

Université de Reims
Champagne-Ardenne

PRÉDICTION DU NUTRI-SCORE

RAPPORT FINAL



Master SEP
Promotion 2023/2024

Brunet Alexandre

Ertas Elif

Jupin Manon

Gabet Léo

Kpadonou Carlos

Otogondoua Ememaga

Jordhy Jean Jaurès

SOMMAIRE

Remerciements	3
Introduction	4
1. Interfaces utilisateur	7
1.1. Interface d'entrée	7
1.2. Interface de sortie	9
2. Préparation des données	13
2.1. Lien VBA-Python	13
2.2. Nettoyage des données	14
2.3. Choix des variables des deux modèles	15
3. Modèles utilisés	17
3.1. Régression logistique ordinale	17
3.2. Random Forest	20
Conclusion	28
Webographie	29
Table des figures	30
Table des tableaux	31
Contributeurs	32

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude envers toutes les personnes qui ont contribué à l'achèvement de ce projet. Leur expertise, encouragement et retours constructifs tout au long du processus ont été très précieux pour construire un projet sérieux et pertinent.

Nous tenons d'abord à exprimer notre gratitude envers Morgan Cousin pour son apport significatif en termes de méthodes et d'outils de travail. Ses retours constructifs ont joué un rôle déterminant dans notre amélioration, que ce soit au niveau de nos compétences orales ou de notre organisation. Nos remerciements vont également à Amor Keziou pour ses avis en termes de choix de modèles de prédiction qui nous ont permis d'avoir un regard critique sur les modèles que nous avons utilisés. Enfin, nous gratifions Arona Diene pour ses conseils et son aide dans la construction et le développement de notre interface ainsi que du lien entre VBA et Python.

INTRODUCTION

Au cours des dernières années, l'émergence croissante des préoccupations environnementales s'est étendue à la question de la santé et du bien-être physique par le biais de l'alimentation. La convergence de ces deux aspects, combinée au désir d'informer le consommateur, a incité l'État à établir une norme d'étiquetage pour les produits transformés connue sous le nom de Nutri-Score. Cette norme classe les produits en fonction de leur impact positif ou négatif sur la santé des consommateurs, symbolisé par des lettres de A (très bon pour la santé) à E (très mauvais pour la santé). Ce classement repose sur les composants nutritionnels des produits.

C'est dans ce contexte que notre application se concentre sur la prédiction du Nutri-Score des produits à partir de leurs valeurs nutritionnelles. Pour en savoir plus sur cette application, veuillez consulter notre [dépôt GitHub¹](#). La pertinence de notre application réside dans le fait qu'aucune formule actuelle ne parvient à estimer de manière exhaustive et fiable la qualité nutritionnelle des produits. En comblant cette lacune, notre approche novatrice s'appuie sur des méthodes avancées de prédiction du Nutri-Score à partir des valeurs nutritionnelles, offrant ainsi une solution précieuse pour informer les consommateurs sur les choix alimentaires optimaux.

Cette application s'adresse à deux groupes distincts. Le premier groupe comprend les consommateurs qui souhaitent vérifier le Nutri-Score des produits ou découvrir le Nutri-Score d'un produit qui n'en dispose pas. Le second groupe est constitué de producteurs cherchant à évaluer rapidement et sans coût le Nutri-Score de leurs produits. Cette distinction a été établie pour atteindre un public plus vaste, mais aussi et surtout parce que certaines informations nécessaires ne sont accessibles qu'aux producteurs.

Pour la conception de cette application, notre point de départ a été une base de données exhaustive regroupant plus de 52 200 produits, chacun détaillé avec ses caractéristiques nutritionnelles, les variables explicatives, et leur Nutri-Score (tableau 1). Toutefois, il est important de noter que la répartition des données liées au Nutri-Score présente un déséquilibre, avec également la présence de produits non notés (figure 1).

¹ https://github.com/Alfex-1/Projet_digital

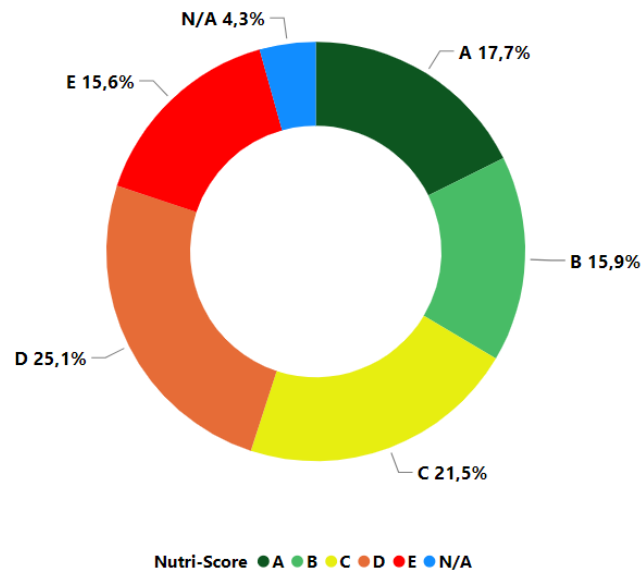


Figure 1 Distribution des produits en fonction de leur Nutri-Score et de l'absence de notation.

