prix ont augmenté de 2010 jusqu'en 2012. Il survient une grosse baisse de plus de \$2 par boisseau en 2013. De 2014 à 2019, le prix du boisseau est resté inférieur à \$4. La raison pour laquelle le boisseau est repassé au-dessus des \$4 le boisseau en 2020 nous est en grande partie connue : le COVID-19. Mais concernant la chute entre 2012 et 2013, c'est complètement différent. Tout d'abord, pour une commodité comme le maïs, l'offre et la demande dirigent son prix. Il faut faire attention au fait que les périodes de récolte sont connues à l'avance. L'offre et la demande connaissent ces moments. En 2012, l'année a été marquée par une sécheresse rarement vue dans les principaux états producteurs de maïs aux États-Unis. L'offre était donc beaucoup plus faible que prévu. D'après l'USDA¹¹, la production a baissé d'environ 13 % en relation à 2011 (USDA/NASS 2013). C'est ici le manque d'offre qui a fait grimper les prix. D'après l'USDA¹², l'année 2013 a été celle du record de production de maïs (jusque-là) avec ~13.8 milliards de boisseaux produits en comparaison avec les ~10.7 milliards en 2012 (USDA/NASS 2021). Cette fois-ci, l'abondance d'offre a fait chuter les prix en 2013. Depuis 2013, la production annuelle est restée stable au niveau de la production.

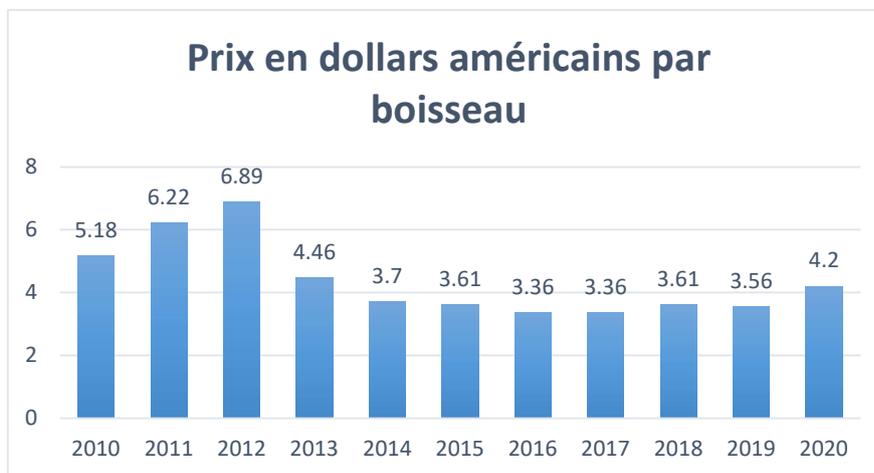
¹⁰ Données issues de: RFS2 Ten Years, 2017. Renewable Fuel Association et World Of Corn 2021, 2021. World Of Corn

¹¹ Crop Production Down in 2012 Due to Drought, USDA Reports Winter Wheat Seedings and Grain Stocks are also Reported, 2013. USDA, National Agricultural Statistics Service

¹² QuickStats Ad-hoc Query Tool, sans date. USDA/NASS

Mis à part en 2015 et 2019, la production n'a jamais été en dessous des ~14.1 milliards de boisseaux. Le record de production annuelle reste durant l'année 2016 avec ~15.1 milliards de boisseaux.

Figure 5: Prix en dollars américains par boisseau



(Maïke Da Silva 2021)¹³

Depuis la RFS en 2007, le bioéthanol n'a fait que gagner de la place dans le marché américain des carburants. Selon L'Agence d'information sur l'énergie américaine¹⁴, le volume de bioéthanol mélangé à l'essence en 2020 représentait plus de 10 % de la totalité de l'essence vendue aux États-Unis cette année-là (U.S. Energy Information Administration (EIA) 2021).

¹³ Données issues de: World Of Corn 2021, 2021. World Of Corn

¹⁴ Frequently Asked Questions (FAQs), sans date. U.S. Energy Information Administration (EIA)

Tableau 3: Marché américain de l'essence

Marché américain essence	2007	2020	Différence
Production bioéthanol (milliards de gallons)	6.5	13.8	+112 %
Production essence finie (milliards de gallons)	142.4	123.5	-13 %
Taux de mélange de bioéthanol (%)	4.56	11.17	-

(Maïke Da Silva 2021)¹⁵

Depuis 2007, les importations de pétrole ont également baissé et les prix dans les stations de carburants sont aussi plus bas. Avec les tableaux ci-dessus, il est visible que la production de bioéthanol a augmenté de 112 %, mais que celle de l'essence finie a baissé de 13 %. Pour avoir une analyse plus réelle de la situation, le même constat doit être fait avec les chiffres de 2019. En 2019, la production d'essence finie aux États-Unis était de ~142.7 milliards de gallons¹⁶. Il y a une légère augmentation par rapport à 2007, mais comparée à celle de la production de bioéthanol, elle est inexistante. De 2007 à 2020, la production annuelle d'essence finie¹⁷ a oscillé entre ~133.5 (2012) et ~143.2 (2016) milliards de gallons.

¹⁵ Données issues de: MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. 2021 Ethanol Industry Outlook et RFS2 Ten Years, 2017. Renewable Fuel Association et U.S. Product Supplied of Finished Motor Gasoline (Thousand Barrels), 2021. U.S. Energy Information Administration (EIA)

¹⁶ U.S. Product Supplied of Finished Motor Gasoline (Thousand Barrels), 2021. U.S. Energy Information Administration (EIA) (avec une conversion de barils en gallons)

¹⁷ U.S. Product Supplied of Finished Motor Gasoline (Thousand Barrels), 2021. U.S. Energy Information Administration (EIA) (avec une conversion de barils en gallons)

Tableau 4: Marché de l'E15 et E85

Marché E15 et E85	2007	2020	Différence
Nbr stations essence proposant du E15	0	2150	---
Nbr états proposant du E15	0	30	---
Nbr stations essence proposant du E85	1208	5040	+325 %
Nbr états proposant du E85	24	42	+75 %
VCM en circulation (Millions)	6.7	22	+228 %

(Maïke Da Silva 2021)¹⁸

Ce n'est qu'en 2011¹⁹ que l'EPA a approuvé que tous les véhicules construits à partir de 2001 pouvaient utiliser de l'E15. L'E85 n'est utilisable que dans les VCM, et comme ces derniers étaient en construction depuis 1996, il est donc normal qu'en 2007 il y eût plus de stations vendant du E85 que du E15. Néanmoins les deux catégories de carburant ont augmenté considérablement et ce n'est pas que le nombre de stations qui est important. Sur les 50 états des États-Unis, le E15 et E85 sont retrouvés respectivement dans 30 et 42 états.

¹⁸ Données issues de: MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. 2021 Ethanol Industry Outlook et RFS2 Ten Years, 2017. Renewable Fuel Association et Alternative Fuels Data Center: Ethanol Blends, sans date. Alternative Fuels Data Center

¹⁹ Biofuels Basics, sans date. Growth Energy

Figure 6: Carte des stations proposant du E85 aux États-Unis



(E85 Prices 2021)

Le sud-ouest, l'est ainsi que le centre du pays sont très bien desservis. En revanche, du côté nord-ouest, les stations sont peu nombreuses en comparaison à la surface prise en compte.

Figure 7: Carte des stations proposant du E15 aux États-Unis

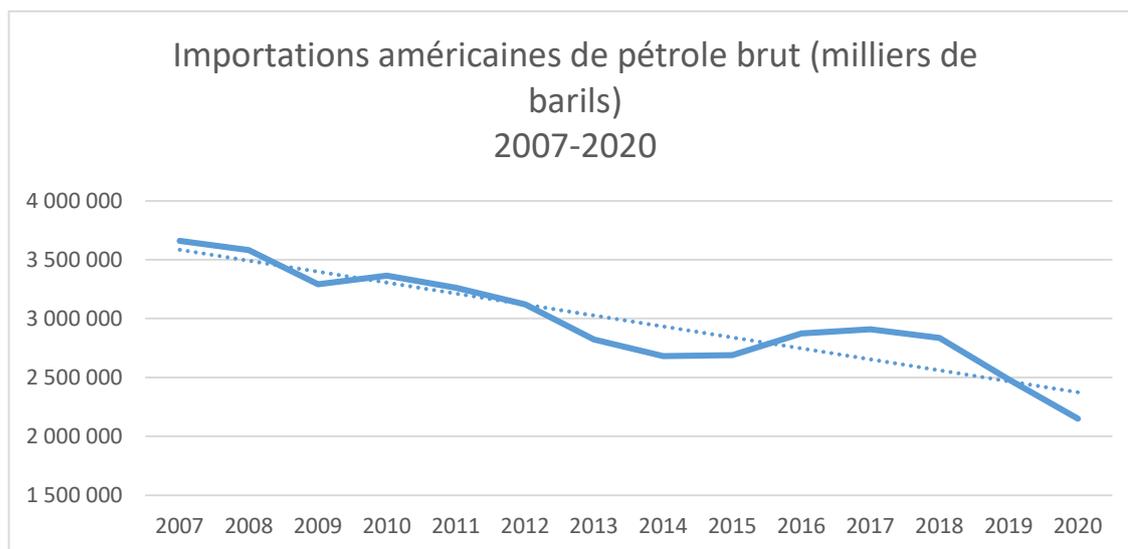


(E85 Prices 2021)

Concernant le carburant E15, la concentration est faite au niveau du centre et de l'est du pays. Il y a une importante lacune d'offre de ce type de carburant dans l'ouest et dans le sud-ouest. Que ce soit pour l'E15 ou l'E85, l'ouest est très mal desservi.

Ci-dessus au tableau 3, il est démontré que depuis 2007, la baisse de production d'essence est remarquable. Il est donc logique que la quantité importée de pétrole ait également baissé. Il faut savoir qu'une grande partie du pétrole brut importé est ensuite amené dans les raffineries locales pour en faire des sous-produits comme de l'essence ou du diesel par exemple. Les États-Unis importent du pétrole brut et une partie est exportée en sous-produits par la suite.

Figure 8: Importations américaines de pétrole brut (milliers de barils)

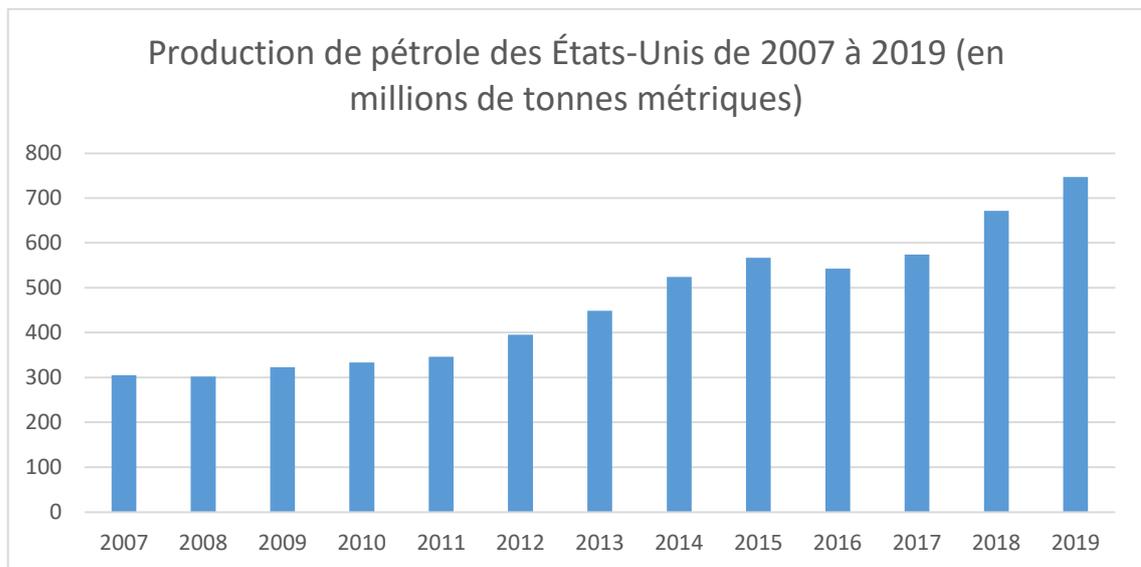


(Maïke Da Silva 2021)²⁰

Les importations de pétrole brut sont passées de 3'661'404 milliers de barils en 2007 à 2'150'808 milliers de barils en 2020. Il y a eu une légère augmentation en 2010 et une tendance à la hausse entre 2015 et 2017. Mais si l'on observe la courbe de tendance, il est évident que depuis 2007, les importations de pétrole brut des États-Unis sont en baisse.

²⁰ Données issues de: U.S. Imports of Crude Oil (Thousand Barrels), 2021. U.S. Energy Information Administration (EIA)

Figure 9: Production de pétrole des États-Unis de 2007 à 2019 (en millions de tonnes métriques)



(Maïke Da Silva 2021)²¹

À l'inverse, la production de pétrole aux États-Unis suit le chemin opposé de celui des importations. On voit bien qu'il y a une corrélation négative entre les importations et la production. Néanmoins, le graphique concernant la production englobe non seulement le pétrole brut, mais également d'autres sortes comme le pétrole de schiste ou de sable. Cela nous montre bien que si l'essence produite a diminué au fil des années ce n'est pas à cause de la production ou des importations de pétrole. Comme il est démontré dans le tableau du marché américain de l'essence, la quantité de VCM a augmenté afin de pouvoir utiliser de l'E85 qui est le biocarburant le plus consommé. Ce qui explique la diminution malgré tout de la production d'essence, c'est le mélange E85, car le taux de mélange du bioéthanol est plus grand que celle de l'essence.

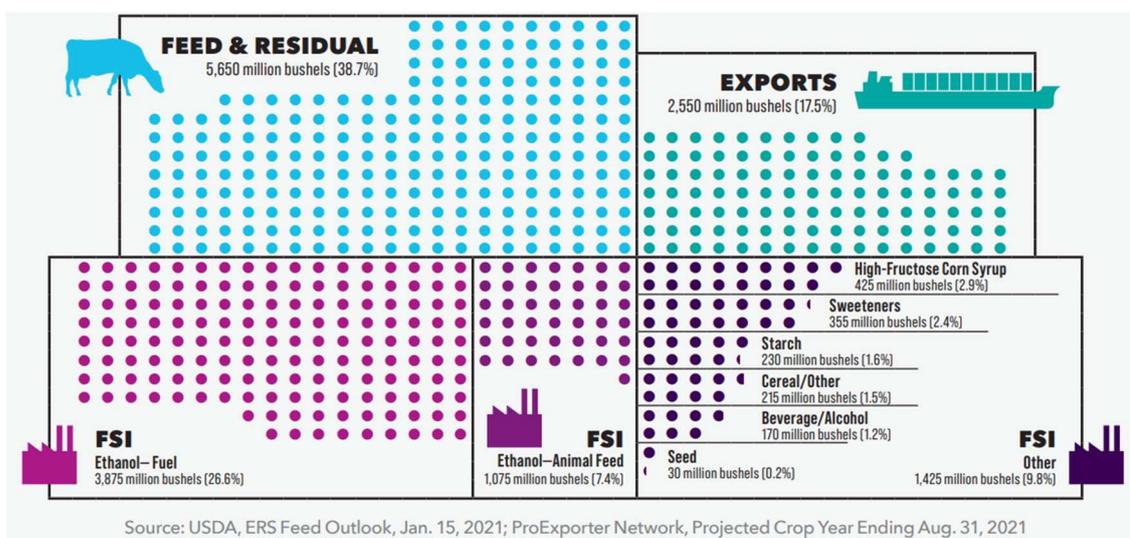
En outre, le bioéthanol est également utile pour diminuer les émissions de carbone dans les carburants. En effet, il faut augmenter l'indice d'octane pour cela. Le bioéthanol un très bon améliorateur d'octane a un haut niveau et est très bon marché en relation aux autres sources d'octane aux États-Unis. Les raffineries se servent du bioéthanol pour améliorer l'indice d'octane de l'essence de base pour répondre au mandat et pour diminuer leurs coûts. Le bioéthanol est la 2^e meilleure source d'octane et l'une des moins chères sur le marché.

²¹ Données issues de: U.S. oil production - in million metric tons 2019, 2021. Statista

2.2 Situation du marché actuel du maïs aux États-Unis

Les États-Unis sont non seulement les plus gros producteurs de maïs, mais également les plus gros exportateurs et consommateurs de la matière première. Cela est dû à sa capacité d'adaptation géographique et à son rendement de boisseaux par acre. En 2020²², il y a eu 90.8 millions d'acres plantés pour 82,5 millions d'acres récoltés. La valeur de la récolte avoisine les 60 milliards de dollars. Il y a eu environ 14,2 milliards de boisseaux produits. Le prix moyen du boisseau est de 4,20\$.

Figure 10: Utilisation du maïs par segment en 2020 (millions de boisseaux)



(2021 World Of Corn 2021)

Dans la période du 1^{er} septembre 2020 au 31 août 2021, les États-Unis devraient exporter 2'520 millions de boisseaux. Étant le plus grand consommateur de maïs, les États-Unis consommeront environ 12'025 millions de boisseaux durant la même période.

On voit ci-dessus qu'environ 30 % du maïs est utilisé pour produire du bioéthanol en 2021. Cependant, l'utilisation la plus répandue reste l'alimentation animale.

En considérant tous les différents segments du maïs ci-dessus, le revenu du maïs par acre est de 722\$²³.

²² World Of Corn 2021, 2021. World Of Corn

²³ World Of Corn 2021, 2021. World Of Corn

Tableau 5: Demande, offre et prix du maïs américain pour les périodes 2018/2019 à 2021/2022

	2018/19	2019/20	2020/21 1/	2021/22 2/
Area planted (mil. ac.)	88.9	89.7	90.8	92.0
Area harvested	81.3	81.3	82.5	84.4
Yield (bu./ac.)	176.4	167.5	172.0	179.5
Production (mil. bu.)	14,340	13,620	14,182	15,150
Beginning stocks	2,140	2,221	1,919	1,502
Imports	28	42	25	25
Supply	16,509	15,883	16,127	16,677
Feed & residual	5,429	5,903	5,650	5,850
Ethanol 3/	5,378	4,852	4,950	5,200
Total food, seed & industrial	6,793	6,282	6,375	6,625
Total domestic use	12,222	12,185	12,025	12,475
Exports	2,066	1,778	2,600	2,650
Total use	14,288	13,963	14,625	15,125
Ending stocks	2,221	1,919	1,502	1,552
Stocks/use (percent)	15.5	13.7	10.3	10.3
Season-avg. farm price (\$/bu.)	3.61	3.56	4.30	4.20

1/ Acreage, yield, production, and beginning stocks are estimates from the National Agricultural Statistics Service. Imports, use, ending stocks, and season-average farm price are projections from the *World Agricultural Supply and Demand Estimates*, February 9, 2021. 2/ Projections based on analysis by USDA's Feed Grains Interagency Commodity Estimates Committee. 3/ Corn used to produce ethanol and by-products including, distillers' grains, corn gluten feed, corn gluten meal, and corn oil.

(Grains oilseeds outlook 2021)

D'après le tableau ci-dessus, le marché du maïs américain devrait voir augmenter sa production, sa consommation, ses exportations pour cette année et l'année prochaine. Mais le département de l'agriculture américain prévoit également une montée des stocks de clôtures, bien qu'il soit faible en comparaison aux autres augmentations. Donc si la production augmente plus que les stocks de clôtures, il y aura moins de pertes de récoltes qui seront plus consommées et/ou exportées. Si l'on se fie aux prévisions du département américain de l'agriculture, la production de maïs devrait avoisiner les 15,1 milliards de boisseaux.

Ce chiffre représenterait une augmentation de ~6.8 % de plus qu'en 2020. Un possible meilleur rendement proche des 179.5 boisseaux par acre serait attendu si l'on se base sur la tendance des prévisions météorologiques. Les stocks de clôtures devraient donc augmenter d'environ 3 % par rapport à 2020 ce qui représente moins que la moitié de l'augmentation de la production (~6.8 %). Néanmoins, à cause des plus grands stocks de clôtures en 2019/2020, l'offre ne devrait augmenter que de ~3.4 % entre 20/21 et 20/22 pour atteindre ~16.7 milliards de boisseaux. Évidemment, cette analyse est possible, car les importations resteront au même niveau entre les 2 années. On peut observer que la production de bioéthanol devrait possiblement augmenter d'environ 5.05 % en 2021/2022 grâce à la reprise de la demande mondiale de carburant après que le COVID-19 l'ait fait fortement chuter.

Concernant les exportations, on voit qu'elles augmentent d'environ 1.9 %. La principale cause de cette augmentation est la Chine. Elle importe encore énormément de matières agricoles pour nourrir la croissance de son parc animal à la suite de la grippe porcine en 2020 qui a tué beaucoup de porcs qui sont l'un de leurs aliments principaux.

Malgré une augmentation d'environ 3.4 % pour l'utilisation totale, le ratio d'utilisation garde le même pourcentage entre 20/21 et 21/22. Comme dit au-dessus les stocks de clôtures reportés en 2020 en stocks initiaux pour 20/21, ce qui a fait augmenter l'offre totale. En dépit de l'augmentation de la production en 21/22, les stocks initiaux sont plus bas que l'année 20/21. La consommation intérieure et les exportations ont bien augmenté.