Cette base est présente sur le site de [l'open data du gouvernement](https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/open-food-facts-produits-alimentaires-ingredients-nutrition-labels/)² qui rassemble les produits présents sur le site Open Food Facts qui met à jour régulièrement ses données. Grâce à cela, nous allons mobiliser des outils d'apprentissage statistique pour qu'un consommateur ou producteur, en entrant les informations du produit, puisse évaluer de la pertinence du Nutri-Score d'un produit (ou alors connaître le son Nutri-Score dans le cas où il n'y a pas accès).

² <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/open-food-facts-produits-alimentaires-ingredients-nutrition-labels/>

Variables*	Description (quantité pour 100g)
energy	Kilocalories
fat	Matières grasses
saturated-fat	Graisses saturées
trans-fat	Graisses transformées
cholesterol	Cholestérol
carbohydrates	Glucides
sugars	Sucres
fiber	Fibres
proteins	Protéines
salt	Sel
sodium	Sodium
vitamin-a	Vitamine A
vitamin-c	Vitamine C
calcium	Calcium
iron	Fer

nutrition_grade_fr **Notre variable cible qui est décrite par des lettres allant de A à E exprimant la qualité nutritionnelle du produit.**

Tableau 1 : Description de toutes les variables utilisées. * _100g

1. Interfaces utilisateur

1.1. Interface d'entrée

Lorsque l'on pose le premier pas sur notre application, une page d'accueil s'affiche (figure 2), introduisant notre application en présentant son public cible, les motivations derrière son développement, ainsi qu'un avertissement destiné aux utilisateurs. Ce message encourage ces derniers à entrer les données de manière spécifique, en pensant en termes de 100g, c'est-à-dire en considérant les valeurs comme celles figurant sur les emballages de produits que l'on trouve habituellement en supermarché. En outre, la page d'accueil propose différents historiques et tableaux de bord, ainsi qu'un message spécialement conçu pour les consommateurs. Enfin, un bouton est mis à disposition pour ouvrir le formulaire dans lequel les utilisateurs pourront saisir les valeurs nécessaires.

Bienvenue dans notre calculateur de Nutri-Score !



Cette application est votre compagnon pour une alimentation plus consciente et plus saine. Que vous soyez un producteur cherchant à améliorer la qualité nutritionnelle de vos produits ou un consommateur désireux de faire des choix plus éclairés, notre application vous offre les outils dont vous avez besoin. Pour l'utiliser, rien de plus simple ! Cliquez sur le bouton formulaire, cocher la case consommateur ou producteur selon votre statut puis remplissez les informations se trouvant sur votre paquet !

À qui s'adresse notre application et dans quel but ?

- **Aux producteurs :** Optimisez la santé de vos produits en calculant leur Nutri-Score. Notre plateforme vous permet de comprendre et d'améliorer la qualité nutritionnelle de vos aliments, pour répondre aux besoins croissants de consommateurs soucieux de leur bien-être. Augmentez la transparence et la confiance des consommateurs envers vos produits.
- **Aux consommateurs :** Faites des choix alimentaires plus éclairés sur vos produits. Le Nutri-Score vous fournit une évaluation simple et compréhensible de la qualité nutritionnelle, vous aidant à choisir des aliments qui correspondent à vos besoins de santé. En un coup d'œil, vous saurez ce qui est bon pour vous.

 **Merci de remplir les valeurs pour l'équivalent de 100 g de votre produit ! Sinon le calcul sera faussé. Il arrive que sur des paquets vous ayez des valeurs de la forme suivante : "< 0,5 g" -> dans ce cas, nous vous demandons de rentrer la valeur 0,5**

FORMULAIRE

ATTENTION : Si vous êtes consommateur

Le calcul pour les consommateurs est légèrement moins précis que celui pour les producteurs : 98% pour les producteurs et 83% pour les consommateurs. Cela s'explique par la perte de certaines informations. Les producteurs ont des informations sur leurs produits (ex : Calcium, Fer, Fibres, etc...) qui n'apparaissent pas nécessairement sur les paquets vendus en magasin. Les seules informations que nous vous demandons de donner pour la partie consommateur sont les valeurs nutritionnelles obligatoirement présentes sur les paquets.