Dernièrement, le prix moyen du boisseau de maïs devrait atteindre les \$4.20, soit une baisse de ~2.3 %. Certes le prix moyen a baissé, mais il est important de garder à l'esprit que le rendement moyen de boisseau par acre a augmenté d'environ 4.3 %.

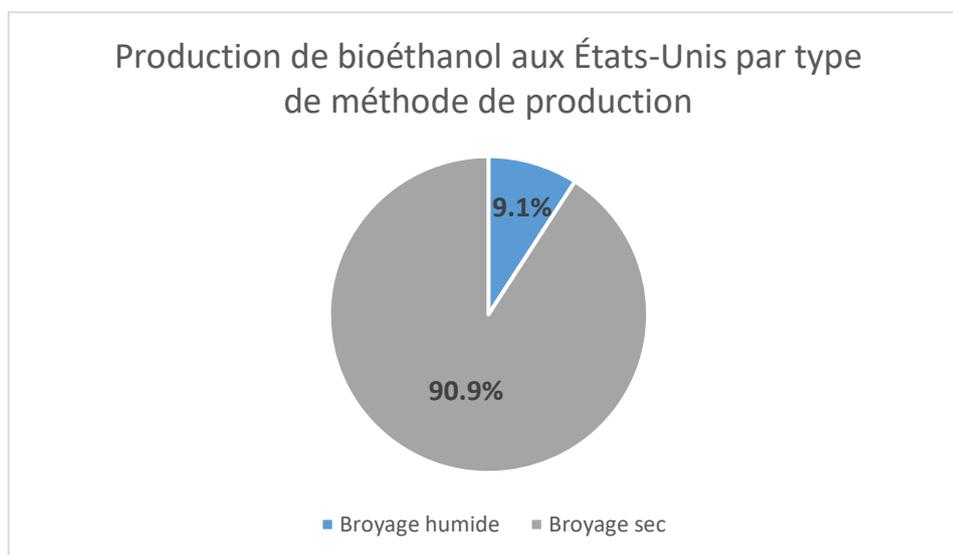
2.3 Situation du marché actuel de bioéthanol aux États-Unis

2.3.1 Processus de production à base de maïs

Tout d'abord, il faut comprendre le processus de production de bioéthanol à partir de maïs. La majeure partie (~94 %²⁴) du bioéthanol fabriqué aux États-Unis est distillée à partir du maïs. Il est abondant et son prix est faible. Les procédés de production de bioéthanol les plus courants aujourd'hui utilisent la levure pour fermenter l'amidon du grain de maïs en sucre, qui est ensuite transformé en alcool.

Il existe deux façons de broyer le maïs afin de produire du bioéthanol conventionnel. Le broyage à sec et celui dit humide. Le broyage à sec est cependant la méthode la plus utilisée avec plus de 90 % de la production du bioéthanol américain. Après le broyage à sec, ce qui n'est pas utilisé pour produire de bioéthanol, les producteurs en font drêches de distillerie séchées (DDG), des solubles distillés condensés (CDS) ainsi que du dioxyde de carbone. Pour ce qui est du broyage humide, les restes non utilisés servent à faire de l'huile de maïs, de la farine de maïs et également du dioxyde de carbone. L'une des grandes différences de type de broyage réside dans le premier procédé du broyage du maïs.

Figure 11: Production de bioéthanol aux États-Unis par type de méthode de production



(2020 Ethanol Industry Outlook 2020)

²⁴ MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. 2021 Ethanol Industry Outlook

2.3.2 Broyage sec

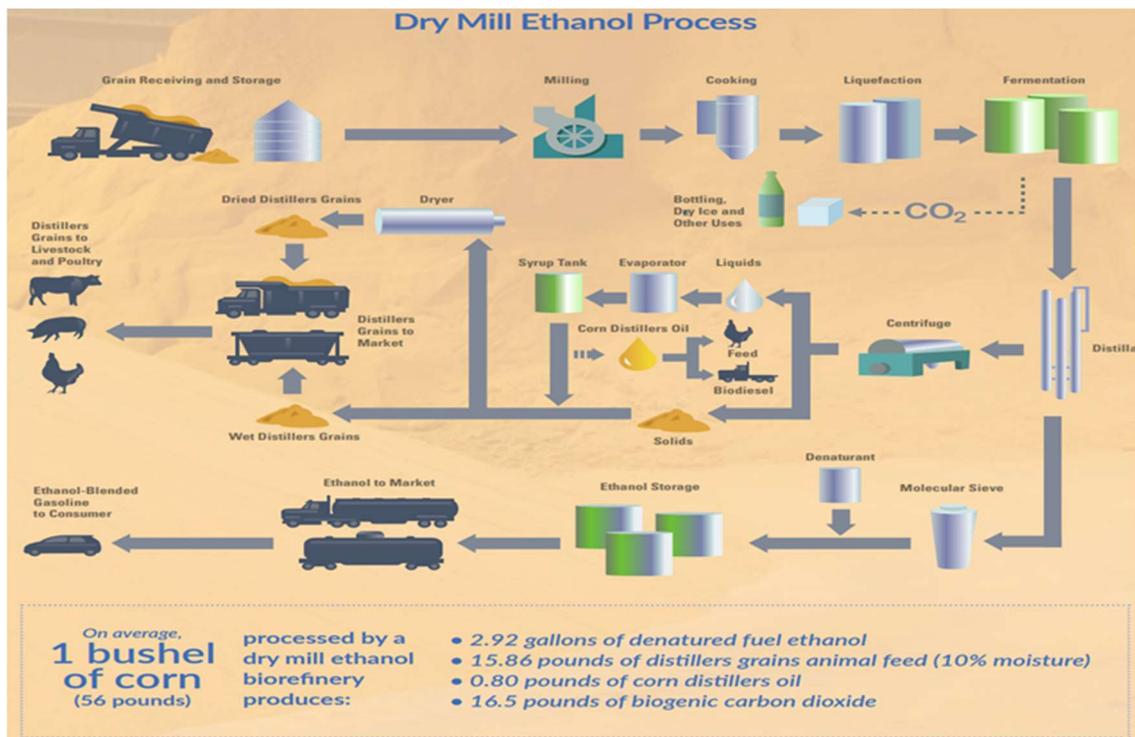
Les grains de maïs entiers sont d'abord broyés, ce qui va former une matière farineuse. Après une mise à l'eau de cette dernière, on obtient une purée à laquelle on ajoute des enzymes. Ce n'est qu'à ce moment que l'amidon est transformé en sucre. Le tout est cuit. Une fois la purée cuite refroidie, elle est amenée chez un fermenteur. Ce dernier va ajouter de la levure, ce qui va permettre au sucre de devenir de l'alcool.

Après la fermentation, il reste des solides et des solubles. Ceux-ci doivent être séparés afin d'en faire des sous-produits DDG et CDS comme expliqué plus haut. Le bioéthanol va ensuite être distillé et déshydraté. Il est important de notifier qu'il doit être déshydraté, car quand le bioéthanol est récupéré uniquement par distillation, cela donne du bioéthanol hydraté alors que par déshydratation, cela donne du bioéthanol anhydre.

Comme dit plus haut, le bioéthanol doit recevoir 2 % (Renewable Fuel Association 2020) de dénaturant afin de ne pas être buvable. La transformation en bioéthanol est terminée, et le produit est prêt à être mélangé à de l'essence.

Comme l'indique la figure ci-dessous, un boisseau de maïs (~25.4012kg) broyé à sec produit environ 2,92 gallons (~11,0534 litres) de bioéthanol.

Figure 12: Processus de fabrication de l'éthanol par broyage à sec



(2020 Ethanol Industry Outlook 2020)

2.4 Co-produits

S'il est vrai que la consommation de bioéthanol a chuté en 2020, le scénario est différent pour ses co-produits. Comme mentionné précédemment, la fabrication de bioéthanol à base de maïs ne donne pas que du bioéthanol. Quelques co-produits ont été cités, comme les drêches de distillerie séchées avec des solubles (DDGS) ainsi que l'huile de maïs distillé.

En 2020, aux États-Unis, les producteurs de bioéthanol ont produit environ 33,1 millions de tonnes de drêches de distillerie. Ces co-produits sont utilisés dans l'industrie de la nourriture animale. Environ un tiers de la production (11 millions de tonnes) des drêches a été exporté en 2020. Les importateurs les plus importants ont été l'Asie du Sud-Est et de l'Est ainsi que le Mexique avec 16 % des exportations américaines. (2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

Un autre co-produit est l'huile distillée de maïs. Ce marché représente environ 940 millions de dollars en 2020 et sert également à l'alimentation animale, mais également à celle de biodiesel. (2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

Le dernier co-produit est le dioxyde de carbone. Généralement, les États-Unis sont peu soucieux par le manque de CO₂, l'année 2020 était un cas à part. Le CO₂ est utilisé pour beaucoup de choses, notamment pour la gazéification dans le secteur des boissons gazeuses ainsi que pour la transformation de la viande. Aux États-Unis, les usines de bioéthanol captureraient entre 3 et 3,5 millions de tonnes de CO₂ par an si elles fonctionnaient à pleine capacité. Cela représente environ 40 % de l'offre totale américaine de CO₂. Les producteurs de bioéthanol représentent donc un acteur majeur dans la production de CO₂. Ces derniers ont contribué à la production de 2,3 millions de tonnes de CO₂ en 2020. (2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

2.4.1 Revenu et coût d'un boisseau de maïs en 2020

En se servant des prix et des rendements moyens en 2020, La RFA a constitué une valeur ajoutée monétaire pour le bioéthanol fabriqué à partir de maïs. Une usine de production de bioéthanol par broyage sec ajoute environ 37 % de valeur supplémentaire à chaque boisseau de maïs traité. (Ethanol Industry Outlook 2021)

Tableau 6: La valeur ajoutée de l'éthanol

Revenu boisseau de maïs 2020 en dollars américains		Coût boisseau de maïs 2020 en dollars américains	
Ethanol	\$ 3.48	Boisseau de maïs	\$ 3.42
DDGS (drêches de distillerie séchées avec solubles)	\$ 1.03		
Huile de maïs	\$ 0.18		
Total	\$ 4.69		\$ 3.42
Valeur ajoutée en dollars américains			
		\$ 1.27	

(Maïke Da Silva 2021)²⁵

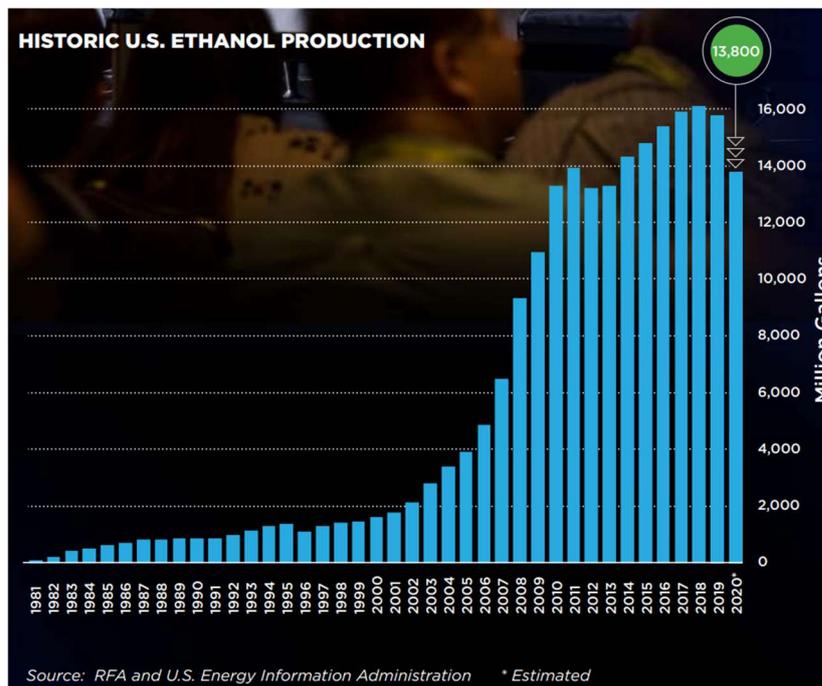
En 2020, le prix du maïs par boisseau était de \$3,42. Avec un revenu total de \$4,69 par boisseau, on obtient une valeur ajoutée de \$1.27, c'est-à-dire 37 % du coût du boisseau.

2.4.2 Production de bioéthanol aux États-Unis en 2020

Comme démontré grâce au graphique ci-dessous, les États-Unis ont produit en 2020 environ 13'800 millions de gallons de bioéthanol. Ce chiffre est loin d'atteindre ceux des années précédentes. Pour la première fois depuis 2013, la production était en dessous des 14'000 millions de gallons.

²⁵ Données issues de: MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. 2021 Ethanol Industry Outlook

Figure 13: Production historique d'éthanol aux États-Unis

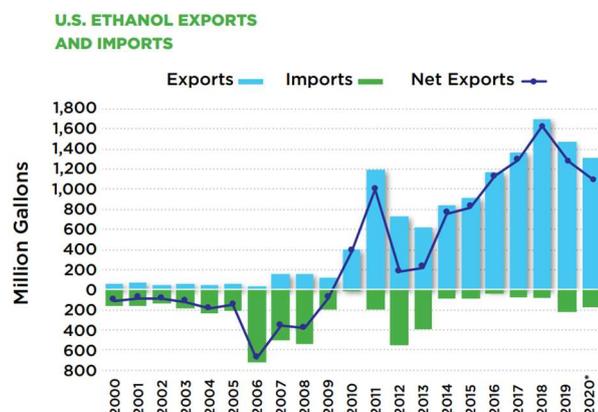


(2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

2.4.3 Importations et exportations de bioéthanol aux États-Unis

Les exportations ont également été touchées, car comme pour la production, elles n'ont jamais été aussi basses en 2020, et ce depuis 2017. La principale cause étant le COVID-19 qui, par les mesures prises par les différents gouvernements, a fait fortement diminuer la demande mondiale de carburant. Comme on peut le voir sur le graphique ci-dessous, les exportations ont baissé d'environ 9 % par rapport à 2019 et ont été de 1.3 milliard de gallons (2021 Ethanol Industry Outlook).

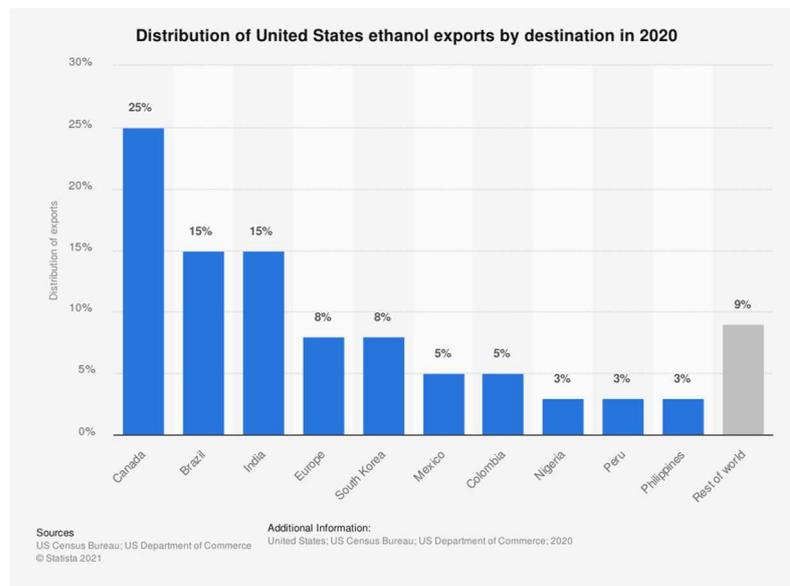
Figure 14: Exportations et importations d'éthanol des États-Unis



(2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

Cependant, si on regarde les exportations de plus près avec les figures 15 et 16 ci-dessous, il y a quand même du positif. Comme le montrent les graphiques ci-dessous, les expéditions vers l'Inde ont augmenté de 4 %. Le Brésil est passé de 24 % à 15 %. L'Inde et le Brésil se partagent donc la seconde place. Le Canada a augmenté ses importations de 3 %, ce qui fait qu'il importe un quart des exportations américaines de bioéthanol. Il est important également de constater que les exportations vers le Mexique ont plus que doublé.

Figure 15: Répartition des exportations américaines d'éthanol par destination en 2020



(Statista 2021)

Figure 16: Principales destinations des exportations américaines d'éthanol en 2019



(2020 Ethanol Industry Outlook 2020)

2.4.4 Production mondiale de bioéthanol en 2019 et 2020

En 2019, les États-Unis et le Brésil se partageaient 84 % de la production mondiale de bioéthanol. Il est intéressant de remarquer que les États-Unis ont eu une faible baisse depuis 2018, contrairement au Brésil qui ne cesse d'augmenter depuis 2017.

Tableau 7 : Production annuelle mondiale d'éthanol carburant (millions de gallons)

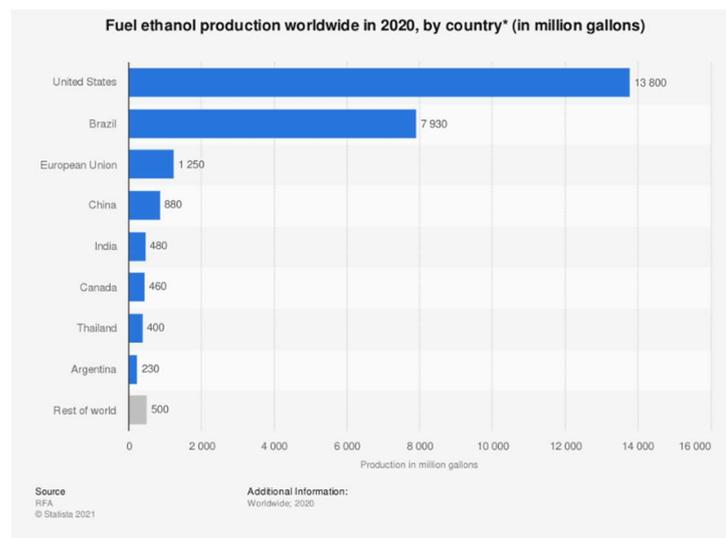
Annual World Fuel Ethanol Production (Mil. Gal.)

Region	2015	2016	2017	2018	2019	% of World Production
United States	14,807	15,413	15,936	16,091	15,778	54%
Brazil	7,200	6,750	6,650	7,990	8,590	30%
European Union	1,360	1,360	1,420	1,450	1,370	5%
China	770	670	800	770	1,000	3%
Canada	450	460	460	460	520	2%
India	190	280	200	430	510	2%
Thailand	310	340	390	390	430	1%
Argentina	220	240	290	290	280	1%
Rest of World	393	487	454	529	522	2%
Total	25,700	26,000	26,600	28,400	29,000	

(Renewable Fuels Association 2021)

Malgré la réduction de la production en 2020, Les États-Unis restent les premiers producteurs mondiaux de bioéthanol avec 53 % de la production mondiale (1 % de moins qu'en 2019). Même si le Brésil a également moins produit en 2020, il a suffisamment produit pour augmenter de 30 % à 31 % sa part de production mondiale.

Figure 17: Production mondiale d'éthanol carburant en 2020 par pays (en millions de gallons)



(Statista 2021)

2.5 Substituts de production au maïs

Comme c'est le cas pour le maïs, le sucre doit être fermentescible afin de créer du bioéthanol. Il en existe une multitude, mais ceux qui nous importent sont le glucose et le saccharose. Ils peuvent tous être transformés en bioéthanol par fermentation. Dans les deux catégories de sucres fermentescibles cités ci-dessus, il y a plusieurs matières premières végétales. Voici celles qui nous intéressent pour les substituts du maïs à la production de bioéthanol aux États-Unis.

- Les plantes amylacées (contenant de l'amidon) : blé, maïs
- Les plantes saccharifères : betterave, canne à sucre

2.5.1 Blé

Le blé est la deuxième céréale la plus produite au monde après le maïs. Cependant la production de blé est dominée par l'Union européenne, la Chine et l'Inde qui sont avec les États-Unis et le Brésil les 5 plus gros producteurs de bioéthanol dans le monde. En 2020, les États-Unis ne représentaient que 6 % environ de la production mondiale avec ~49,7 millions de tonnes²⁶.

Tableau 8: Rendement du blé et du maïs par acre planté, sans les paiements gouvernementaux

Blé		Maïs	
	2019		2019
Gross value of production		Gross value of production	
Total, gross value of production	249.80	Total, gross value of production	664.94
Operating costs		Operating costs	
Total, operating costs	129.40	Total, operating costs	337.38
Allocated overhead		Allocated overhead	
Total, allocated overhead	194.97	Total, allocated overhead	352.97
Costs listed		Costs listed	
Total, costs listed	324.37	Total, costs listed	690.35
Net		Net	
Value of production less total costs listed	-74.57	Value of production less total costs listed	-25.41
Value of production less operating costs	120.40	Value of production less operating costs	327.56
Supporting information		Supporting information	
Yield (bushels per planted acre)	53	Yield (bushels per planted acre)	173
Price (dollars per bushel at harvest)	4.58	Price (dollars per bushel at harvest)	3.83

(USDA ERS 2021)

Le blé est beaucoup moins compétitif que le maïs aux États-Unis. Bien que le prix du boisseau soit plus élevé pour le blé, le rendement lui est plus de 3 fois plus élevé pour le maïs. Cependant le blé est très utilisé dans la production de bioéthanol en Europe.