HISTORIQUE CONSOMMATEUR

DASHBOARD CONSOMMATEUR

HISTORIQUE PRODUCTEUR

DASHBOARD PRODUCTEUR

Toutes les recommandations qui apparaissent sur le Dashboard proviennent du site de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Vous pouvez retrouver ces informations via ce lien : <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>

Figure 2 : Page d'accueil.

Poursuivons avec la création d'une interface utilisateur sous forme d'un formulaire dans Excel qui a plusieurs parties (figure 3). La première, la plus importante, est celle du choix entre consommateur et producteur. Ce choix se justifie dans le fait que certaines informations ne se trouvent pas sur les paquets des produits (comme le cholestérol), ou en tout cas pas à tous les coups. Ensuite, nous avons le nom du produit que l'utilisateur doit insérer. Nous avons également la partie de l'historique : l'utilisateur peut visualiser les différents produits qu'il a déjà inséré. Enfin, nous avons la plus grande partie qui concerne les informations que l'utilisateur veut insérer.

Dans le cas où un produit serait déjà présent dans l'historique et que l'utilisateur insère à nouveau le nom de ce produit, un message s'affiche en disant que le produit existe déjà et donne également le choix de modifier ou non les informations de ce produit. Aussi, lorsque l'utilisateur fait le choix entre consommateur et producteur (choix qu'il doit faire en premier, sans quoi aucune information ne peut être insérée), les informations grisées sont celles qui ne sont pas disponibles pour le type choisi. La raison de cette sécurité tient dans le modèle statistique. En effet, nous avons généré 2 modèles différents, basés sur des variables différentes. Cela s'exprime sur le formulaire par la disponibilité ou non d'insérer certaines valeurs. En parlant de ces valeurs, puisqu'elles sont exprimées par 100g, aucune valeur ne doit excéder 100g (sauf pour les kilocalories).

Naturellement, nous trouvons le bouton de confirmation (« Calculer Nutri-Score ») de couleur verte qui va calculer le Nutri-Score avec les informations insérées, puis le bouton pour quitter le formulaire, en rouge. Lorsque l'utilisateur veut confirmer ses informations grâce au bouton vert, un récapitulatif ainsi qu'une demande de (re)confirmation apparaissent. De plus, le bouton vert ne sera actif que lorsque toutes les variables seront entrées dans le formulaire.

Pour finir, la vérification des valeurs est importante pour Python dans sa lecture des données des entrées. Par exemple, le formulaire supprime automatiquement un caractère, car nous attendons des valeurs numériques au format « 0.0 ». Ainsi, si « 0,0 » est saisi, notre code le met à jour avec le format « 0.0 », le seul format numérique accepté en langage Python. Cela nous a permis d'éviter d'afficher des messages à chaque case, car nous trouvons ce principe très lourd pour l'utilisateur. Avec notre code, les entrées et corrections sont plus fluides et l'utilisateur peut poursuivre son activité, sans à se soucier des détails comme celui-ci.

Formulaire Calcul Nutri-Score

Calcul du Nutri-Score

Nom du produit

Choix du client

☐ Consommateur
 ☐ Producteur

Historique

Renseignement en quantité du produit*

Energie	<input type="text"/>	kcal	Matières grasses trans	<input type="text"/>	g
Matières grasses	<input type="text"/>	g	Cholestérol	<input type="text"/>	g
Matières grasses saturées	<input type="text"/>	g	Fibres	<input type="text"/>	g
Glucides	<input type="text"/>	g	Vitamine C	<input type="text"/>	g
Sucre	<input type="text"/>	g	Vitamine A	<input type="text"/>	g
Protéines	<input type="text"/>	g	Sodium	<input type="text"/>	g
Sel	<input type="text"/>	g	Fer	<input type="text"/>	g
			Calcium	<input type="text"/>	g

* pour 100g

Calculer Nutri-Score

Quitter

Figure 3 : Formulaire d'entrée.

1.2. Interface de sortie

Quand l'utilisateur a réussi à entrer les valeurs de son produit, le Nutri-Score s'obtient par la prédiction de notre algorithme exécuté par un script Python, via l'API. En fonction de ce que l'utilisateur a coché, il serait dirigé vers le dashboard du producteur (figure 4) ou celui du consommateur (figure 5) dans lesquels les messages sont personnalisés en fonction du public.

À l'intérieur de ces dashboard, nous trouvons le plus important : le Nutri-Score que retourne l'algorithme. Évidemment, l'algorithme ne fait pas des choix catégoriques, mais estime des probabilités d'appartenance. C'est le Nutri-Score qui obtient la plus grande probabilité qui est mis en avant avec une jauge et un message qui commente le résultat. Quant aux autres probabilités, ils sont résumés dans le diagramme circulaire situé en dessous de la jauge qui résume toutes les probabilités. L'intérêt est de voir si l'algorithme est plutôt « confiant » dans son résultat. Par exemple, un produit qui a 68% de chance d'être classé dans la catégorie B, veut dire qu'il y a peu de doute sur son classement. Ensuite, dans la même partie des dashboard, nous avons le top 3 des nutriments qui influencent le plus le calcul des probabilités et les performances des modèles (nous en parlerons en détails dans la partie sur les modèles utilisés). À droite du dashboard, nous avons l'erreur de classification des modèles utilisés, indiquant ainsi la « fiabilité » de celui-ci. Enfin, quelques recommandations apparaissent, à la

fois sur la composition des produits des producteurs (pour qu'ils fassent attention) et sur les limites que pose l'OMS pour avertir les consommateurs des « risques » nutritionnels.

Hors du dashboard, un historique apparaît de la même façon que pour le formulaire d'entrée, ainsi, si l'utilisateur veut revoir le résultat de ses anciens produits, il n'est pas obligé de revenir sur le formulaire. L'objectif est bien de fluidifier l'expérience de l'utilisateur.

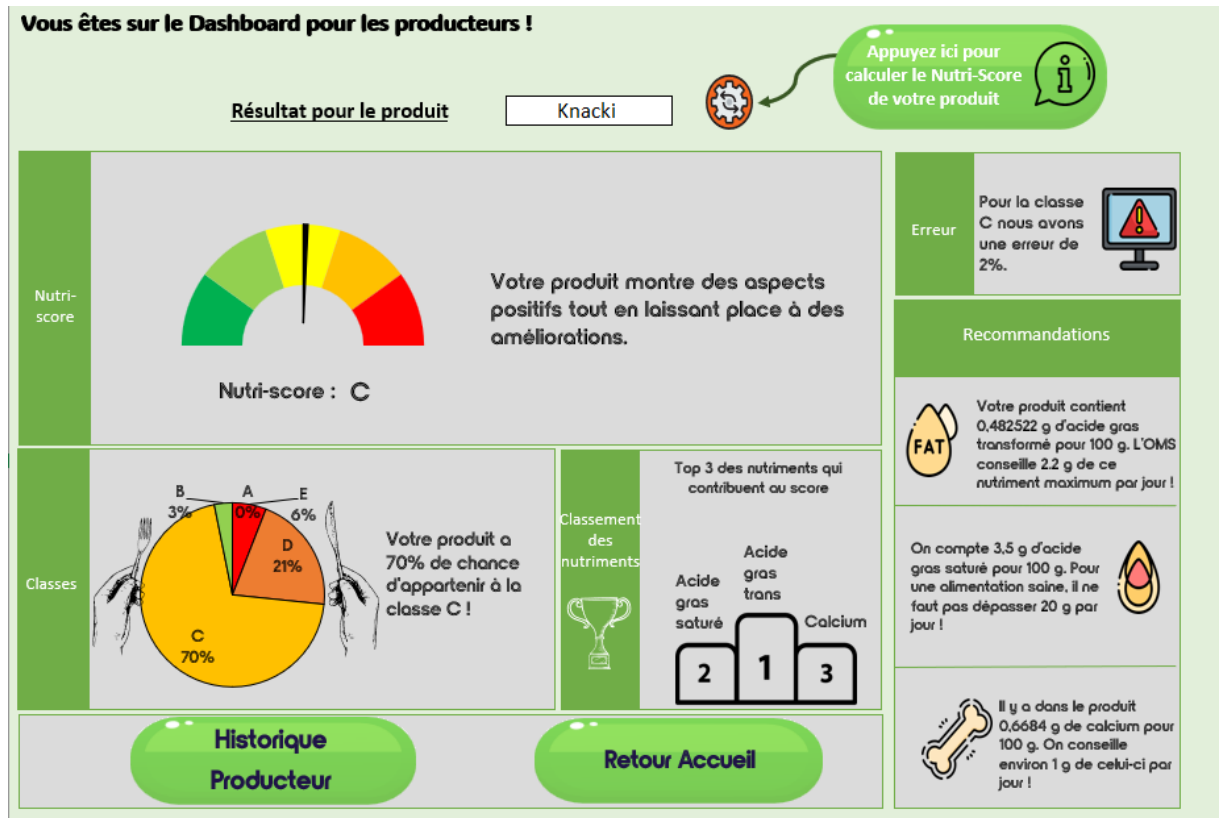


Figure 4 : Dashboard du producteur.