²⁶ Grain: World Markets and Trade, 2021. USDA Foreign Agricultural Service

2.5.2 Betterave à sucre

Comme pour le blé, la betterave à sucre est très répandue dans la production de bioéthanol uniquement en Europe et non aux États-Unis.

Tableau 9: Rendement et production de la betterave à sucre - États et États-Unis 2018-2020

State	Yield per acre			Production		
	2018 (tons)	2019 (tons)	2020 (tons)	2018 (1,000 tons)	2019 (1,000 tons)	2020 (1,000 tons)
California ¹	48.8	45.4	45.5	1,200	1,108	1,087
Colorado	32.6	30.7	31.3	831	746	742
Idaho	40.5	39.0	40.5	6,602	6,435	6,845
Michigan	29.1	28.6	28.3	4,307	4,147	4,358
Minnesota	25.7	25.0	26.1	10,486	8,425	11,145
Montana	31.1	31.6	31.3	1,319	1,153	1,189
Nebraska	31.9	25.4	31.0	1,407	1,069	1,417
North Dakota	28.8	26.0	24.9	5,731	4,420	5,453
Oregon	39.4	38.5	40.9	366	377	384
Washington	48.2	45.4	47.8	87	91	86
Wyoming	30.8	28.3	29.6	946	679	912
United States	30.4	29.2	29.4	33,282	28,650	33,618

(USDA, National Agricultural Statistics Service 2021)

Premièrement, les commodités n'ont pas toujours les mêmes caractéristiques en termes d'unités de mesure. Pour le maïs, l'unité de mesure est le boisseau et ici pour la betterave à sucre, il s'agit de tonnes.

D'après la figure ci-dessus, 33'618'000 tonnes de betterave sucrière ont été produites en 2020 aux États-Unis. La production de maïs en 2020 a été de 14,2 milliards de boisseaux. Sachant qu'un boisseau de maïs pèse ~25,40 kg, cela nous donne donc 360'680'000 tonnes de maïs produits en 2020. La production de maïs est plus de dix fois supérieure à celle de la betterave sucrière.

Concernant le rendement du maïs en tonnes par acre, il faut également le calculer. En 2019, le rendement moyen du maïs était de 168 boisseaux par acre (World Of Corn 2020). Cela vaut donc ~4.3 tonnes par acre. Le rendement de la betterave sucrière est donc presque 7 fois supérieur à celui du maïs en 2019.

2.5.3 Canne à sucre

La canne à sucre est la première matière première au Brésil pour produire du bioéthanol qui en est le 2^e producteur mondial.

Tableau 10: Rendement et production de la canne à sucre - États et États-Unis 2018-2020

State	Area harvested			Yield per acre ¹		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020
	(1,000 acres)	(1,000 acres)	(1,000 acres)	(tons)	(tons)	(tons)
For sugar						
Florida	397.0	397.0	401.0	41.7	42.8	43.8
Louisiana	425.0	442.0	462.0	35.3	27.7	32.5
Texas	37.6	31.3	33.5	36.6	33.6	34.0
United States	859.6	870.3	896.5	38.3	34.8	37.6

State	Production ¹		
	2018	2019	2020
	(1,000 tons)	(1,000 tons)	(1,000 tons)
For sugar			
Florida	16,555	16,992	17,564
Louisiana	15,003	12,243	15,015
Texas	1,376	1,052	1,139
United States	32,934	30,287	33,718

(USDA, National Agricultural Statistics Service 2021)

La canne à sucre est plus complexe, car le département de l'agriculture américain sépare en deux l'utilisation de la canne à sucre dans tous les documents : premièrement pour le sucre et deuxièmement pour les graines de semences. La partie intéressante concernant le bioéthanol est donc le sucre.

En 2020, les États-Unis ont produit 33'718'000 tonnes de canne à sucre. Nous sommes presque au même niveau de production que pour la betterave sucrière en 2020.

Le rendement de la canne à sucre est supérieur à celui de la betterave à sucre qui a la même unité de mesure. Par conséquent, le rendement de la canne à sucre est supérieur à celui du maïs.

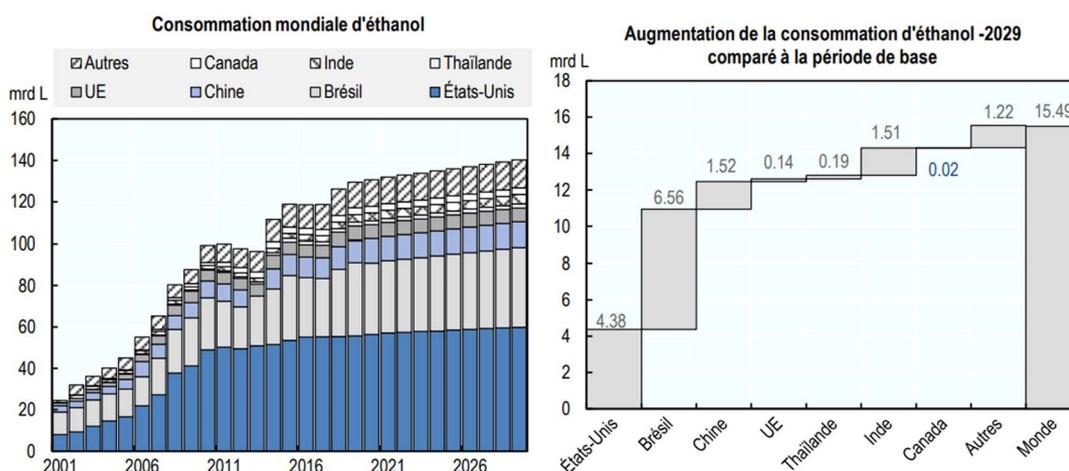
En résumé, malgré les différences de productions, de rendements et de productivité entre ces matières premières, l'élément majeur qui fait les États-Unis porter leur choix sur le maïs est que ce dernier n'est pas une importante ressource alimentaire humaine contrairement aux autres.

2.6 Production et consommation de bioéthanol dans le monde dans les 10 années à venir

Depuis le début des années 2000 à aujourd'hui le marché mondial du bioéthanol a sextuplé de nombre de gallons. Ce dernier est passé d'environ 4,5 milliards de gallons à plus de 26 milliards de gallons en 2020 (OECD/FAO 2020). Les États-Unis ne sont pas les seuls à avoir mis en place des politiques visant à privilégier les biocarburants. Mais certains pays ne produisent pas assez pour pouvoir subvenir à leur besoin en bioéthanol. Grâce à ces politiques, la demande de bioéthanol est soutenue. Les facteurs qui joueront sur le prix pour les pays comme les États-Unis ou le Brésil seront la demande mondiale de carburants et l'offre. La demande mondiale de carburants est indépendante de la RFS. Il sera détaillé plus tard qu'il y a une convergence entre le prix des biocarburants et les carburants dits conventionnels (essence, diesel). Plus les prix des biocarburants seront inférieurs aux carburants conventionnels, plus la demande de biocarburants sera grande. Ce n'est pas tout, les prix du bioéthanol sont également liés au prix des matières premières utilisées pour produire ce dernier. Cette liaison sera commentée plus en détail ultérieurement.

Avec ces politiques, la demande est assurée, mais comme certains pays ne produisent pas assez pour répondre à leur demande ils doivent importer. Les politiques sur les biocarburants jouent donc un rôle important dans le commerce mondial de bioéthanol. Les deux plus gros producteurs de bioéthanol mondiaux (États-Unis et Brésil) sont les seuls à avoir dans leur politique une mention pour le commerce international basé sur la demande du marché afin d'exporter une partie de leur production. Comme les politiques mises en place dans les autres pays pour soutenir les biocarburants servent surtout à nourrir le marché national, le volume total des échanges internationaux comparé à la production totale est faible. L'évolution des biocarburants dépend énormément de ces politiques ainsi que les mesures soutenant la production des biocarburants.

Figure 18: Évolution du marché mondial de l'éthanol



(OECD-FAO 2020-2029 Agricultural Outlook 2020)

2.6.1 États-Unis

En 2019, la RFS a revu à la hausse la quantité minimale obligatoire à incorporer des biocarburants avancés pour 2020, mais indépendamment du COVID-19, la production de bioéthanol de 2^e et 3^e génération est toujours insuffisante. Évidemment, il a fallu combler l'écart entre la quantité minimale de bioéthanol avancé à produire et celle réellement produite. Cela a avantagé la production de bioéthanol à base de maïs, car c'est avec le bioéthanol conventionnel que cet écart a été réduit. (OECD/FAO 2020)

D'après les perspectives de l'Agence internationale de l'énergie, les États-Unis consacreront de plus en plus d'importance au bioéthanol de 2^e et 3^e génération et la demande de bioéthanol devrait diminuer d'ici 2029 (World Energy Outlook 2020). Toutefois, d'après les perspectives de l'OCDE²⁷, les biocarburants avancés ne devraient pas augmenter à l'international, en tout cas pas avant 2024/2025 (OECD/FAO 2020). Le bioéthanol aux États-Unis devrait donc continuer à être produit à partir de maïs ce qui est très plausible au vu de leur dépendance au maïs comme expliqué précédemment.

Comme dit précédemment, 94 % du bioéthanol produit aux États-Unis est produit à partir de maïs de nos jours. L'OCDE estime que d'ici 2029, le bioéthanol américain sera produit à 98 % à partir de maïs et que la production du bioéthanol avancé gardera une production constante en relation aux chiffres actuels (OECD/FAO 2020).

²⁷ Organisation de coopération et de développement économiques

On voit à la figure 18 que la consommation de bioéthanol aux États-Unis devrait augmenter stablement pour atteindre une augmentation de 4.38 milliards de litres de plus en 2029 par rapport à 2020.

Concernant les exportations, les États-Unis devraient rester le 1^{er} exportateur d'ici 2029 avec une baisse prévue, car la demande intérieure sera plus conséquente comme démontré dans le graphique ci-dessus (OECD/FAO 2020).

2.6.2 Brésil

Le Brésil est le seul pays actuellement où les biocarburants occupent un peu plus de 10 % de la consommation d'énergie dans les transports. La majorité des véhicules en circulation au Brésil sont des VCM. Ils sont à un stade plus avancé qu'aux États-Unis, car ils disposent du carburant E100 qui signifie qu'il y a 100 % de bioéthanol et 0 % d'essence. Les VCM peuvent rouler avec les deux types de carburants. Encore une différence avec les États-Unis, le Brésil ne dispose pas de carburants avec plusieurs teneurs fixes en bioéthanol (E10, E15, E85). C'est l'État qui choisit le taux de mélange de bioéthanol entre 18 % et 27 % (OECD/FAO 2020). La fixation du taux est faite entre la relation du prix du sucre et le prix intérieur du bioéthanol. Il faut rappeler que la matière première utilisée à la production du bioéthanol au Brésil est la canne à sucre.

D'après la figure 18, le Brésil aura également une augmentation constante de la consommation de bioéthanol. Le fait remarquable est que le Brésil ait la plus grande augmentation de la consommation d'ici 2029 avec environ 6.5 milliards de litres en plus.

En relation aux exportations, le Brésil augmentera sa production en conséquence de la demande intérieure, ce qui laisse à penser que les exportations resteront stables ou diminueront en conséquence de leur capacité de production tout comme les États-Unis.

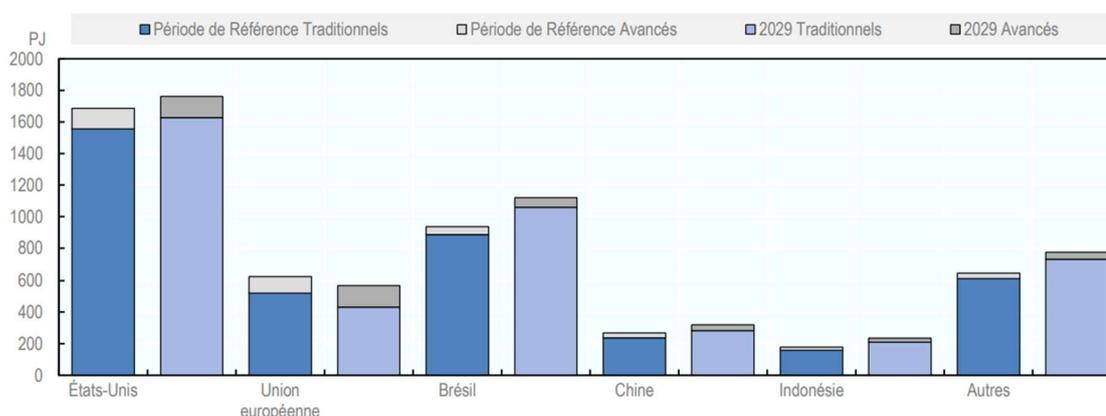
2.6.3 Chine

La Chine dispose d'une politique incitant à la production de bioéthanol E10 depuis 2002 dans certaines provinces. Comme pour les États-Unis, la matière première principale est le maïs. En 2018, le gouvernement chinois s'est fixé l'objectif d'élargir le programme E10 à 26 provinces sur les 34. Ils ont eu un problème de stock de maïs excédentaire et la grippe porcine citée plus haut n'a fait qu'augmenter les stocks de maïs. Depuis 2018, le taux d'incorporation fixé par le gouvernement chinois est de 2.1 %. D'après l'OCDE, ils devraient garder ce taux jusqu'en 2029 (OECD/FAO 2020). Cela est loin d'être au niveau du Brésil et des États-Unis au niveau du pourcentage du mélange.

2.6.4 Générations de bioéthanol utilisées dans les 10 prochaines années dans le monde

D'après la figure ci-dessous, il est très clair que les États-Unis comptent augmenter leur production de biocarburants en gardant le maïs pour le bioéthanol et l'huile de soja pour le biodiesel. Les biocarburants avancés de 2^e et 3^e génération stagneront au même niveau d'ici 2029. Le scénario est le même au Brésil et en Chine qui augmenteront leur production en gardant leur biocarburant de 1^{re} génération. L'Union européenne, quant à elle, réduira la production totale des biocarburants tout en augmentant la production des biocarburants avancés.

Figure 19: Production mondiale de biocarburants à partir de produits de base traditionnels et avancés



Note : Les produits de base traditionnels désignent ici les cultures vivrières et fourragères employées dans la fabrication des biocarburants. Valeurs en pétajoules = 10¹⁵ joules.

(OECD-FAO 2020-2029 Agricultural Outlook 2020)

2.7 L'impact du bioéthanol sur le prix du maïs

Il y a eu beaucoup d'études faites pour mesurer l'impact du bioéthanol sur le prix du maïs américain en concluant que le mandat avait fait augmenter le prix du maïs en comparaison à un scénario sans mandat. Les résultats d'une étude à l'autre varient énormément, car l'élément principal pour étudier ce lien était l'évolution du prix du maïs en fonction de celle de la demande de bioéthanol à base de maïs.

Il est important de rappeler que depuis l'augmentation de la demande des biocarburants via la RFS, le mandat a joué un rôle crucial sur la demande de maïs pour le bioéthanol et de soja pour le biodiesel. Ces deux matières ont donc depuis un lien qui est plus visible avec le pétrole duquel découle la production d'essence et de diesel.

2.7.1 Suppression du MTBE

La RFS a un impact sur le prix du bioéthanol également. Le problème est qu'il nous est impossible de savoir la quantité de bioéthanol qui aurait été produite depuis 2005 s'il n'y avait pas eu le mandat. Comme précisé précédemment, le bioéthanol est mélangé à l'essence depuis le siècle passé. De plus, le bioéthanol est devenu l'additif principal pour améliorer l'octane à la suite de la suppression du méthyl-tert-butyl-éther (MTBE) dans plusieurs états entre 2000 et 2007 (EIA 2018). Le MTBE a été banni en 2002 et 2004 respectivement dans les états de Californie et de New York. Ces derniers étaient dans les 3 plus gros consommateurs de MTBE aux États-Unis (EIA 2003). Il est impossible de savoir quelle aurait été la quantité de bioéthanol produite depuis 2005 aux États-Unis sans la RFS.

2.7.2 Coûts et rendements du maïs aux États-Unis

Tableau 11: Coûts et rendements de la production de maïs aux États-Unis par acre planté sans les paiements gouvernementaux (en dollars américains par acre planté, sauf indication contraire)

	Base survey of 2016				Base survey of 2010						Base survey of 2005				
	2019	2018	2017	2016	2015	2014	2013	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006	2005
Gross value of production															
Total, gross value of production	664.94	631.54	603.28	603.92	612.60	603.18	720.51	802.55	837.77	689.39	561.22	629.36	468.94	351.87	260.43
Operating costs															
Total, operating costs	337.38	330.27	329.29	340.55	333.80	356.92	355.60	349.59	332.33	286.41	295.01	295.69	228.99	205.98	186.37
Allocated overhead															
Total, allocated overhead	352.97	346.75	339.68	337.93	341.53	332.88	320.85	303.98	281.13	263.79	255.69	233.69	214.98	203.76	200.51
Costs listed															
Total, costs listed	690.35	677.02	668.97	678.48	675.33	689.80	676.45	653.57	613.46	550.20	550.70	529.38	443.97	409.74	386.88
Net															
Value of production less total costs listed	-25.41	-45.48	-65.69	-74.56	-62.73	-86.62	44.06	148.98	224.31	139.19	10.52	99.98	24.97	-57.87	-126.45
Value of production less operating costs	327.56	301.27	273.99	263.37	278.80	246.26	364.91	452.96	505.44	402.98	266.21	333.67	239.95	145.89	74.06
Supporting information															
Yield (bushels per planted acre)	173	184	185	183	167	170	156	118	146	159	156	144	143	138	149
Price (dollars per bushel at harvest)	3.83	3.42	3.25	3.29	3.66	3.54	4.61	6.79	5.73	4.33	3.59	4.36	3.27	2.54	1.74

(USDA ERS 2021)

Selon la figure 5, les prix ont baissé depuis 2012 et stagnent depuis. Je me suis donc intéressé au détail des coûts et des rendements du maïs. Le but n'est pas de savoir pourquoi les chiffres augmentent ou diminuent, mais de voir si les valeurs bougent dans une direction similaire. Tout d'abord, la valeur brute de la production totale en 2005 est bien plus basse par rapport à celles de 2003 et 2004 qui étaient respectivement de 319.62 et de 362.35. Pour rappel, l'année 2005 représente l'année de la première RFS. En 2006, il y a une remise à niveau pour atteindre l'entre-deux des valeurs de 2003-2004. Il y a eu en 2007 une énorme augmentation de la valeur brute de ~33,27 % par rapport à 2006. En 2008 le scénario se répète avec une augmentation encore plus impressionnante de ~34,20 %. L'augmentation entre 2006 et 2008 est d'environ 78,86 %. En 2009, la valeur brute baisse, mais reste plus élevée que celle de 2007.

En 2010, les chiffres augmentent à nouveau et dépassent même ceux de 2008 de ~9 % qui était le record jusque-là. L'année 2011 est jusqu'ici l'année avec la valeur brute la plus haute jamais enregistrée aux États-Unis avec une valeur de \$837.77/acre plantée, soit plus de 21 % par rapport à 2010. Malgré la sécheresse de 2012, il y a eu quand même beaucoup d'acres qui ont été plantés, ce qui explique la haute valeur brute dépassant les \$800/acre planté qui ne sera plus atteinte jusqu'à aujourd'hui. En 2013 et 2014, la valeur brute chute de plus de 10 % chaque année et depuis 2014, la valeur brute reste stable entre les \$~603 et \$~665 par acre planté.

Au niveau des coûts totaux, le scénario n'est pas tout à fait le même que celui de la valeur brute de la production. En prenant l'année de 2006 comme celle qui se rapproche le plus des valeurs avant la RFS, il y a eu des augmentations des coûts chaque année jusqu'en 2009. En effet, en 2009, alors que la valeur brute baissait, les coûts totaux ont augmenté d'environ 4 %. En 2010, c'est le schéma inverse qui se produit, alors que la valeur brute augmentait en 2010 pour atteindre un niveau record, les coûts totaux baissaient même si la diminution représentait moins de 1 %. De l'année 2012 à 2014 ainsi que 2016, les coûts augmentèrent alors que la valeur brute diminuera. À l'inverse, en 2015, 2017 et 2018, les coûts totaux ont baissé alors que la valeur brute augmentait. D'après ces chiffres, il est évident que la valeur brute de la production et les coûts associés à cette dernière ne suivent pas toujours la même direction. Ce n'est qu'en 2019 que l'on retrouva à nouveau une relation positive entre la valeur brute et les coûts totaux.

Concernant le rendement (boisseau par acre planté) entre les années 2005 à 2013, il a été entre 138 et 159 boisseaux sauf en 2012 avec 118 boisseaux à cause de la sécheresse. Mis à part en 2004 avant la RFS, le rendement n'avait jamais atteint les 150 boisseaux par acre planté. C'est en 2014 que les 170 boisseaux par acre planté sont atteints pour la première fois depuis la RFS. Malgré une légère chute à un rendement de 167 en 2015, le rendement n'a plus jamais été en dessous des 173 boisseaux par acre planté.