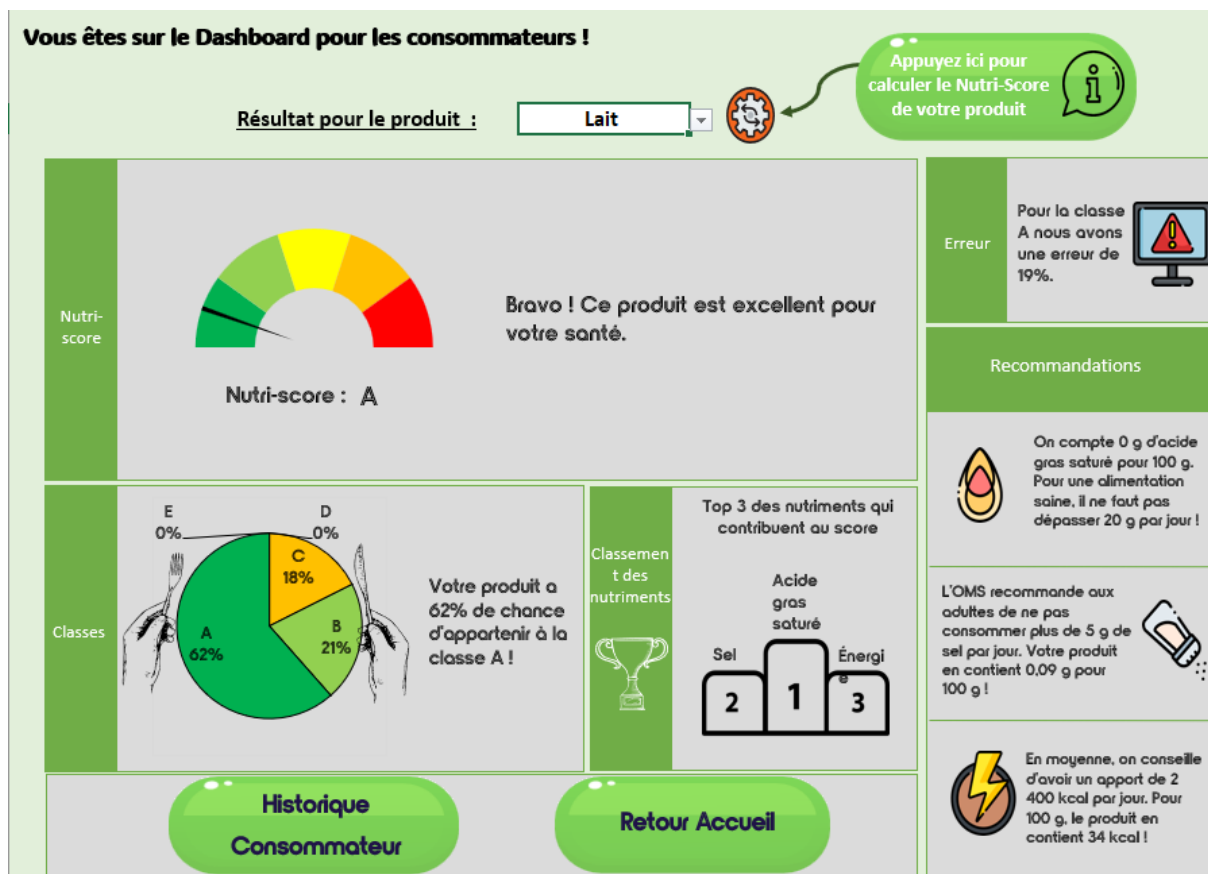


Figure 5 : Dashboard du consommateur.

En outre, nous avons mis à disposition des boutons lui permettant de revenir à l'accueil et de consulter l'historique (figure 6 et 7). Dans ces historiques, nous retrouvons toutes les informations insérer par l'utilisateur dans sa page dédiée (consommateur ou producteur) avec les différentes probabilités ainsi que le Nutri-Score le plus probable pour chaque produit. Deux boutons sont également mis à disposition : le retour à l'accueil et la visualisation du dashboard. L'utilité de tous ces boutons, c'est d'améliorer l'expérience de l'utilisateur en lui évitant les désagréments induit par la navigation entre les différentes feuilles du fichier Excel.

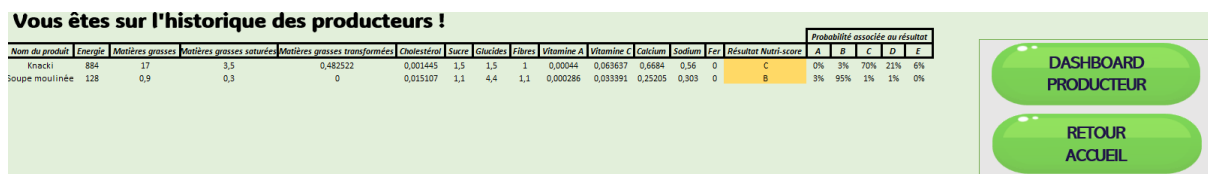


Figure 6 : Historique du producteur.