La valeur nette de la production s'obtient en soustrayant les coûts totaux à la valeur brute de la production totale. Il est intéressant de voir comment cela se reflète sur la valeur nette de la production. Curieusement, la valeur nette n'a pas été positive tous les ans. On remarque dans le tableau 11 que seules les années de 2007 à 2013 ont obtenu un résultat positif. Cela pourrait mener à croire que c'est la faute de la mise en vigueur de la RFS, mais ceci est faux. En effet, depuis 1997, la valeur nette n'avait pas été positive depuis 1996. Cela voudrait donc dire que la valeur nette est positive grâce aux différents programmes de subsides et de crédits d'impôt des différents états des États-Unis.

En relation au tableau 11, le prix est indiqué au moment de la récolte, ce qui signifie que l'offre de maïs est à son maximum pour cette récolte. Le prix suit le mouvement de la valeur brute de production totale sauf bien sûr en 2012 où le prix explose, car l'offre est très faible par rapport à la demande. Il est possible d'observer qu'entre 2006 et 2007, l'augmentation du prix est fulgurante et atteint le record jamais observé de \$3.27 le boisseau de maïs. Depuis il n'est jamais repassé en dessous, sauf en 2017 à \$3.25. Il est donc vrai que depuis la RFS 2 en 2007, les États-Unis n'ont plus retrouvé la tranche de prix qu'ils avaient l'habitude d'avoir avant cela.

2.7.3 Facteurs et événements clés à la montée du prix du maïs

Les États-Unis étaient déjà les plus gros exportateurs de maïs avant la RFS. La valeur du commerce agricole au niveau mondial a augmenté de plus de 50 % durant les années 2000 à 2006²⁸.

Les pays en développement tels que la Chine, le Brésil et l'Inde qui font partie des pays les plus peuplés du monde et d'autres ont vu leurs revenus augmenter. Par conséquent, ils ont eu une énorme demande d'importations de maïs auprès des États-Unis plus conséquente qu'au début des années 2000. Ayant une plus grande démographie, la demande de viande a beaucoup augmenté également. Pour pallier la demande record des pays en développement, il a fallu exporter beaucoup de maïs pour nourrir le bétail afin d'avoir de la viande et des produits laitiers. En 2007, les pays en développement comprenant ceux cités plus haut représentaient une grande part des exportations des États-Unis.

²⁸ Agricultural Commodity Price Spikes in the 1970s and 1990s, 2009. USDA ERS

Tableau 12: Les 10 pays les plus peuplés du monde en 2007

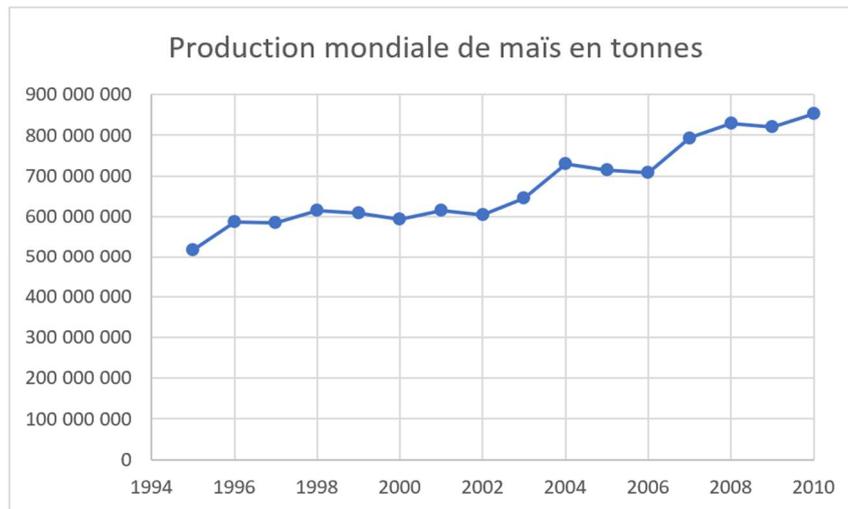
2007	
Pays	Population (en millions)
Chine	1 318
Inde	1 132
États-Unis	302
Indonésie	232
Brésil	189
Pakistan	169
Bangladesh	149
Nigeria	144
Russie	142
Japon	128

(Population Reference Bureau 2007)

Ce n'est pas tout, comme on peut le voir dans la figure ci-dessus, tous les pays sauf les États-Unis, la Russie et le Japon, étaient des pays en développement en 2007. Contrairement aux États-Unis qui ont une augmentation croissante et stable, les pays en développement croissaient démographiquement à une tout autre vitesse. Sur les ~6.6²⁹ milliards d'habitants dans le monde en 2007, les 7 pays en développement mis en avant sur le graphique représentaient à eux seuls ~50.5 % de la démographie mondiale. Étant en phase d'accélération de croissance humaine rapide, la moyenne d'âge des pays en développement était beaucoup plus basse que celles dans les pays développés. Ainsi, la demande n'était que plus forte pour l'alimentation.

²⁹ Earth - Place Explorer - Data Commons, sans date. Data Commons

Figure 20: Production mondiale de maïs 1994-2010 (en tonnes)



(Maïke Da Silva 2021)³⁰

Comme dit au-dessus, le maïs n'est pas comme d'autres cultures agricoles un aliment indispensable à la consommation humaine. En revanche, le maïs est fortement utilisé pour produire des aliments essentiels à la nutrition de l'Homme comme la viande ou encore les produits laitiers qui en découlent. La viande et les produits laitiers sont des aliments consommés aussi bien dans les pays développés qu'en développement. Pour avoir plus de viande et de produits laitiers, il fallait donc plus de maïs pour nourrir le bétail et les faire grandir pour qu'ils puissent se reproduire et que ce cycle puisse atteindre la demande de nutrition. Par exemple, un seul kilo de viande nécessite selon l'animal environ 7 kilos de maïs ou d'autres aliments agricoles qui nourrissent le bétail. Comme le démontre la figure ci-dessus, la production mondiale de maïs a eu 2 fortes augmentations en 2002-2004 ainsi qu'en 2006-2008.

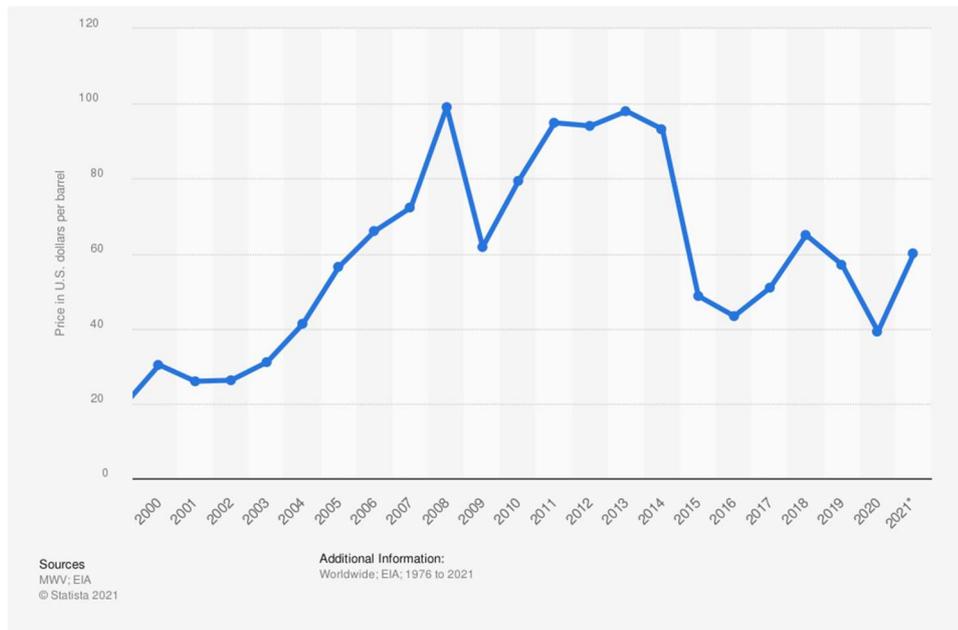
En outre, la météorologie a causé beaucoup de dégâts aux récoltes ce qui a largement diminué l'offre et poussé les prix à la hausse et plus gravement en 2005 avec l'ouragan Katrina. En 2006-2007, les stocks étaient très faibles à cause de la mauvaise année de production. Le ratio stocks-utilisation était très faible. Ce ratio peut être très utile pour mesurer si la pression vient du côté de l'offre ou de la demande. Il s'agit du rapport entre l'état des stocks de maïs à la fin de l'année et l'utilisation du maïs à l'intérieur du pays (y compris les exportations) en fin d'année également. Si le ratio diminue par rapport à l'année antérieure, cela signifie que l'offre diminue plus vite que la demande.

³⁰ Données issues de: FAOSTAT, sans date. FAOSTAT

Cette différence indique une pression des prix à la hausse. C'est effectivement ce qui s'était passé.

À la suite de la crise des subprimes en 2006-2007, le dollar s'est fortement déprécié lors de la crise économique de 2008-2009. Les prix des denrées agricoles ont atteint des prix records en 2008. Le maïs n'y a pas échappé, mais beaucoup d'agriculteurs ont décidé de planter du maïs, car il y avait la demande via la RFS. La demande des denrées alimentaires agricoles a baissé, ce qui a engendré entre autres une diminution des prix qui ont atteint des valeurs très basses, mais qui ont rapidement augmenté à nouveau à la fin de 2009. En 2010, la montée des prix continua pour atteindre à nouveau un record de prix en 2011 et 2012. Entre 2010 et 2012, il y eut à nouveau une crise mondiale des prix alimentaires. L'année de 2012 n'a fait qu'empirer les choses avec la sécheresse qui a frappé les États-Unis ce qui leur a valu d'atteindre des chiffres encore plus impressionnants que ceux connus au pic de 2008.

Figure 21: Prix annuel moyen du pétrole brut WTI de 2000 à 2021 (en dollars américains par baril)



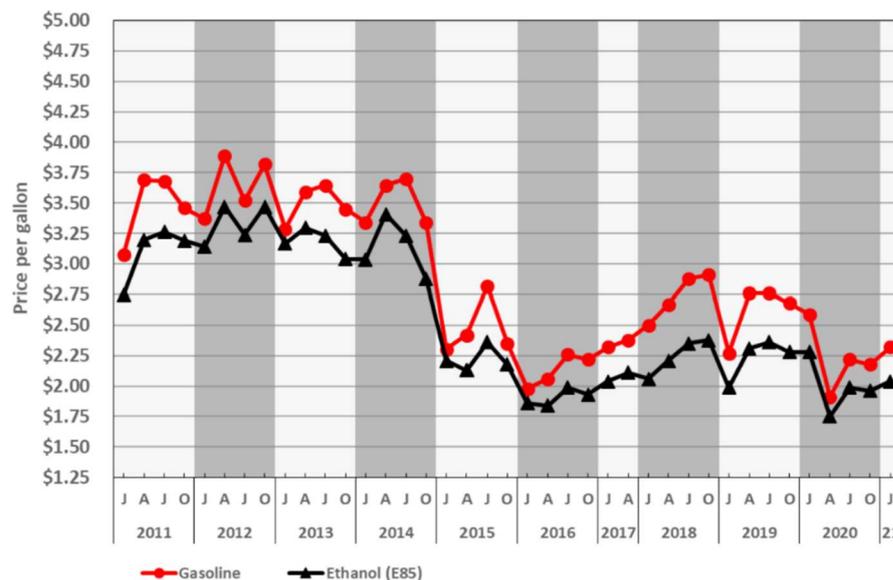
(Statista 2021)

Entre 2002 à 2008, les prix de l'énergie et notamment du pétrole ont grimpé d'une façon fulgurante. Les produits agricoles utilisant énormément d'énergie à la production et à la transformation, les prix de ces derniers ont été fortement impactés à la hausse également.

Du côté du prix du bioéthanol, ce dernier est également lié au prix du maïs. A la figure 5, il est visible que le prix du maïs a baissé en 2013 et est depuis stable en dessous des \$4 par boisseau. Mais le bioéthanol est aussi étroitement lié au prix du pétrole.

Le WTI est la référence en termes de pétrole brut pour les États-Unis et est mesuré à Cushing dans l'État d'Oklahoma. À la suite de la reprise du COVID-19, le prix a augmenté à nouveau pour dépasser de peu son niveau de 2019 avant COVID-19. Le prix est très volatil et contrairement aux matières premières agricoles, il n'y a pas de saison de récolte. Cela démontre bien le lien qu'il y a entre le marché du pétrole, celui de l'agriculture et du bioéthanol.

Figure 22: Prix moyen du carburant au détail aux États-Unis 2011-2021 (en dollars américains par gallon)

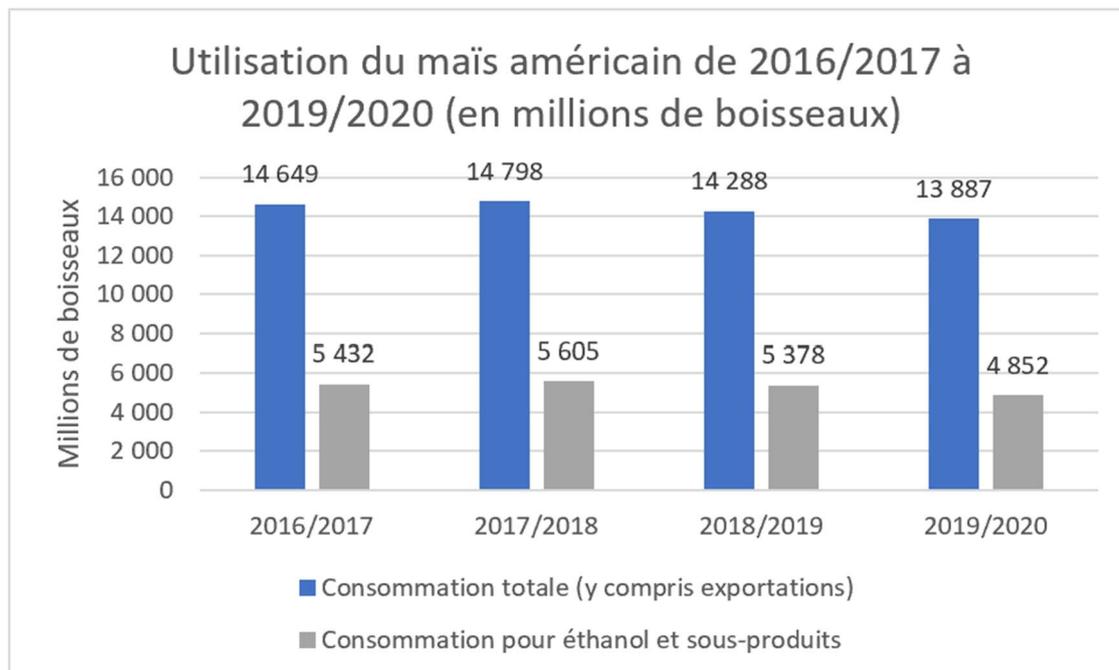


(Clean Cities Alternative Fuel Price Report 2021)

Afin d'aller plus en détail, la comparaison entre les prix du E85 et de l'essence finie nous permet de voir à quel point les prix se suivent de façon générale, car ils sont liés. D'après le département américain de l'énergie, l'E85 a coûté ~0,28 \$ de moins que l'essence finie par gallon en moyenne de 2011 à janvier 2021 (Alternative fuel price report January 2021).

2.7.4 Part d'utilisation du maïs pour le bioéthanol

Figure 23: Utilisation du maïs américain de 2016/2017 à 2019/2020 (en millions de boisseaux)



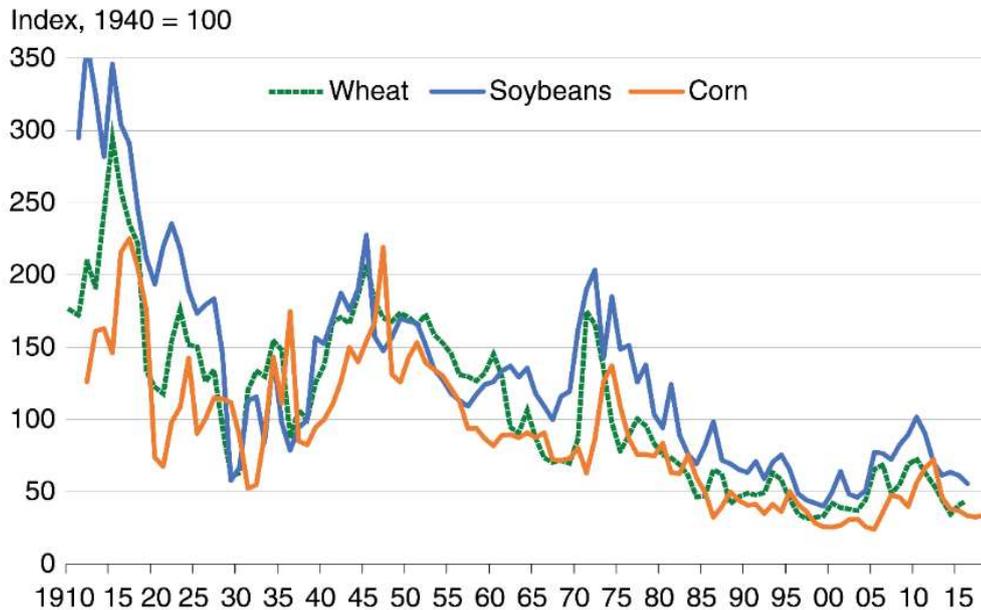
(Maïke Da Silva 2021)³¹

La production de bioéthanol et des sous-produits comme les drêches et l'huile de maïs n'utilisent clairement qu'une partie de l'utilisation totale du maïs américain. En revanche, il est bien visible que lorsque l'utilisation totale augmente ou diminue, la part de bioéthanol et des sous-produits réagissent pareil. En moyenne, entre 2016 et 2020, la part que le bioéthanol et les sous-produits ont occupée dans l'utilisation totale est de ~36.9 %. Cela représente un peu plus d'un tiers de l'utilisation ce qui est conséquent. Les agriculteurs américains de maïs et les producteurs de bioéthanol considèrent donc que le mandat américain est positif pour eux. Au contraire, le secteur de l'élevage qui utilise énormément de maïs pense que le mandat n'a fait que leur causer des dommages et que ce dernier était la conséquence de la montée des prix du maïs aux États-Unis.

³¹ Données issues de: United States corn utilization, 2019/2020, 2021. Statista

Figure 24: Prix du maïs, du blé et du soja corrigés de l'inflation 1912-2018

Inflation-adjusted corn, wheat, and soybean prices, 1912-2018



Source: USDA, Economic Research Service calculations using data from USDA, National Agricultural Statistics Service and U.S. Department of Labor, Bureau of Labor Statistics.

(USDA Economic Research Service 2019)

Le graphique ci-dessus démontre bien la corrélation entre le soja, le maïs et le blé qui date depuis des décennies. Ce ne sont pas que les prix du maïs qui ont augmenté, mais le prix de toutes les matières agricoles. De 2000 à 2010, le prix du maïs a toujours été en dessous de ceux du blé et du soja.

Si l'abstraction, de tous ces facteurs et événements qui se sont passés, est faite évidemment que le bioéthanol via la RFS est un facteur qui a un impact sur le prix du maïs. La différence est que sans le mandat, le prix du maïs américain aurait également augmenté, car tous les autres facteurs sont les causes principales de la montée du prix du maïs. Premièrement, il y a les conditions météorologiques qui sont un facteur constant et qui peuvent faire diminuer la production et les stocks qui selon le ratio stocks-utilisations indique une pression des prix à la hausse. Ensuite, il y a la demande qui augmente selon la croissance de la population des pays en développement, ce qui impacte le prix du maïs aux États-Unis par leur rôle d'exportateur de maïs. Au niveau énergétique, les montées du prix du pétrole impactent à la hausse les coûts de la production de maïs. Il y a également les marchés des animaux d'élevage et de volaille qui peuvent influencer la demande de maïs.

2.7.5 Subsidies

Le gouvernement des États-Unis paie des subsides de sorte à protéger les agriculteurs contre divers dangers tels que les conditions météorologiques, les crises économiques, les fluctuations de prix, etc. Les programmes de subsides américains sont des plus complets, car ils couvrent énormément de dangers. Les produits agricoles sont importants par leur capacité à permettre de nourrir le bétail et indirectement l'Humain. Il y a une région au centre ouest du pays appelée « corn belt », qui domine largement la production de maïs depuis la moitié du 19^e siècle. Les états compris dans cette région sont notamment l'Indiana, l'Illinois, le Missouri, le Nebraska, le Kansas et finalement l'Iowa qui est le plus gros état producteur de maïs du pays. L'importance de la culture du maïs y est tellement importante qu'environ un tiers de son économie est en relation avec la production de maïs³². Les fermiers ont besoin d'argent pour financer la plantation des matières avant de recevoir l'argent de leurs ventes. De ce fait, ils empruntent notamment auprès de banques coopératives créées à la suite de la loi Federal Farm Loan Act en 1916³³ qui permet aux agriculteurs de rembourser au moment de la récolte. Ainsi, ils remboursent la dette avec les gains de la vente des cultures. Si les récoltes ne se passent pas comme prévu ou que la demande n'est pas au niveau espéré, les agriculteurs pourraient vite se retrouver en faillite. Les États-Unis, étant l'un des pays les plus développés du monde et le plus gros producteur et exportateur de maïs, ont évidemment de grandes infrastructures agricoles avec un équipement moderne. L'organisation à but non lucratif Environmental Working Group³⁴ a conclu qu'entre 1995 et 2020, les premiers 10 % des agriculteurs recevant des subsides ont touché 78 % des paiements totaux s'élevant à \$240.5 milliards sans inclure les subsides de primes d'assurance. Les premiers 1 % reçoivent plus d'un quart (26 %) des paiements totaux. Ces 1 % représentent uniquement 33'257 bénéficiaires qui auraient touché chacun environ \$1'913'205. À l'inverse, les derniers 80 % des bénéficiaires n'ont reçu que 9 % des paiements totaux alors qu'ils sont plus de 2.6 millions. La somme perçue par chacun de ces agriculteurs se chiffrait uniquement à \$8'014. Il y a une grande inégalité entre les plus gros et les plus petits producteurs. En 2017, seules ~31 % des 2'042'220 fermes aux États-Unis ont reçu des subsides.

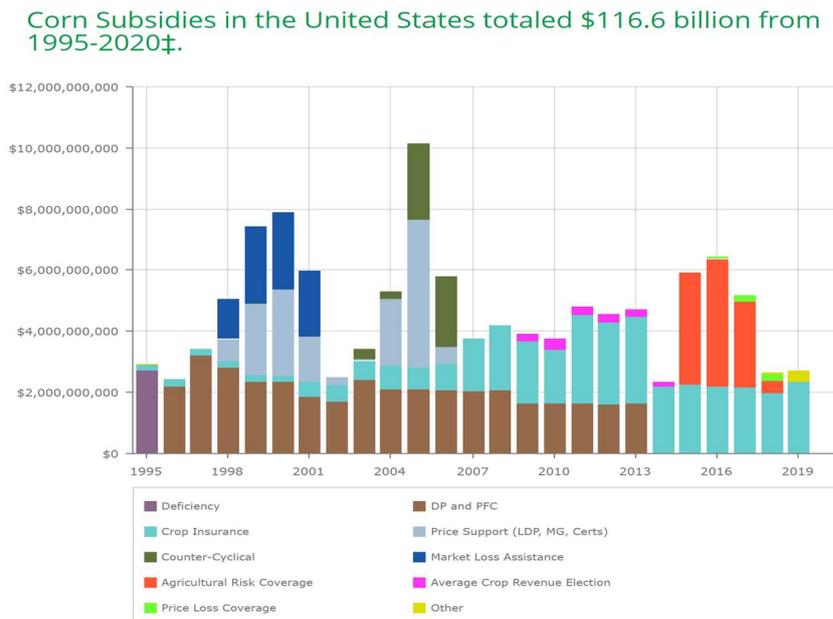
32 AMADEO, Kimberly, 2020. How Farm Subsidies Affect You

33 History of FCA, sans date. Farm Credit Administration

34 DATABASE, EWG's Farm Subsidy, sans date. EWG's Farm Subsidy Database

Cependant, entre 1995 et 2020³⁵, le maïs est la commodité qui a reçu le plus de subsides et qui a le plus de bénéficiaires. Ces derniers ont perçu durant la période citée plus de \$116.5 milliards sans inclure les subventions pour les assurances. En 2e place se positionne le blé avec un reçu total avoisinant les \$48.5 milliards ce qui représente ~41 % des subsides du maïs.

Figure 25: Subventions pour le maïs aux États-Unis 1995-2020 (en dollars américains)



(EWG's Farm Subsidy Database 2020)

Toutefois, les subsides varient beaucoup d'une année à l'autre. Il y a eu des révisions de loi sur les subsides depuis 1995, mais il est clairement visible que le budget accordé aux subsides pour le maïs n'a jamais été aussi bas en 2018-2019 (sauf 2013) depuis 1995-1996. Ce qui est marquant, ce sont aussi les différents subsides qui ne durent que quelques années. Le seul subside ayant été versé chaque année depuis 1995 est l'assurance de la récolte. Montant initialement faible jusqu'en 2006, il augmente de plus du double en 2007 pour atteindre les ~\$1.7 milliard. Depuis il n'a jamais été en dessous de ce niveau et stagne autour des \$2 milliards. Cela démontre bien que tant que le gouvernement incitera par des subsides la production de maïs, ils ne seront pas en pertes grâce à ces derniers durant les années plus compliquées où les coûts dépassent la valeur brute comme démontré dans le tableau 11.

35 DATABASE, EWG's Farm Subsidy, 2020. EWG's Farm Subsidy Database

2.7.6 Les crédits d'impôt pour le bioéthanol aux États-Unis

Dans la mesure où la RFS est une incitation à produire du bioéthanol, les États-Unis ont également une politique d'attribution de crédit concernant sa production afin d'être cohérents dans cette incitation. Le système est très complexe, car chaque état peut adapter les crédits en fonction de facteurs locaux et ils changent régulièrement les taux. C'est aux producteurs, mélangeurs et détaillants de s'informer des différences de crédits entre chaque état, car c'est à ces derniers de réclamer les crédits pour les obtenir.

En 2004, le crédit de taxe sur l'éthanol volumétrique (VEETC) est mis en place pour inciter à la production. Pour rappel, c'est durant la même période que l'abolition du MTBE. Les mélangeurs de bioéthanol avaient accès à un crédit de \$0.45/gallon³⁶ d'éthanol mélangé à de l'essence. Si la production était assez volumineuse et que le crédit dépassait la taxe sur carburants, les mélangeurs devaient demander au service des revenus la différence. Le crédit a été aboli en fin d'année 2011.

Un autre crédit au niveau fédéral prévoyait jusqu'à fin 2020 une diminution pour les détaillants de bioéthanol sur le niveau de carburant renouvelable produit. Le montant de \$0.08 par gallon de bioéthanol était accordé aux détaillants qui vendaient annuellement un certain pourcentage de bioéthanol par rapport à leurs ventes totales de carburants. D'après le département de l'énergie américaine³⁷, l'objectif en 2020 était la vente de 25 % de bioéthanol sur la totalité de leurs ventes de carburant. En allant plus en détail dans ce crédit, on remarque que même les entreprises qui n'ont pas atteint ce pourcentage, mais qui en sont toutes proches ont quand même le droit à un crédit. Les détaillants, ayant atteint entre 23 % et 25 % de bioéthanol mélangé, avaient accès à un crédit de \$0.06 par gallon. Ceux entre 21 % et 23 % récoltaient \$0.04 par gallon de bioéthanol.

En ce moment il existe plusieurs crédits concernant le bioéthanol, mais seulement 2 concernent le bioéthanol à base de maïs, car les autres sont destinés au bioéthanol avancé. Selon les informations du département de l'énergie³⁸, il s'agit du programme du crédit immobilier pour le ravitaillement des véhicules à carburant alternatif (Alternative

³⁶ Alternative Fuels Data Center: Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC), 2021. Alternative Fuels Data Center

³⁷ Alternative Fuels Data Center: Ethanol Blend Retailer Tax Credit, 2021. Alternative Fuels Data Center

³⁸ Alternative Fuels Data Center: Federal Laws and Incentives. 2021. Alternative Fuels Data Center

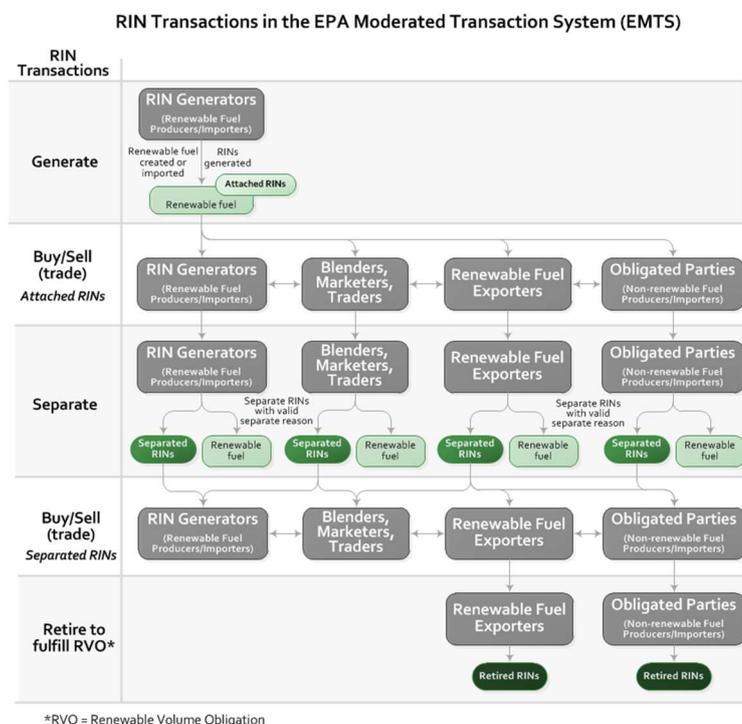
Fuel Infrastructure Tax Credit). C'est un crédit sur le coût d'installation des pompes à carburant proposant uniquement de l'E85 concernant le bioéthanol. Il se monte à 30 % des coûts d'installation et au maximum \$30'000. Le deuxième est une subvention pour les infrastructures qui proposent du E15 et E85.

2.7.7 RINs (Numéro d'identification renouvelable)

Depuis la création du mandat, l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis utilise un outil appelé les RINs pour s'assurer que les quotas de biocarburants soient respectés par tous. Chaque année, l'Agence de protection de l'environnement stipule le nombre de RINs à obtenir. Chaque gallon de bioéthanol produit ou importé aux États-Unis se voit attribuer un certificat RIN qui est une identification sous forme de code. La partie intéressante de cet outil est qu'une fois le gallon de bioéthanol mélangé à de l'essence à l'intérieur du pays, le RIN devient marchandable. Les mélangeurs vendent donc les RINs aux raffineurs et aux importateurs de carburant américains. Ces derniers ont l'obligation de retirer les RINs en les donnant à l'Agence de protection de l'environnement.

Le RIN obtenu via la production de bioéthanol à base de maïs est le D6.

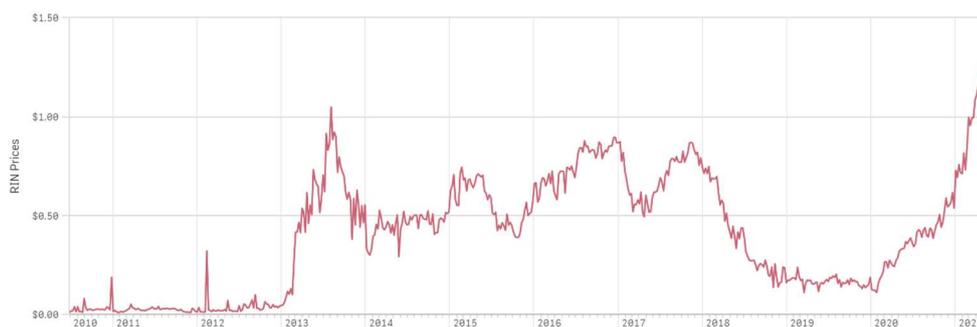
Figure 26: Transactions d'un RIN dans le système de transactions modérées de l'EPA



(US EPA 2021)

Dans la figure ci-dessus, il y a 2 types de RINs : les attachés et les séparés. Ce sont les 2 formes sous lesquelles ils peuvent être achetés/vendus. Quand ils sont attachés comme indiqué dans la première étape de la figure, c'est lors de la production des gallons de bioéthanol. Les producteurs vendront donc les RINs ainsi que les gallons associés à ces derniers. À l'inverse, lorsque les RINs sont séparés, cela veut dire que le bioéthanol a été mélangé à l'essence. Ils seront vendus sans le bioéthanol qui leur était associé.

Figure 27: Prix des RINs D6 de 2010 à 2021 (en dollars américains)



(US EPA 2021)

Dans le graphique ci-dessus, les prix des RINs sont très volatils. En effet, le prix des RINs exprime le coût de production d'un gallon de bioéthanol qui n'a pas été produit. Durant les périodes 2010-2012 et 2018-2020, le prix du RIN D6 était relativement bas ce qui signifie que les obligations de volume étaient aisément atteignables selon les acteurs. A contrario, lorsque le prix est élevé, les obligations de volumes devraient être compliquées à atteindre. Quand le prix devient trop élevé, cela contraint les exportateurs de biocarburants ainsi que les producteurs et importateurs de carburants non renouvelables à vouloir produire ou mélanger du bioéthanol, car cela deviendrait moins cher que d'acheter des RINs. L'offre et la demande vont donc automatiquement inciter à investir dans la production et/ou le mélange de bioéthanol quand ce dernier sera en pénurie en relation au niveau minimal requis.

Selon l'Agence de protection de l'environnement³⁹, le prix du RIN D6 acheté ou vendu après le 31 décembre 2019 était entre \$0.05 et \$3 pour 2020. Selon moi, les raffineries qui préfèrent acheter des RINs répercutent ces coûts sur les produits finis à leurs clients.

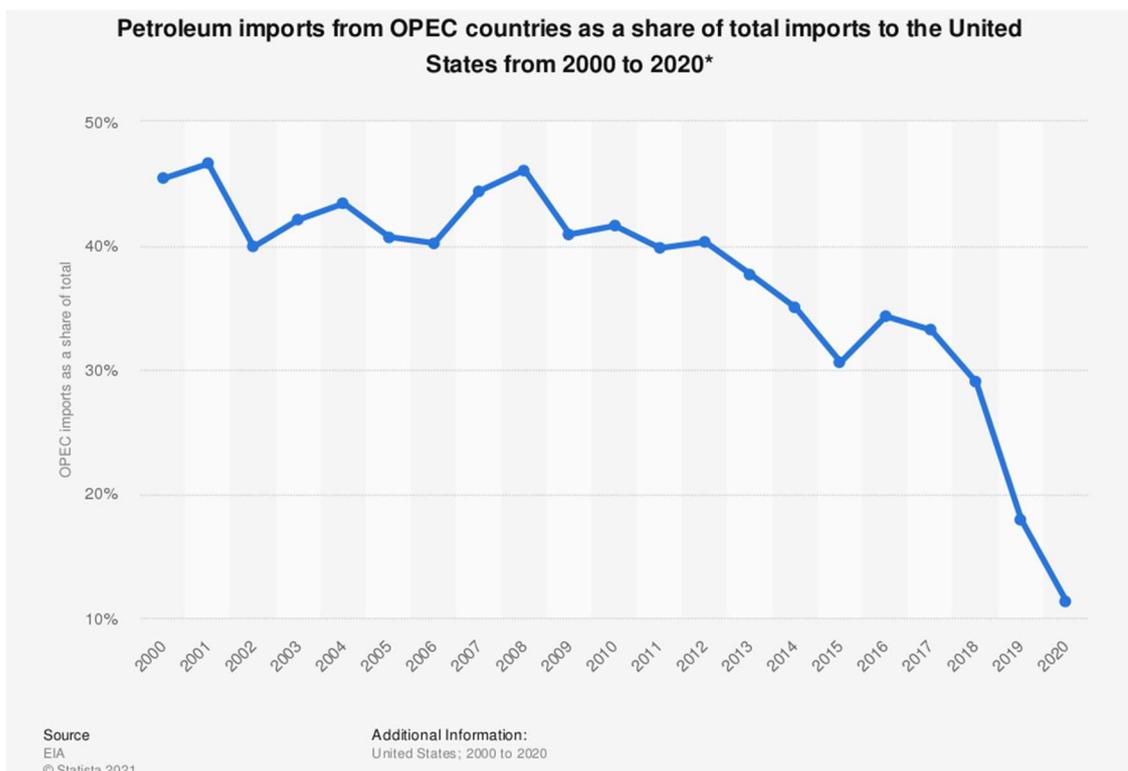
³⁹ RIN Trades and Price Information, sans date. US EPA

L'un des produits finis des raffineries est l'essence. Si les raffineries continuent d'acheter de grandes valeurs de RINs, ils impactent peut-être le prix de l'essence et le maintiennent plus élevé que les mélanges bioéthanol-essence surtout pour l'E85 où il y a moins d'essence.

2.8 L'impact de la RFS sur les prix du pétrole brut et de l'essence

La croissance de la production de bioéthanol a permis de faire baisser le prix du pétrole brut et a apporté une meilleure sécurité énergétique. De plus, grâce au mandat, le prix final au détail de l'essence est plus bas depuis 2015. Comme le démontre la figure 22, le prix au détail de l'essence n'est plus repassé au-dessus des \$3 en moyenne depuis 2015. Depuis les nombreuses crises passées depuis le début des années 2000, le prix de l'essence était entre 2011 et 2014 toujours en moyenne au-dessus de ces \$3 allant presque jusqu'à \$4.

Figure 28: Part des importations totales aux États-Unis en provenance des pays de l'OPEP de 2000 à 2020 (en pourcentage)



(Statista 2021)

Le pétrole brut est stratégique et crucial pour l'économie mondiale depuis des décennies. Des perturbations dans les plus gros pays exportateurs peuvent créer des montées de prix records. L'OPEP⁴⁰ a pendant longtemps essayé de maîtriser l'offre mondiale de pétrole brut afin de faire augmenter son prix jusqu'à fin 2014 où ils ont commencé à produire à pleine capacité. Comme on le voit ci-dessus, l'OPEP a toujours représenté une grosse part des importations de pétrole des États-Unis et a pendant longtemps été l'exportateur principal des Américains. Même si les États-Unis ont fortement réduit leurs importations de pétrole comme démontré dans la figure 8, ils restent de gros importateurs de pétrole. Il est clair que les États-Unis dépendent beaucoup moins de l'OPEP maintenant, mais le groupe représentait en 2019 ~17.9 % des importations américaines de pétrole. Il est donc clair que sans le bioéthanol, la demande de pétrole aurait été plus grande. Le bioéthanol a donc réduit la dépendance américaine au pétrole.

2.9 Relation entre les prix du maïs, du bioéthanol et du pétrole brut aux États-Unis

Il existe depuis bien longtemps une relation entre le prix du pétrole brut et le prix du maïs, car pour produire du maïs, des produits à base de pétrole sont utilisés. Ce lien s'est amplifié avec le bioéthanol à base de maïs comme stipulé précédemment. Évidemment, selon les causes des crises, le maïs et le pétrole brut étaient impactés différemment et les prix ont donc divergé plus que d'habitude. En comparant les annexes 1 à 3, il est visible qu'en 2008, lors de la crise économique mondiale, le pétrole brut s'est effondré alors que le maïs a lui baissé, mais moins drastiquement. Ils ont eu des remontées de prix au même moment du déclin de la crise. En 2012, le prix du maïs a fortement augmenté à cause de la sécheresse alors que celui du pétrole ne suit pas du tout la même trajectoire. C'est à partir de 2014-2015 que le prix du maïs baisse fortement pour retrouver une normalité vis-à-vis de 2006-2007. Le prix du pétrole retrouve également les prix de 2005 en 2015. Il ne faut pas oublier qu'avant la RFS, les États-Unis étaient déjà l'exportateur principal de maïs, ce qui signifiait une offre bien plus grande que sa demande intérieure, d'où les bas prix d'auparavant. Le pétrole brut a donc un lien avec le maïs, mais ce n'est pas que le pétrole brut qui va déterminer la direction du prix du maïs.

En s'appuyant sur les annexes 1 à 3, il existe également un lien entre le bioéthanol et le pétrole brut, car il est mélangé à l'essence qui est produite à partir de pétrole brut.

⁴⁰ Organisation des pays exportateurs de pétrole

Le prix du bioéthanol va également dépendre d'autres facteurs locaux comme le transport. Il est vrai que le transport du pétrole brut aux États-Unis est bien installé depuis des années via les pipelines et est donc moins cher que les autres types de transport. Comme démontré également au tableau 4, les pompes à carburant proposant des mélanges bioéthanol-essence se propagent à travers le pays d'année en année depuis 2007, ce qui a également augmenté l'offre et la demande de bioéthanol. Malgré cela, le bioéthanol est plus lié au prix du maïs qui est sa matière première. Comme dit précédemment, le bioéthanol utilise plus d'un tiers de la production de maïs. Il est donc naturel que leurs prix soient corrélés. Si la production de maïs augmente, un retour à une situation d'avant mandat est possible s'il y a un excédent d'offre de maïs conséquent ce qui permettrait une baisse des prix. Cela dépendra de la demande de bioéthanol à base de maïs et de la capacité de production de maïs. Il est clair que si le prix du maïs baisse, le coût de production du bioéthanol baissera également ce qui le rendra d'avantage compétitif par rapport à l'essence.

2.10 La spéculation au sein du Chicago Mercantile Exchange

Le Chicago Board of Trade est un marché boursier à terme de marchandises standardisé créé en 1848. Depuis 2007, ils ont fusionné avec le Chicago Mercantile Exchange group qui proposent des contrats future pour le bioéthanol et le maïs.

Grâce à la standardisation de la bourse, c'est un marché organisé où la quantité, la qualité, les spécificités de livraison, l'échéance du contrat, et les marges journalières (Mark to Market) sont connues. Il n'y a pas de risque de contrepartie, car la performance est garantie par une chambre de compensation notamment par les dépôts de marge. La liquidité est un facteur très important qui est amené par le volume des transactions. La bourse a un mode de fonctionnement⁴¹ qui permet également d'éliminer le risque systémique. Les marges ne sont pas fixes et sont calculées en fonction de divers facteurs comme la liquidité, mais surtout en fonction de la volatilité du marché. Quand les prix sont plus volatils, les marges seront plus conséquentes. À l'inverse, quand les prix sont moins volatils, les marges se réduisent.