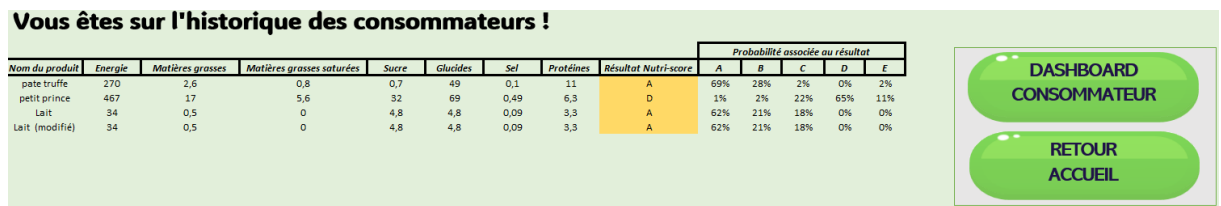


Figure 7 : Historique du consommateur.

2. Préparation des données

2.1. Lien VBA-Python

Notre application a pour objet d'utiliser à la fois VBA (pour la création d'interfaces), et à la fois Python (pour le développement d'un algorithme de prédiction). Or, ce sont deux logiciels qui ne sont pas par nature liés. C'est pourquoi nous devons faire la liaison nous-même. Certes, nous avons développé du code VBA pour la création du formulaire, etc. Mais nous avons également fait en sorte que le code VBA gère le stockage des valeurs dans un historique et qui les envoie à Python pour appliquer le modèle (selon si l'utilisateur à cocher consommateur ou producteur). Il reste maintenant à savoir comment ce lien a pu s'établir. En fait, c'est grâce à une API. La relation Python-VBA s'effectue selon le processus suivant :

1. Les utilisateurs saisissent des données dans un formulaire Excel.
2. Les données saisies sont stockées dans des variables VBA pour une manipulation ultérieure.
3. Ces variables VBA sont utilisées pour créer une structure de données JSON (format {"clé": valeur}).
4. Une API Python a été développée pour réaliser la prédiction du Nutri-Score. Cette API est hébergée sur pythonanywhere.
 - a. Le script de l'API décharge les deux modèles python contenus dans le pickle
 - b. Puis récupère les données issus de la requête reçue
 - c. Effectue la prédiction des probabilité d'appartenance à chaque groupe
 - d. Enfin ces probabilités sont stockées dans des variables et mis au format json pour être retourné à Excel par l'api
5. Le script de l'API extrait les deux modèles choisis contenus dans les fichiers pickle
6. Puis récupère les données issues de la requête reçue
7. Effectue la prédiction des probabilités d'appartenance à chaque groupe
8. Enfin, ces probabilités sont stockées dans des variables et mis au format JSON pour être retourné à Excel par l'API
9. Les données au format JSON sont envoyées à cette API Python pour effectuer la prédiction.
10. L'API Python renvoie une réponse au format JSON contenant les probabilités d'appartenance à chaque groupe de Nutri-Score.

11. Une fonction appelée "jsonconverter" est utilisée pour interpréter le format JSON retourné et extraire la valeur du Nutri-Score prédit.

Mais pour cela, il est nécessaire d'avoir, en plus de Microsoft Excel, Reference VBA project Microsoft scripting Runtime ainsi qu'une connexion internet, sans quoi l'API ne peut fonctionner et que donc aucune prédiction ne peut s'effectuer.

2.2. Nettoyage des données

Le nettoyage de nos données a été relativement rapide et simple. En effet, notre base, en plus des valeurs nutritionnelles des produits, contenait d'autres informations comme la présence d'additifs par exemple. Cependant, étant donné que le Nutri-Score ne prend en compte que les valeurs nutritionnelles, nous avons décidé de toute information ne relatant pas des variables que l'on étudiait. De plus, ces autres informations étaient inexploitable, car elles manquaient cruellement de sens.

Nous avons réussi à optimiser notre base de données pour une exploitation complète par nos algorithmes. Cependant, une étape cruciale demeurait à franchir : le traitement des données manquantes. C'est pourquoi nous avons décidé d'exclure les produits pour lesquels des informations étaient absentes. De plus, nous avons veillé à équilibrer les données pour éviter toute surreprésentation d'une classe par rapport aux autres.

Finalement, nous avons pu maintenir environ 29 000 produits, représentant un peu plus de la moitié de notre base initiale, qui comptait environ 52 000 éléments. Cette diminution tient principalement à l'équilibrage des données. En ce qui concerne la représentation des Nutri-Score, la classe la moins représentée compte pour 19% des données, tandis que la classe la mieux représentée atteint 22%, assurant ainsi une distribution équitable des informations dans l'ensemble de notre base de données (figure 8).