La forward curve explique la relation entre les prix spot et les prix à terme. Cela nous indique l'état du marché tel qu'il se présente aujourd'hui. Il s'agit du prix d'aujourd'hui, mais elle renseigne sur ce que le marché pense qu'il adviendra de l'équilibre entre l'offre

⁴¹ Voir annexe 4

et la demande. Les prix spot et future⁴² suivent généralement la même tendance ce qui fait que les gains sur le marché spot seront annulés partiellement ou totalement selon le degré de couverture par les pertes sur le future et vice versa. À l'échéance, le prix du future converge avec le prix spot. Pour le bioéthanol ou d'autres commodités comme le pétrole ou le métal, la courbe peut être en contango (normal curve) ou backwardation (inverse curve).

En contango, la courbe indique que le marché est relativement bien approvisionné, car l'offre est plus grande que la demande, donc le message que donne le marché est de stocker. Le but du contango est de couvrir les coûts de stockage et de financement. Si la courbe est en backwardation, c'est l'inverse. Le message est de livrer maintenant.

Les contrats future n'arrivent généralement pas à échéance, car l'échéance signifie une livraison physique. La principale utilité est la couverture de risques appelée hedging. Les producteurs par exemple vont se protéger contre un risque de baisse prix qui sera transféré à un autre acteur qui lui va vouloir prendre ce risque en espérant faire un bénéfice. Les acteurs prêts à prendre ce risque sont des spéculateurs. Ce qui les attire, c'est le profit potentiel réalisable si leur anticipation du marché est bonne. Ils apportent donc la liquidité sur ces marchés boursiers.

Depuis le début des années 2000, la spéculation sur les matières premières agricoles s'est développée rapidement. Plusieurs fonds d'investissement de toute sorte recourent aux matières premières agricoles afin de diversifier leur portefeuille. Ce qui veut donc dire que les spéculateurs peuvent potentiellement faire monter ou baisser les prix en achetant ou vendant beaucoup de contrats dans un but qui n'a pas d'intérêt commercial. Plusieurs études tendent à leur inculper les fluctuations de prix de marché. Cela se produit quand le volume spéculé dépasse le volume commercial. Les spéculateurs sont donc essentiels pour prendre les positions inverses des acteurs voulant se protéger, mais sont donc également dangereux si leurs positions ne sont pas limitées. Des limites de spéculation ont donc été fixées pour qu'aucune personne physique ou morale ne puisse avoir d'influence trop grande ou démesurée sur les différents marchés.

⁴² Un accord conclu aujourd'hui et dont le prix est fixé aujourd'hui pour acheter/vendre un actif dans le futur

La loi Commodity Exchange Act (CEA) sortie en 1936⁴³ est la loi sur la négociation des contrats à terme aux États-Unis permettant à la Commission des marchés à terme (CFTC) d'imposer certaines limites concernant le volume des positions spéculatives sur ces marchés boursiers. C'est une obligation pour les marchés à terme d'insérer des limites sur la spéculation des contrats en mettant la taille des limites, les dérogations à ces limites et d'avoir une politique sur le regroupement de plusieurs comptes. Pour certaines commodités des secteurs énergétique et agricole, les limites sont fixées par la CFTC comme il est possible de voir à l'annexe 5. Pour les autres commodités comme le bioéthanol, les limites sont fixées par les marchés boursiers selon les indications de la CFTC sur ce qui est acceptable. C'est pendant le dernier mois de négociation que le nombre de contrats est le plus élevé et donc que les prix peuvent changer anormalement. Le niveau limite⁴⁴ des positions spéculatives sur le maïs a été fixé par la CFTC à 1'200 positions pour le mois spot et à 57'800 positions pour un seul mois ou sur les 5 mois combinés proposant un contrat de maïs sur le CME. (eCFR 2021)

Les dérogations à ces limites concernent uniquement les positions de couverture expliquées précédemment. Quand un producteur a une position de vente sur les futures, cela sous-entend des ventes dans le futur. Elle ne doit donc pas dépasser le volume d'exposition réel physique en termes de stocks, d'achats où le prix est déjà fixé et à sa production prévisionnelle lors des 12 prochains mois. Pour des positions d'achat sur les futures, c'est pareil, mais ce seront les ventes qui auront un prix déjà fixé et des besoins prévisionnels de fabrication lors des 12 prochains mois. Pour des opérations plus complexes comme les spreads sur les couvertures, la CFTC les analysera au cas par cas. (eCFR 2021)

Concernant le regroupement de comptes communs ou qui sont liés à la propriété d'une seule personne, entité ou groupe, ces comptes sont considérés comme un seul et unique compte s'il y a un intérêt financier d'au moins 10 %. (eCFR 2021)

Pour le bioéthanol qui n'a pas été contraint par un niveau limite fixe de positions spéculatives, le CME stipule que pour les 3 derniers jours de la négociation du contrat, la limite est fixée à 25 % de l'offre qui est livrable. À propos des limites pour un seul mois, ils se sont basés sur les positions ouvertes, et ils ont fixé la limite à 10 % des 25'000 premiers contrats avec une augmentation marginale de 5 % au-delà des 25'000.

⁴³ Commodity Exchange Act & Regulations, sans date. CFTC

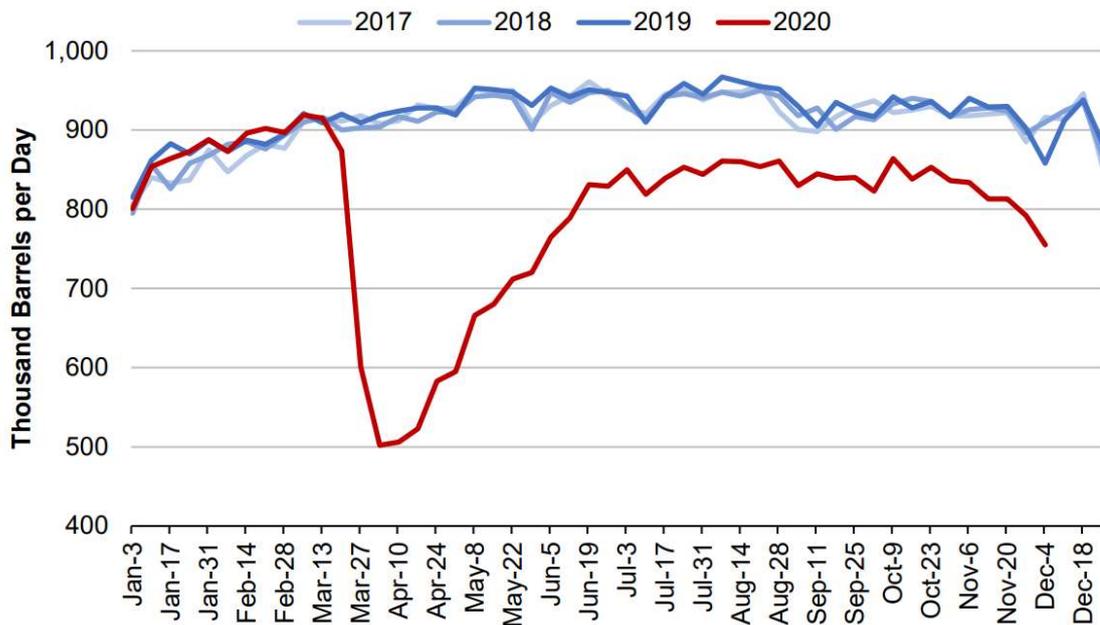
⁴⁴ Voir annexe 5

Quant à la limite pour tous les mois combinés ayant un contrat durant l'année, elle est de 150 % de la limite pour un seul mois. (eCFR 2021)

En se basant sur le nombre de contrats ouverts, les limites sont fixées en fonction de la liquidité ce qui permet d'avoir une limite de concentration assez spontanée, car elle est adaptative. Cela limite clairement la spéculation excessive et nuisible aux marchés.

2.11 Impact du COVID-19 sur l'industrie du bioéthanol

Figure 29: Entrées nettes de bioéthanol des raffineurs et mélangeurs 2017-2020 (en milliers de barils par jour)



Source: U.S. Energy Information Administration

(Renewable Fuels Association 2020)

2020 fût une année compliquée à bien des niveaux à cause du COVID-19 qui a notamment contraint la demande mondiale de carburants. À la fin du premier trimestre de 2020, la consommation de bioéthanol a chuté d'environ 50 % ce qui a engendré le fait que moins de 25 % des bioraffineries produisaient à 100 % de leur capacité (Ethanol Industry Outlook 2021). L'industrie américaine de bioéthanol a su se renouveler en devenant produisant de l'alcool pur pour nourrir la demande de désinfectants des mains et meubles. Malgré ce renouveau, les niveaux de production n'ont pas été à la hauteur de ceux habituellement atteints les années précédentes. Durant le dernier trimestre de 2020, une nouvelle vague de COVID-19 a de nouveau fait chuter la production par le manque de demande.

Tableau 13: Impact sur les revenus de l'industrie de l'éthanol en 2020 (en millions de dollars américains)

Month	Ethanol Revenues	Distillers Grains Revenues	Total Revenues
March	-\$581	-\$24	-\$605
April	-\$925	-\$59	-\$984
May	-\$672	-\$56	-\$728
June	-\$335	-\$37	-\$372
July	-\$224	\$0	-\$224
August	-\$250	-\$5	-\$255
September	-\$149	-\$8	-\$157
October	-\$183	\$0	-\$183
November	-\$299	\$0	-\$299
Total	-\$3,619	-\$189	-\$3,808

Source: RFA

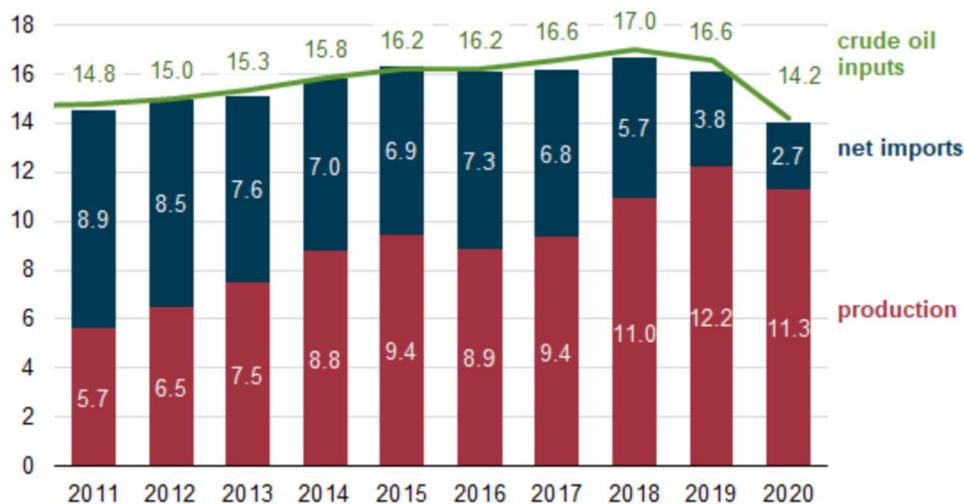
(Renewable Fuels Association 2020)

L'impact économique de l'industrie du bioéthanol a été colossal, car cela a également touché la production de maïs et de ses co-produits. Il y a eu une grosse baisse du prix du bioéthanol, car l'offre était excédentaire et les prix du maïs et de ses dérivés ont vu leur prix augmenter vers le milieu de 2020. Cela a permis de diminuer les pertes dues au faible volume de ventes de bioéthanol. D'après la figure ci-dessus, l'industrie du bioéthanol incluant les drêches de distillerie a été diminuée d'environ \$3.8 milliards entre mars et novembre 2020.

Néanmoins, l'industrie du bioéthanol reste essentielle dans les états qui produisent en majorité du maïs et/ou du bioéthanol. En 2020, ce secteur a quand même permis l'emploi de 304'780 personnes directes, indirectes et induites dans le reste des secteurs de l'économie américaine avec des emplois qualifiés et de bons salaires. Ceux-ci ne sont pas toujours évidents à trouver en milieu rural où se trouvent les productions. En 2020, l'industrie a eu un impact de \$18.6 milliards de revenu pour les ménages.

Au niveau national, c'est une contribution au produit intérieur brut des États-Unis d'environ \$34.7 milliards (Ethanol Industry Outlook 2021). Ce dernier était de ~20'934.9⁴⁵ milliards de dollars en 2020, ce qui représente une part de ~0.17 % du PIB. En 2021, le retour à la normale se fait peu à peu pour la production de bioéthanol et la production d'alcool destiné aux désinfectants continue.

Figure 30: Production américaine de pétrole brut, importations nettes et entrées dans les raffineries de 2011 à 2020 (en millions de barils par jour)



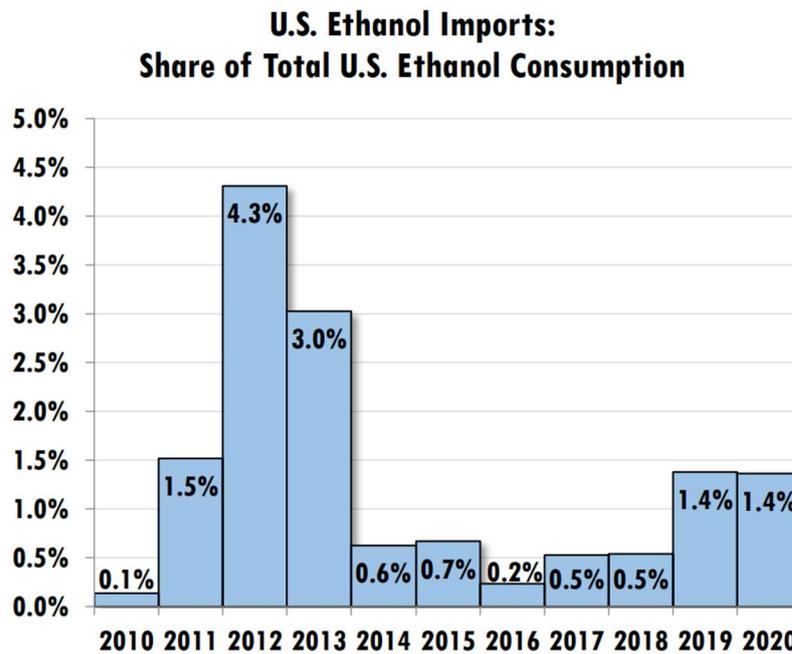
Source: U.S. Energy Information Administration, *Petroleum Supply Monthly*
 Note: Differences between crude oil inputs and the sum of production and net imports reflect inventory changes and unaccounted for crude oil.

(U.S. Energy Information Administration (EIA) 2021)

Bien que l'industrie du bioéthanol ait permis aux Américains de diminuer les importations de pétrole et qu'ils en produisent toujours plus, ils restent des importateurs nets de pétrole brut comme démontré dans la figure ci-dessus. Comme mentionnée précédemment, le volume de bioéthanol mélangé à l'essence en 2020 représentait ~10 % de la totalité de l'essence vendue aux États-Unis. Sans ces ~10 % de bioéthanol, les États-Unis auraient eu une augmentation d'importation de pétrole brut.

⁴⁵ Gross Domestic Product, 4th Quarter and Year 2020, 2021. U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA)

Figure 31: Importations d'éthanol des États-Unis : Part de la consommation totale d'éthanol des États-Unis 2010-2020 (en pourcentage)



(Renewable Fuels Association 2021)

En comparaison avec le pétrole brut, il est visible que la dépendance extérieure de bioéthanol est infime comparée à celle du pétrole brut. Seul 1.4 % de la consommation de bioéthanol aux États-Unis a été importée en 2020. Pourtant, cela représente environ 3 fois plus que durant les années 2014-2018. Malgré tout, la sécurité énergétique est très bonne à ce niveau. Cette sécurité dépendra de la capacité de production de bioéthanol à répondre à la demande dans les années à venir.

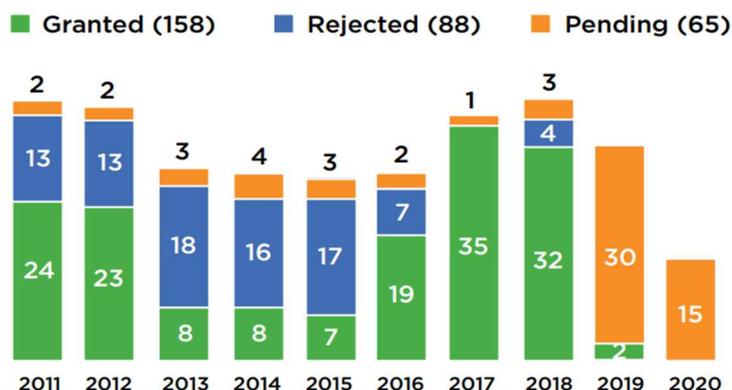
2.12 Impact Joe Biden

Depuis début 2021, Joe Biden est président des États-Unis. L'un de ses principaux objectifs est de lutter contre le réchauffement climatique. Durant sa campagne, il a indiqué vouloir réduire encore plus les émissions de GES et de carbone grâce au mandat RFS en mettant l'accent sur l'importance des agriculteurs et producteurs de biocarburants. Selon lui, l'industrie de l'agriculture américaine sera un pilier pour lutter contre le réchauffement climatique.

Cela est un avantage pour le bioéthanol, car plus le taux mélangé à l'essence est élevé, plus la réduction des émissions de carbone est grande. Il faudra également inciter la production et la consommation des véhicules utilisant ces biocarburants ainsi que les stations proposant les mélanges bioéthanol-essence.

2.12.1 Dérogations des petites raffineries

Figure 32: Nombre de dérogations des petites raffineries aux États-Unis 2011-2020



Source: EPA, as of 1/21/21

(2021 Ethanol Industry Outlook 2021)

Concernant les RINs, les raffineries de petite taille peuvent obtenir des dérogations si elles prouvent que les exigences de volumes minimaux à respecter leur feront subir des pertes financières. Durant la présidence de Donald Trump, l'Agence de protection de l'environnement a accordé un nombre record de dérogations. Aucune demande d'exemption n'a été rejetée. Le nombre de dérogations acceptées en 2017 et 2018 était environ 4 fois plus nombreux que pour les années 2013 à 2015.

C'est une tout autre différence quand il s'agit du nombre de RINs. Pour rappel, un RIN est attribué pour chaque gallon de bioéthanol. Selon l'EPA⁴⁶, 290 millions de RINs n'ont pas été retirés à la suite de dérogations acceptées en 2015. En 2017, il s'agit de 1.82 milliard de RINs qui n'ont pas été retirés. Cela représente ~6 fois plus de RINs non retirés. La différence de RINs est bien plus importante que celle des dérogations. Ce n'est pas sans conséquence, car cela a fortement réduit le volume requis exigé et a fortement réduit le prix des RINs et par conséquent l'incitation initialement induite par la RFS pour produire des biocarburants.

⁴⁶ EPA Signals New Position on Small Refinery Exemptions, sans date. US EPA

En 2020, il y a eu une affaire judiciaire opposant la RFA, d'autres associations et une coalition contre l'EPA. Cette dernière avait accordé beaucoup trop d'exemptions à des raffineries qui n'étaient pas en conformité pour les recevoir. La décision prise par la Cour d'appel des États-Unis devrait faire diminuer ces dérogations dans l'avenir. (Ethanol Industry Outlook 2021)

Tous les acteurs concernés se demandent si Joe Biden va proposer une hausse des volumes de biocarburants et diminuer les exemptions obtenues par les raffineries ces dernières années. L'Agence de protection de l'environnement américaine va bientôt indiquer les nouveaux volumes de biocarburants à atteindre. Si l'on se fie à la campagne de Joe Biden pour une énergie plus propre et son objectif de réduction d'émissions, les quotas devraient rester stables ou augmenter. Quant aux exemptions, elles devraient diminuer, car un article de Bloomberg⁴⁷ sorti le 15 juin 2021 indique que Joe Biden et son administration ont demandé à la Cour Suprême de réduire les exemptions pour les raffineries. Cela va donc bien dans le sens de sa campagne électorale.

⁴⁷ A DLOUHY, Jennifer et CHIPMAN, Kim, 2021. Bloomberg.com

3. Synthèse

3.1 Synthèse du travail et des résultats obtenus

Tout au long de ce Travail de Bachelor, le but a été de démontrer l'impact qu'a eu et que pourra avoir le bioéthanol sur le marché américain du maïs.

Premièrement, le prix du maïs est influencé par d'autres matières comme le pétrole, car certains produits à base de pétrole brut sont utilisés pour la production de maïs. Ensuite, le maïs est nécessaire à la production du bioéthanol qui est mélangé à de l'essence. Le prix de l'essence étant issue du pétrole brut est donc en lien avec celui du bioéthanol. Comme démontré, un lien entre ces 3 commodités existe. Le maïs est plus influencé par le pétrole brut, mais il influence plus fortement le bioéthanol. Cependant, nous constatons que les marchés de l'agriculture et de l'énergie ne se comportent pas de la même manière tout le temps comme durant les périodes 2004-11 et 2011-16.