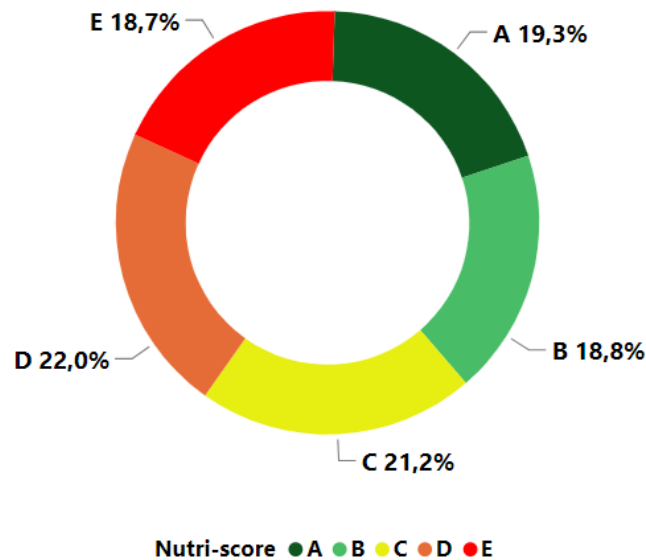


Figure 8 : Nombre de produits par Nutri-Score dans la base finale.

Pour finir, l'utilisation d'un algorithme dans le cadre de l'apprentissage supervisé nécessite la séparation de nos données en deux ensembles distincts : les données dédiées à l'entraînement de l'algorithme et celles destinées à la validation (les données de test). Notre choix s'est porté sur une partition des données avec un ratio de 70%-30%, allouant environ 20 000 produits à l'ensemble d'apprentissage et environ 8 600 produits pour la validation (figure 9).

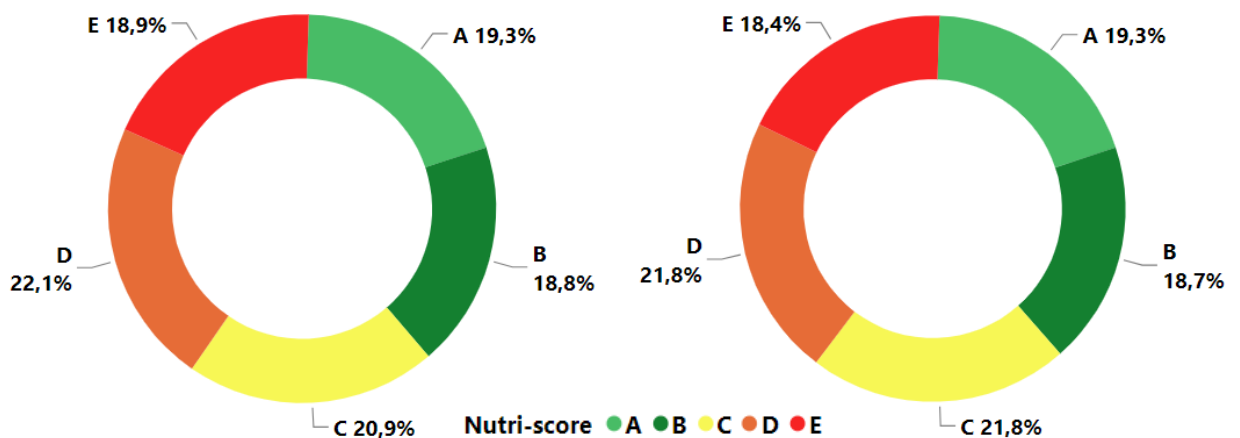


Figure 9 : Division de la base de données en ensemble d'apprentissage (à gauche) et de validation (à droite).

2.3. Choix des variables des deux modèles

Comme expliqué précédemment, nous allons créer deux modèles distincts pour différencier les consommateurs des producteurs de produits alimentaires. Cette distinction repose sur l'asymétrie de l'information : les consommateurs n'ont pas accès à toutes les valeurs nutritionnelles des produits, tandis que les producteurs en disposent. C'est pourquoi nous avons

pris la décision de conserver toutes les variables de notre base de données pour les producteurs. En ce qui concerne les consommateurs, le choix n'était pas évident, car certaines valeurs ne sont pas toujours disponibles. Afin de surmonter cette difficulté, nous nous sommes appuyés sur une publication gouvernementale qui répertoriait de manière exhaustive toutes les valeurs nutritionnelles devant obligatoirement figurer sur les produits (tableau 2). Cette démarche représente le meilleur compromis, compte tenu de notre objectif de rendre l'application aussi utilisable que possible.

	Pour 100 g ou 100 ml
Energie	kJ/kcal
Matières grasses	g
dont :	
acides gras saturés	g
glucides	g
dont :	
sucres	g
protéines	g
sel	g

Tableau 2 : Valeurs nutritionnelle obligatoires sur les denrées alimentaires. **Source** : Ministère de l'Économie des finances et de la souveraineté industrielle et numérique.