La croissance régulière de la production et de l'utilisation du bioéthanol a été soutenue par la RFS ainsi que par d'autres incitations comme les crédits d'impôt et les subsides. Grâce à cela, l'industrie du bioéthanol a permis d'améliorer l'environnement en réduisant les émissions de GES et de carbone. Concernant les émissions de carbone, l'interdiction du MTBE a aidé à la croissance de la demande de bioéthanol en tant qu'additif d'octane. Le gouvernement l'ayant bien compris, plusieurs crédits d'impôt et subsides incitent depuis à la production et à la consommation du bioéthanol.

L'industrie a également permis de réduire la consommation et les importations de pétrole brut. Cela rend les États-Unis moins exposés aux ruptures de production de pétrole brut venant de l'extérieur, car ils restent des importateurs nets comme le démontre la figure 30. Enfin, la demande de pétrole étant réduite, cela peut diminuer le prix de ce dernier, car fabriqué nationalement il peut coûter moins cher. En conséquence, le prix de l'essence pourra également diminuer. D'ailleurs, le bioéthanol étant moins cher que l'essence comme démontré avec la figure 22, il a apporté une diminution des prix des carburants dans les stations. Sans le bioéthanol, la consommation de pétrole brut aurait augmenté, car la démographie et le nombre de véhicules par habitant ne dépendent pas de la production de bioéthanol.

De plus, l'industrie du bioéthanol a créé énormément d'emplois et a largement contribué au PIB des États-Unis. Sans l'arrivée du mandat, la production de bioéthanol n'aurait pas fait gagner autant aux producteurs de maïs, et le nombre d'emplois aurait été plus faible. En réalité, il y aurait eu un manque à gagner, car la production de maïs n'aurait jamais autant augmenté.

L'une des idées perçues par des études est l'augmentation de la superficie des terres consacrées à la production de maïs. Comme démontré à la figure 4, le nombre d'acres plantés est stable depuis la RFS. Le rendement a lui augmenté à plus de 150 boisseaux par acre depuis la RFS.

Comme illustré tout au long de ce Travail, le prix du maïs a fortement augmenté à partir de la création du mandat. Néanmoins, ce ne sont pas que les prix du maïs qui ont augmenté, mais les prix de toutes les matières agricoles. De plus, entre 2000 à 2010, le prix du maïs a toujours été en dessous de ceux du blé et du soja comme le montre la figure 24.

Le bioéthanol via la RFS a clairement un impact sur le marché du maïs comme démontré durant le Travail. Néanmoins, le prix du maïs américain aurait également augmenté, car tous les autres facteurs sont les causes principales de la montée du prix du maïs. Premièrement, il y a les conditions météorologiques qui sont un facteur constant et qui peuvent faire diminuer la production et les stocks. Selon le ratio stock-utilisation, cela indique une pression des prix à la hausse. Ensuite, il y a la demande qui augmente selon la croissance de la population des pays en développement, ce qui impacte le prix du maïs aux États-Unis par leur rôle d'exportateur de maïs. Au niveau énergétique, les montées du prix du pétrole impactent à la hausse les coûts de la production du maïs. La demande des marchés des animaux d'élevage et de volaille impacte également la demande de maïs. Tout est une question d'offre et de demande. Tous ces facteurs continueront d'impacter le prix du maïs. Il y aura d'autres crises économiques comme celle de 2008-2009 ou 2020, des crises alimentaires comme en 2007-2008 ou 2011-2012, ainsi que des incidents météorologiques.

Concernant la spéculation au sein du CME, des limites de spéculation ont été fixées pour qu'aucune personne physique/morale ne puisse avoir d'influence démesurée sur les différents marchés. Les limites sont fixées en fonction de la liquidité ce qui permet d'avoir une limite de concentration adaptative. Cela limite la spéculation qui pourrait être nuisible aux marchés.

Cependant, le maïs est aussi très utilisé pour l'alimentation humaine à travers son utilisation pour le bétail ainsi que pour l'exportation. Si le bioéthanol vient à prendre davantage de place dans l'utilisation du maïs, cela pourrait s'avérer compliqué si l'offre de maïs n'arrivait plus à approvisionner les différentes demandes. Si les États-Unis ne font rien, et que la part du maïs nécessaire pour le bétail et pour les exportations diminue en gardant une demande constante ou croissante, il y aura une flambée du prix du maïs.

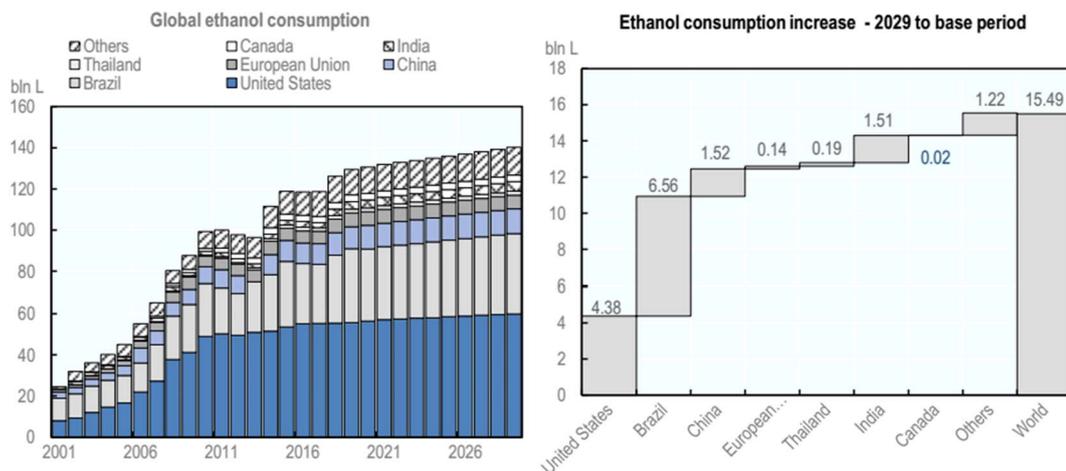
Un autre risque concernant le bioéthanol à base de maïs est le risque météorologique impactant les récoltes. Il faudra être de plus en plus attentif notamment grâce à la technologie. Évidemment, les États-Unis peuvent recourir à l'importation. Néanmoins, cela devrait rester inaccoutumé, car l'une des forces du bioéthanol à base de maïs est que les États-Unis ne dépendent pas d'un approvisionnement externe contrairement au pétrole brut.

3.2 Le bioéthanol à base de maïs dans le futur

Tout d'abord, la demande de bioéthanol est maintenue grâce à la RFS et à toutes les incitations qui l'accompagnent. L'avenir du bioéthanol dépendra selon moi de la continuité du mandat, mais également du niveau d'importations de pétrole. Si les États-Unis arrivent dans le futur à produire suffisamment pour ne pas importer, l'utilisation de bioéthanol peut venir à baisser. Dans un second temps, le bioéthanol de 2e et 3e génération peut également faire chuter les volumes minimaux et les incitations de production de bioéthanol à base de maïs afin de faire basculer le bioéthanol de génération. Une grande part des volumes de bioéthanol avancé a été supprimée, car la production n'était pas assez développée, mais il faut garder à l'esprit qu'ils sont un potentiel danger pour le bioéthanol à base de maïs. Si le maïs devait atteindre sa capacité maximale de production dans le secteur de bioéthanol, une solution serait d'avoir un bioéthanol de 2e et 3e génération. Grâce à cela, la production de maïs n'aurait pas besoin d'augmenter davantage, car ce serait de la biomasse résiduelle utilisée comme expliqué au début de ce Travail. L'autre avantage est que ces matières n'interfèrent pas avec le marché de l'alimentation humaine directement ou indirectement via le bétail. Néanmoins, le fait que la matière soit abondante et moins chère que des matières agricoles ne suffit pas, car la fermentation de ces matières est bien plus complexe à réaliser que celle du maïs. Tant que des progrès technologiques suffisants ne seront pas présents, la production de bioéthanol à base de biomasse cellulosique ne pourra pas croître. À terme, pour que le bioéthanol de 2e et 3e génération augmente, il faudra que les coûts de fermentation diminuent et que le processus devienne plus simple.

Je pense qu'économiquement parlant, la réduction de coûts de la biomasse cellulosique peut être considérable. Effectivement, il y a très peu de production actuellement donc les coûts de production baisseront au fur et à mesure que des usines de production s'installeront pour avoir des économies d'échelle. Pour cela, il faudra bien évidemment que le mandat déploie plus d'incitations à la production de bioéthanol avancé.

Figure 33: Évolution du marché mondial de l'éthanol



Note: Blue shaded number means reduction in the right graph.
 Source: OECD/FAO (2020), "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), <http://dx.doi.org/10.1787/agr-outl-data-en>.

(OECD-FAO 2020-2029 Agricultural Outlook 2020)

Cependant, d'après les perspectives actuelles de l'OECD-FAO⁴⁸, le bioéthanol continuera dans les prochaines années à être produit à partir de maïs et devrait représenter d'ici 2029, 98 % de la production de bioéthanol américain. Comme il est possible de le voir sur les graphiques ci-dessus, la consommation de bioéthanol devrait augmenter de façon constante jusqu'en 2029 et atteindre les 59,8 milliards de litres. Cela montre que la capacité de production de maïs devrait augmenter afin de pouvoir répondre à cette croissance de la demande et à la demande d'importations depuis les États-Unis.

En relation aux exportations de maïs, je pense qu'il y aura sûrement une diminution de maïs en direction de la Chine. En effet, la Chine importe encore énormément de matières agricoles pour nourrir la croissance de son parc animal à la suite de la grosse grippe porcine en 2020.

⁴⁸ OECD et FAO, 2020. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029

Cependant, la Chine arrivera dans un avenir proche à combler ce manque. La Chine est le 2^e producteur et consommateur mondial de maïs et représentait en 2020 le 5^e importateur de maïs américain (World of Corn 2021).

Si le mandat et ses différentes incitations continuent, il y aura des taux de mélange plus élevés également. Il faudra continuer à investir dans la création de stations de carburants proposant les mélanges E15 et supérieurs afin de mieux desservir le pays notamment le Nord-Ouest et le Sud-Ouest comme démontré aux figures 6 et 7.

Pour continuer à produire davantage de bioéthanol, il faudra que les incitations telles que les subsides continuent à être présentes. Donald Trump comptait revoir à la baisse plusieurs subventions accordées aux agriculteurs afin d'économiser cet argent pour le placer ailleurs. Joe Biden ne semble pas vouloir aller dans le même sens, mais plutôt inciter davantage les producteurs de bioéthanol afin de poursuivre le but de diminution des émissions de GES et de carbone. Cela est prometteur pour le bioéthanol à base de maïs qui devrait continuer d'augmenter. De plus, une loi promouvant les carburants à fort indice d'octane et à faible teneur de carbone a été introduite aux États-Unis en septembre 2020. C'est la loi « Next Generation Fuels Act of 2020 »⁴⁹. Son but étant d'apporter une énergie plus propre, cela est un grand avantage pour le bioéthanol, car il peut apporter cet indice d'octane élevé en augmentant le taux de mélange de bioéthanol à l'essence.

Concernant les RINs, il ne devrait plus y avoir de dérogations non justifiées pour les raffineries comme expliqué précédemment. Cela empêchera de réduire anormalement les volumes exigés et donc le prix des RINs. L'incitation induite par la RFS pour produire des biocarburants sera plus efficace.

Bien que le COVID-19 ait diminué son impact, il est toujours présent avec ses différents variants qui continuent à menacer la population mondiale. Si une nouvelle chute de demande venait à se reproduire à la suite de nouvelles restrictions, le prix du pétrole pourrait à nouveau baisser selon la modification de l'offre et de la demande. Je pense que cette possibilité envisagerait un prix de l'essence plus bas et donc plus compétitif avec les faibles mélanges bioéthanol-essence. Cela pourrait engendrer une diminution de la consommation de bioéthanol.

⁴⁹ BUSTOS, Cheri, 2020. Text - H.R.8371 - 116th Congress (2019-2020): Next Generation Fuels Act of 2020.

Comme dit précédemment, la production de maïs devrait croître. Néanmoins, à long terme, il peut s'avérer compliqué si l'offre de maïs n'arrive plus à sustenter la demande pour le bétail, pour le bioéthanol et les exportations. Si les États-Unis ne font rien et que l'utilisation pour le bétail et pour les exportations diminue tout en gardant une demande constante ou haussière, il y aura une flambée du prix du maïs. Selon la figure 33, les volumes de bioéthanol vont augmenter dans de nombreux pays comme expliqué précédemment. Je pense donc que les exportations de maïs et de bioéthanol américains vont augmenter. Pour éviter d'avoir une offre limitée répondant à une demande croissante, je pense qu'il faudrait augmenter les recherches pour développer de nouvelles technologies pour augmenter le rendement du maïs ainsi que sa capacité de production.

4. Conclusion

L'avenir du bioéthanol à base de maïs dépendra de la continuité du mandat et des incitations mises en place. Le bioéthanol devrait continuer dans les prochaines années à être produit à partir de maïs et voir sa part augmenter en tant que ressource. La capacité de production de maïs devrait également s'agrandir pour pouvoir répondre à la croissance des demandes internes et externes. Concernant la demande externe de maïs, je pense que la Chine diminuera ses exportations. La Chine arrivera dans un avenir proche à combler le manque de maïs à la suite de la grippe porcine en 2020.

Depuis son arrivée à la tête de la présidence américaine, Joe Biden semble vouloir inciter davantage les diminutions des émissions de GES et de carbone grâce à la production de bioéthanol. Cela suit donc bien les prévisions de croissance d'éthanol à base de maïs. Par ailleurs, la loi « Next Generation Fuels Act of 2020 »⁵⁰ sortie en 2020 est un grand avantage pour le bioéthanol. Ce dernier peut apporter cet indice d'octane élevé en augmentant le taux de mélange de bioéthanol à l'essence. Si la RFS et les différentes incitations continuent, il y aura des taux de mélange plus élevés également. Il faudra continuer d'investir dans la création de stations de carburants proposant les mélanges E15 et supérieurs afin de mieux desservir le pays et augmenter la consommation de bioéthanol.

De plus, l'incitation induite par la RFS pour produire des biocarburants sera plus efficace que les années précédentes, car il ne devrait plus y avoir de dérogations non justifiées pour les raffineries. Cela empêchera de réduire anormalement les volumes exigés et donc le prix des RINs.

Le COVID-19 est toujours présent et continue de menacer la population mondiale. Si une nouvelle chute de demande venait à se reproduire à la suite de nouvelles restrictions, le prix du pétrole pourrait à nouveau baisser. Selon la modification de l'offre et de la demande, son prix pourrait rester à un niveau plus bas que celui d'avant COVID-19. Cela peut amener un prix de l'essence plus bas et donc plus compétitif avec les faibles mélanges bioéthanol-essence. Cela pourrait engendrer une diminution de la consommation de bioéthanol.

⁵⁰ BUSTOS, Cheri, 2020. Text - H.R.8371 - 116th Congress (2019-2020): Next Generation Fuels Act of 2020.

Les exportations de maïs et de bioéthanol américains devraient augmenter puisque les volumes de bioéthanol devraient augmenter dans de nombreux pays. Il faudrait approfondir les recherches pour développer de nouvelles technologies pour accroître le rendement du maïs ainsi que sa capacité de production pour éviter d'avoir une offre insuffisante répondant à une demande croissante.

Une grande part des volumes de bioéthanol avancé ont été supprimés parce que la production n'était pas assez développée. Cependant, le bioéthanol de 2^e et 3^e génération fera chuter les volumes minimaux de production de bioéthanol à base de maïs à plus long terme. Un changement d'incitations aura lieu pour faire basculer le bioéthanol de génération.

À titre personnel, je pense que les biocarburants sont indispensables pour faire évoluer l'énergie positivement. Il sera ainsi possible de se diriger vers un futur plus bienveillant de l'environnement où l'utilisation d'énergies fossiles sera faible, voire nulle, à très long terme.

À long terme, je dirais qu'il n'y aura plus d'essence et de diesel non mélangés et qu'il y aura du E100 comme au Brésil. Cela fera d'autant plus de demande de maïs. Je pense donc que l'éthanol arrêtera d'être produit à base de maïs. Selon moi, la démographie mondiale et les biocarburants vont encore croître davantage. Je ne pense pas que la capacité de production de maïs américain suivra la cadence. Les biocarburants avancés prendront la place sauf si de meilleures énergies renouvelables surgissent pour répondre à la demande en carburant. Malgré tout, à long terme, le bioéthanol sera une énergie essentielle pour améliorer l'environnement.

Dès le départ, j'ai trouvé ce sujet passionnant étant donné ma volonté à travailler dans le domaine du négoce international de matières premières. En effet, je suis très attiré par les commodités agricoles. C'est pourquoi j'ai eu un réel plaisir à fournir ce Travail de Bachelor. La problématique choisie est également très intéressante. En effet, en me renseignant à travers les divers documents et études, j'ai mis à l'épreuve ma réflexivité en essayant d'analyser et d'approfondir mes recherches en restant impartial et réaliste.

Bibliographie

A DLOUHY, Jennifer et CHIPMAN, Kim, 2021. *Bloomberg.com* [en ligne]. 15 juin 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2021-06-15/biden-weighs-middle-of-the-road-biofuel-quota-in-nod-to-refiners>

Agricultural Commodity Price Spikes in the 1970s and 1990s, 2009. *USDA ERS* [en ligne]. 1 mars 2009. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2009/march/agricultural-commodity-price-spikes-in-the-1970s-and-1990s-valuable-lessons-for-today/>

Alternative Fuels Data Center: Ethanol Blend Retailer Tax Credit, 2021. *Alternative Fuels Data Center* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://afdc.energy.gov/laws/5237>

Alternative Fuels Data Center: Ethanol Blends, sans date. *Alternative Fuels Data Center* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_blends.html

Alternative Fuels Data Center: Federal Laws and Incentives. 2021. *Alternative Fuels Data Center* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://afdc.energy.gov/laws/all?state=US>

Alternative Fuels Data Center: Volumetric Ethanol Excise Tax Credit (VEETC), 2021. *Alternative Fuels Data Center* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://afdc.energy.gov/laws/399>

AMADEO, Kimberly, 2020. How Farm Subsidies Affect You [en ligne]. 10 novembre 2020 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.thebalance.com/farm-subsidies-4173885>

Annual U.S. & World Fuel Ethanol Production, 2021. *Renewable Fuels Association* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>

ASSOCIATION, National Corn Growers, sans date. *National Corn Growers Association* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ncga.com/>

Biden team holds policy talks with biofuel groups, 2021. *Biofuels International Magazine* [en ligne]. 4 janvier 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://biofuels-news.com/news/biden-team-holds-policy-talks-with-biofuel-groups/>

Biden's 2030 emissions target welcomed by ethanol coalition, 2021. *Biofuels International Magazine* [en ligne]. 5 mai 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://biofuels-news.com/news/bidens-2030-emissions-target-welcomed-by-ethanol-coalition/>

Bioethanol, sans date. *EPFL* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epfl.ch/labs/bpe/research/bioenergy/biofuels-overview/bioethanol/>

Biofuels Basics, sans date. *Growth Energy* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://growthenergy.org/resources/biofuels-basics/>

BOURBON, Ellen et SCIENCE, Allegheny, 2021. *Clean Cities Alternative Fuel Price Report, January 2021* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse:

https://afdc.energy.gov/files/u/publication/alternative_fuel_price_report_january_2021.pdf

BUSTOS, Cheri, 2020. *Text - H.R.8371 - 116th Congress (2019-2020): Next Generation Fuels Act of 2020*. [en ligne]. 24 septembre 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.congress.gov/bill/116th-congress/house-bill/8371/text>

Chapter 16 Denatured Fuel Ethanol Futures, sans date. *CME Group* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cmegroup.com/content/dam/cmegroup/rulebook/CBOT/II/16.pdf>

Commodity Costs and Returns, 2021. *USDA ERS* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ers.usda.gov/data-products/commodity-costs-and-returns/>

Commodity Exchange Act & Regulations, sans date. *CFTC* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cftc.gov/LawRegulation/CommodityExchangeAct/index.htm>

Commodity Price Spike, 2011. *USDA ERS* [en ligne]. 1 septembre 2011. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2011/september/commodity-price-spike/>

Corn Prices - 59 Year Historical Chart, 2021. *Macrotrends* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.macrotrends.net/2532/corn-prices-historical-chart-data>

COVID-19 Economic Impact December 2020, 2020. *Renewable Fuels Association* [en ligne]. 9 décembre 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2020/12/COVID-19-Economic-Impact-December-2020.pdf>

Crop Production 2020 Summary (January 2021), 2021. *USDA, National Agricultural Statistics Service* [en ligne]. 12 janvier 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse:

https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/cropan21.pdf

Crop Production Down in 2012 Due to Drought, USDA Reports Winter Wheat Seedings and Grain Stocks are also Reported, 2013. *USDA, National Agricultural Statistics Service* [en ligne]. 11 janvier 2013 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://www.nass.usda.gov/Newsroom/archive/2013/01_11_2013.php

Crude Oil Prices - 70 Year Historical Chart, 2021. *Macrotrends* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.macrotrends.net/1369/crude-oil-price-history-chart>

DATABASE, EWG's Farm Subsidy, 2020. *EWG's Farm Subsidy Database* [en ligne]. 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://farm.ewg.org/progdetail.php?fips=00000&progcode=corn>

DATABASE, EWG's Farm Subsidy, sans date. *EWG's Farm Subsidy Database* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://farm.ewg.org/region.php?fips=00000>

DATABASE, EWG's Farm Subsidy, sans date. *EWG's Farm Subsidy Database* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://farm.ewg.org/region.php?fips=00000&progcode=total>

DATABASE, EWG's Farm Subsidy, sans date. *EWG's Farm Subsidy Database* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://farm.ewg.org/progdetail.php?fips=00000&progcode=totalfarm&page=conc®ionname=theUnitedStates>

E15 Rapidly Moving Into the Marketplace, 2021. *Growth Energy* [en ligne]. 16 mars 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://growthenergy.org/wp-content/uploads/2021/03/e15-stationcount-2361-2021-03-16.pdf>

E85 & E15 Maps, 2021. *E85 Prices* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://e85prices.com/e85map>

Earth - Place Explorer - Data Commons, sans date. *Data Commons* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://datacommons.org/place/Earth?hl=fr#Donn%C3%A9es%20d%C3%A9mographiques>

e-CFR: TITLE 17—Commodity and Securities Exchanges, sans date. *E-CFR* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=ba99527df9a9d66007be40ce7806f50e&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title17/17cfr150_main_02.tpl

EDWARDS, Chris, 2018. Agricultural Subsidies. *Downsizing the Federal Government* [en ligne]. 16 avril 2018. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.downsizinggovernment.org/agriculture/subsidies>

Electronic Code of Federal Regulations (eCFR), sans date. *Electronic Code of Federal Regulations (eCFR)* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ecfr.gov/>

Environmental Working Group, sans date. *Environmental Working Group* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ewg.org/>

EPA Signals New Position on Small Refinery Exemptions, sans date. *US EPA* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/epa-signals-new-position-small-refinery-exemptions>

Ethanol | 2005-2021 Data, 2021. *Trading Economics* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://tradingeconomics.com/commodity/ethanol>

Ethanol explained, 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 21 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/ethanol.php>

Ethanol Futures Contract Specs, sans date. *CME Group* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cmegroup.com/markets/energy/biofuels/cbot-ethanol.contractSpecs.html>

Ethanol, sans date. *Fuel Economy* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.fueleconomy.gov/feg/ethanol.shtml>

Ethanol, sans date. *U.S. GRAINS COUNCIL* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://grains.org/buying-selling/ethanol-2/>

EWERT, Stéphanie, 2015. *U.S. Population Trends: 2000 to 2060* [en ligne]. 15 octobre 2015. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ncsl.org/Portals/1/Documents/nalfo/USDemographics.pdf>

Fact Sheets, sans date. *Growth Energy* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://growthenergy.org/resources/newsroom/fact-sheets/>

FAOSTAT, sans date. *FAOSTAT* [en ligne]. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>

Farm Bill Spending, 2021. *USDA ERS* [en ligne]. 1 février 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ers.usda.gov/topics/farm-economy/farm-commodity-policy/farm-bill-spending/>

Feed Grains: Yearbook Tables, sans date. *USDA ERS* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.ers.usda.gov/data-products/feed-grains-database/feed-grains-yearbook-tables/>

Fiche de données sur la population mondiale 2007, 2007. *Population Reference Bureau* [en ligne]. Novembre 2007 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://www.prb.org/wp-content/uploads/2007/08/wpds07_fr.pdf

Final Renewable Fuel Standards for 2020, and the Biomass-Based Diesel Volume for 2021, 2020. *US EPA* [en ligne]. 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/final-renewable-fuel-standards-2020-and-biomass-based-diesel-volume>

Frequently Asked Questions (FAQs), sans date. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php>

Fuel ethanol production in major countries 2020, 2021. *Statista* [en ligne] 26 février 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/281606/ethanol-production-in-selected-countries/>

Fuel ethanol production worldwide in 2020, by country, 2021. *Statista* [en ligne]. 26 février 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/281606/ethanol-production-in-selected-countries/>

Gasoline market in the United States, 2020. *Statista* [en ligne]. 9 novembre 2020 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/topics/1971/gasoline-industry-in-the-us/>

GEARHART, Scott, 2003. *Motor Gasoline Outlook and State MTBE Bans* [en ligne] 6 avril 2003. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/outlooks/steo/special/pdf/mtbeban.pdf>

Government payments by program, 2021. *USDA Economic Research Service* [en ligne]. 5 février 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://data.ers.usda.gov/reports.aspx?ID=17833>

Grain: World Markets and Trade, 2021. *USDA Foreign Agricultural Service* [en ligne]. Juillet 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>

Grains oilseeds outlook, 2021. *USDA* [en ligne]. 19 février 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.usda.gov/sites/default/files/documents/grains-oilseeds-outlook.pdf>

Gross Domestic Product, 4th Quarter and Year 2020, 2021. *U.S. Bureau of Economic Analysis (BEA)* [en ligne]. 28 janvier 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.bea.gov/news/2021/gross-domestic-product-4th-quarter-and-year-2020-advance-estimate>

History of FCA, sans date. *Farm Credit Administration* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.fca.gov/about/history-of-fca>

Inflation-adjusted price indices for corn, wheat, and soybeans, 2019. *USDA Economic Research Service* [en ligne]. 23 avril 2019 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartId=76964>

International Grains Council, 2021. *International Grains Council* [en ligne]. 24 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.igc.int/en/markets/marketinfo-sd.aspx>

La Biomasse : définition, enjeux et avantages de cette énergie, 2013. *Connaissance des énergies* [en ligne]. 2 octobre 2013 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/biomasse>

Matières premières pour la production d'éthanol, sans date. *Syndicat National des Producteurs d'Alcool Agricole* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.alcool-bioethanol.net/alcool-agricole/les-matieres-premieres/>

MCCAHERTY, Jeanne, HUSCHITT, Erik, SCHWARCK, Rick, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et KEMMET, Neal, 2020. *2020 Ethanol Industry Outlook* [en ligne]. 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2020/02/2020-Outlook-Final-for-Website.pdf>

MCCAHERTY, Jeanne, WILSON, Charles, COOPER, Geoff et SCHWARCK, Rick, 2021. *2021 Ethanol Industry Outlook* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2021/02/RFA_Outlook_2021_fin_low.pdf

MTBE controversy, 2020. *Wikipedia* [en ligne]. 27 décembre 2020 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=MTBE_controversy&oldid=996659802

O'MALLEY, Jane, 2021. *The impact of the U.S. Renewable Fuel Standard on food and feed prices*. [en ligne]. Janvier 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://theicct.org/sites/default/files/publications/RFS-and-feed-prices-jan2021.pdf>

OECD et FAO, 2020. *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029* [en ligne]. 16 juillet 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. ISBN 978-92-64-31767-3. Disponible à l'adresse: https://www.oecd-ilibrary.org/agriculture-and-food/oecd-fao-agricultural-outlook-2020-2029_1112c23b-en

Oil imports and exports, 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne] 13 avril 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/energyexplained/oil-and-petroleum-products/imports-and-exports.php>

Overview for Renewable Fuel Standard, 2007. *US EPA* [en ligne]. 2007. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/overview-renewable-fuel-standard>

Position Limits White Paper, sans date. *CME Group* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cmegroup.com/company/files/PositionLimitsWhitePaper.pdf>

QuickStats Ad-hoc Query Tool, sans date. *USDA/NASS* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://quickstats.nass.usda.gov/results/AF73D8BC-A955-3A0F-90E3-79BAD03ACFBA?pivot=short_desc

Renewable Identification Numbers (RINs) under the Renewable Fuel Standard Program, sans date. *US EPA* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epa.gov/renewable-fuel-standard-program/renewable-identification-numbers-rins-under-renewable-fuel-standard>

Retrospective of Impact of Ethanol on Food Prices, 2016. *Renewable Fuel Association* [en ligne]. Novembre 2016 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2016/11/Retrospective-of-Impact-of-Ethanol-on-Food-Prices-2016.pdf>

RFS2 Ten Years, 2017. *Renewable Fuel Association* [en ligne]. Décembre 2017. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2017/12/RFS2-Ten-Years.pdf>

RICHMAN, Scott, 2021. *Renewable Fuels Association* [en ligne]. 2021.[Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2021/02/2020-US-Ethanol-Trade-Statistical-Summary.pdf>

RIN Trades and Price Information, sans date. *US EPA* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/rin-trades-and-price-information>

RIN, sans date. *McKinsey Energy Insights* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.mckinseyenergyinsights.com/resources/refinery-reference-desk/rin/>

Speculative Limits, sans date. *CFTC* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cftc.gov/IndustryOversight/MarketSurveillance/SpeculativeLimits/speculativeimits.html>

Tax Policy, sans date. *Renewable Fuels Association* [en ligne]. Sans date. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://ethanolrfa.org/tax/>

The United States continues to export MTBE, 2018. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 13 juillet 2018 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=36614>

This Week In Petroleum Summary, 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 30 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: https://www.eia.gov/petroleum/weekly/archive/2021/210630/includes/analysis_print.php

Topic: Biofuel industry in the U.S., 2021. *Statista* [en ligne]. 19 janvier 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/topics/7366/biofuel-industry-in-the-us/>

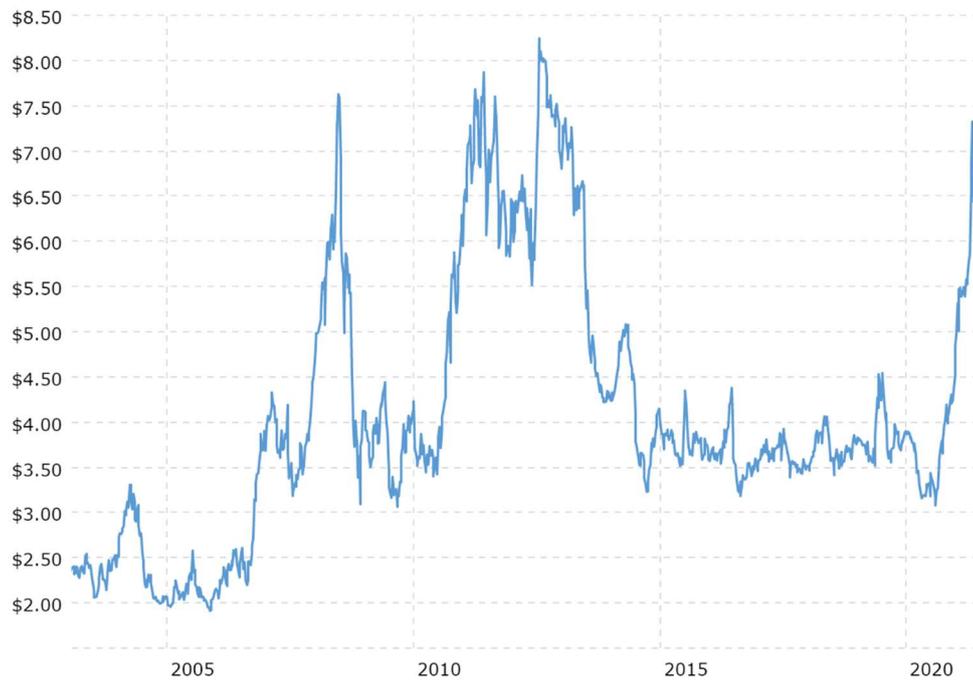
U.S. energy facts explained - consumption and production, 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 14 mai 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/energyexplained/us-energy-facts/>

U.S. ethanol exports by destination 2020, 2021. *Statista* [en ligne]. 26 février 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/374487/us-ethanol-export-destinations/>

U.S. Imports of Crude Oil (Thousand Barrels), 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 30 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=MCRIMUS1&f=A>

- U.S. oil production - in million metric tons 2019, 2021. *Statista* [en ligne]. 15 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/265215/us-oil-production-in-million-metric-tons/>
- U.S. petroleum import share from OPEC 2020, 2021. *Statista* [en ligne]. 2 avril 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/191259/percentage-of-us-petroleum-imports-from-opec-countries-since-2000/>
- U.S. Product Supplied of Finished Motor Gasoline (Thousand Barrels), 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 30 juin 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/dnav/pet/hist/LeafHandler.ashx?n=PET&s=MGFUPUS1&f=A>
- Understanding Margin Changes, 2020. *CME Group* [en ligne]. 25 mars 2020 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cmegroup.com/content/cmegroup/en/education/articles-and-reports/understanding-margin-changes.html>
- Understanding the Role of Speculators, sans date. *CME Group* [en ligne]. Sans date [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.cmegroup.com/content/cmegroup/en/education/courses/introduction-to-futures/understanding-the-role-of-speculators.html>
- United States corn utilization, 2019/2020, 2021. *Statista* [en ligne]. 5 janvier 2021 [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.statista.com/statistics/203245/united-states-corn-utilization/>
- Use of ethanol, 2021. *U.S. Energy Information Administration (EIA)* [en ligne]. 23 juin 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/use-and-supply-of-ethanol.php>
- World Of Corn 2020, 2020. *World Of Corn* [en ligne]. 2020. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://www.worldofcorn.com/pdf/WOC-2020.pdf>
- World Of Corn 2021, 2021. *World Of Corn* [en ligne]. 2021. [Consulté le 16 juillet 2021]. Disponible à l'adresse: <http://worldofcorn.com/pdf/WOC-2021.pdf>

Annexe 1 : Prix moyen annuel d'un boisseau de maïs (en dollars américains)



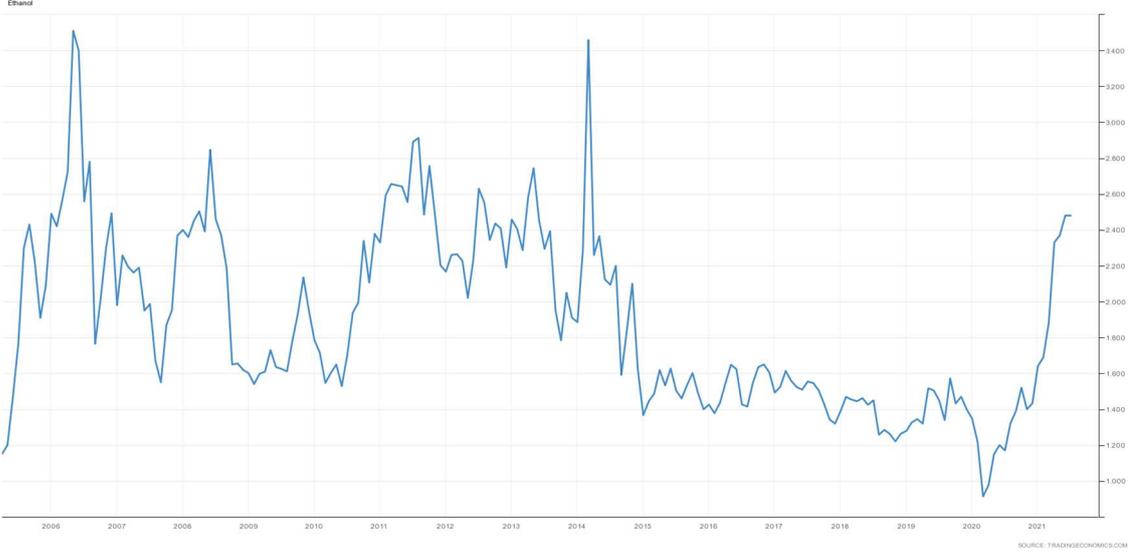
(Macrotrends 2021)

Annexe 2 : Prix moyen annuel d'un baril de pétrole brut américain (WTI) (en dollars américains)



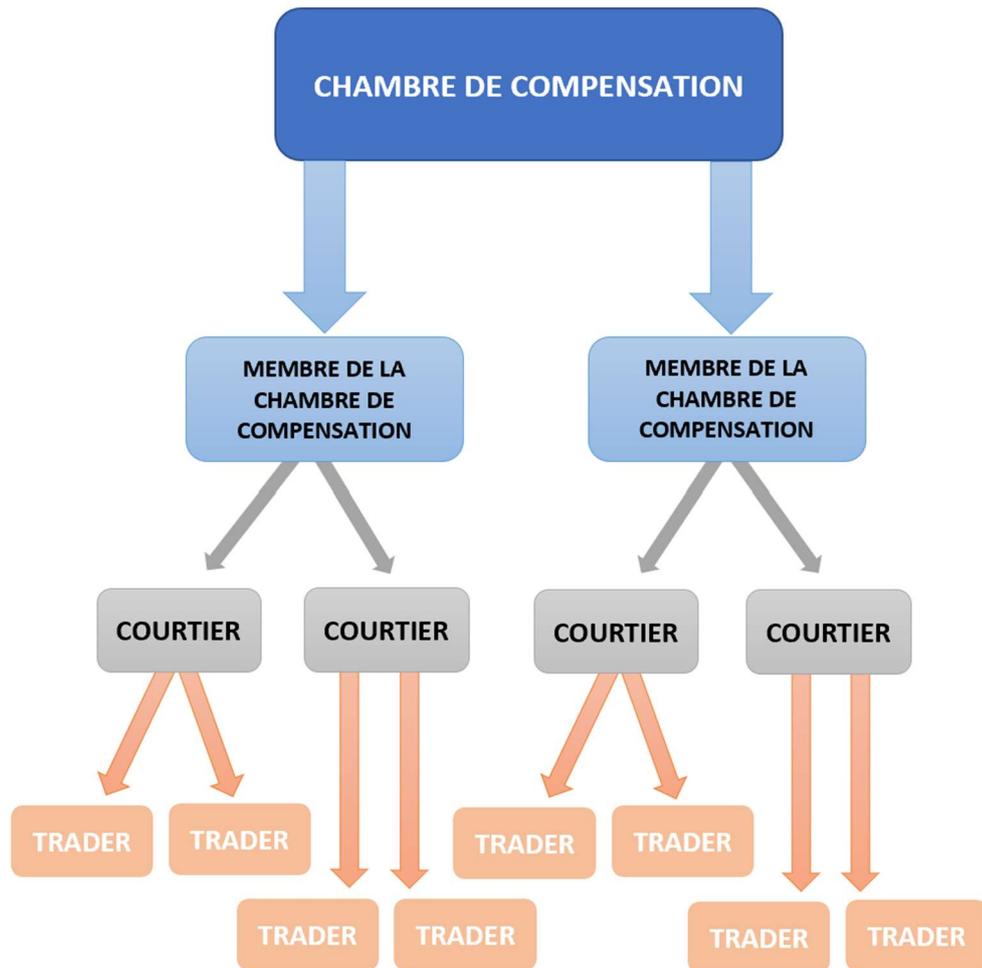
(Macrotrends 2021)

Annexe 3 : Prix moyen annuel d'un gallon d'éthanol (en dollars américains)



(Trading Economics 2021)

Annexe 4 : Structure du Chicago Mercantile Exchange



(Maïke Da Silva 2021)

Annexe 5 : Niveaux limites des positions spéculatives obligatoires de la CFTC

Contract	Spot Month	Single Month and All-Months-Combined
Legacy Agricultural		
Chicago Board of Trade Corn (C)	1,200	57,800
Chicago Board of Trade Oats (O)	600	2,000
Chicago Board of Trade Soybeans (S)	1,200	27,300
Chicago Board of Trade Soybean Meal (SM)	1,500	16,900
Chicago Board of Trade Soybean Oil (SO)	1,100	17,400
Chicago Board of Trade Wheat (W)	1,200	19,300
Chicago Board of Trade KC HRW Wheat (KW)	1,200	12,000
Minneapolis Grain Exchange Hard Red Spring Wheat (MWE)	1,200	12,000
ICE Futures U.S. Cotton No. 2 (CT)	900	5,950 (single month) 11,900 (all-months-combined)
Other Agricultural		
Chicago Board of Trade Rough Rice (RR)	800	Not Applicable
Chicago Mercantile Exchange Live Cattle (LC)	600/300/200 ¹	Not Applicable
ICE Futures U.S. Cocoa (CC)	4,900	Not Applicable
ICE Futures U.S. Coffee C (KC)	1,700	Not Applicable
ICE Futures U.S. FCOJ-A (OJ)	2,200	Not Applicable
ICE Futures U.S. Sugar No. 11 (SB)	25,800	Not Applicable
ICE Futures U.S. Sugar No. 16 (SF)	6,400	Not Applicable
Energy		
New York Mercantile Exchange Henry Hub Natural Gas (NG)	2,000 ²	Not Applicable
New York Mercantile Exchange Light Sweet Crude Oil (CL)	6,000/5,000/4,000 ³	Not Applicable
New York Mercantile Exchange NY Harbor ULSD (HO)	2,000	Not Applicable
New York Mercantile Exchange RBOB Gasoline (RB)	2,000	Not Applicable
Metal		
Commodity Exchange, Inc. Copper (HG)	1,000	Not Applicable
Commodity Exchange, Inc. Gold (GC)	6,000	Not Applicable
Commodity Exchange, Inc. Silver (SI)	3,000	Not Applicable
New York Mercantile Exchange Palladium (PA)	50	Not Applicable
New York Mercantile Exchange Platinum (PL)	500	Not Applicable

(E-CFR 2021)