3. Modèles utilisés

3.1. Régression logistique ordinale

La régression logistique ordinale, souvent désignée sous le terme de « probit ordonné » ou « logit ordonné », constitue une extension significative de la régression logistique binaire, adaptée au contexte où la variable dépendante (cible) présente une structure ordonnée. Dans notre étude, notre variable cible se décline en 5 modalités, créant ainsi 4 seuils qui délimitent les différentes catégories.

Le modèle de régression logistique ordinale peut être formulé de deux manières distinctes : le modèle probit ordonné et le modèle logit ordonné. Ces deux approches partagent un objectif commun, celui de modéliser les probabilités conditionnelles des différentes catégories de la variable dépendante en fonction des variables explicatives. Dans le cas du modèle probit ordonné, la probabilité conditionnelle que la variable dépendante soit inférieure ou égale à une catégorie k par rapport à une catégorie de référence est exprimée par la fonction de répartition normale cumulative (Φ). Soit $(Y \leq k|X)$ la probabilité que la variable dépendante Y soit dans la catégorie j ou une catégorie inférieure compte tenu des valeurs des variables explicatives X ; α_k le terme d'interception spécifique associé à la catégorie k et β le vecteur des coefficients des variables explicatives :

$$(Y \leq k|X) := \Phi(\alpha_k + X\beta)$$

D'un autre côté, le modèle logit ordonné formule ces probabilités de la manière suivante, utilisant la fonction logistique. Soit $P(Y = k|X)$ la probabilité que la variable dépendante Y soit exactement dans la catégorie k compte tenu des valeurs des variables explicatives X :

$$P(Y = k|X) := \frac{e^{\alpha_k + X\beta}}{1 + \sum_{i=1}^{K-1} e^{\alpha_i + X\beta}}$$

Ainsi, nous avons préféré conserver le modèle logit, car il utilise la fonction logistique, tandis que le modèle probit repose sur la fonction de répartition de la loi normale standard, ce qui est très contraignant. En effet, le modèle probit constitue une base théorique complexe et une hypothèse de normalité souvent trop contraignante dans les applications économétriques, comme la nôtre.

Ensuite, nous devons estimer les paramètres pour résoudre notre modèle. Cela a pu se faire grâce à la fonction de log-vraisemblance. L'objectif était de maximiser cette fonction :

$$\ell(\alpha, \beta | Y, X) := \sum_{i=1}^N \log[P(Y_i | X_i; \alpha, \beta)]$$

Cela nécessite des algorithmes itératifs tels que Newton-Raphson, le gradient conjugué ou la méthode de Basin-hopping, étant donné l'absence de solution analytique. Lors de la maximisation de la log-vraisemblance, les algorithmes itératifs convergent vers l'estimateur du maximum de log-vraisemblance, éliminant le risque de convergence vers un maximum local. Cependant, des problèmes peuvent survenir lorsque les modalités de Y sont parfaitement séparées selon les valeurs de X . Si les données sont complètement ou quasi-complètement séparées, l'estimateur du maximum de la log-vraisemblance n'existe pas. Dans la plupart des cas concrets, les données ne sont généralement pas séparées, justifiant l'utilisation d'algorithmes itératifs pour converger vers l'estimateur du maximum de la log-vraisemblance.

Pour surmonter cette contrainte, nous avons exploré une alternative pour la sélection de variables. Nous avons opté pour un modèle probit obtenu avec l'algorithme itératif de Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno, présentant des paramètres similaires à notre modèle de base. Bien que ce modèle n'ait pas convergé, il a fourni des indicateurs AIC et BIC du modèle. Nous avons ensuite procédé à une sélection de variables par recherche backward pour minimiser les critères AIC et BIC. Enfin, pour les deux modèles obtenus selon chaque critère, nous avons évalué l'erreur théorique de classification par validation croisée k -fold avec $k = 5$.

L'erreur théorique de classification par validation croisée k -fold mesure la performance d'un modèle en termes de classification, en prenant en compte la moyenne des erreurs sur k itérations de validation croisée. La validation croisée est une technique permettant de diviser le jeu de données en k sous-ensembles (plis) et d'itérer sur ces plis pour évaluer la performance du modèle.

Mathématiquement, l'erreur de classification peut être formulée comme suit. Supposons que Y_i soit la vraie classe de l'observation i et \hat{Y}_i soit la classe prédite par le modèle pour cette observation. Alors, l'erreur de classification pour une itération de validation croisée k -fold est donnée par :

$$\text{Erreur de classification}_k := \frac{1}{N_k} \sum_{i \in \text{Plis}_k} I(Y_i \neq \hat{Y}_i)$$

Où N_k est le nombre total d'observations dans le pli k ; $Plis_k$ est l'ensemble des indices des observations dans le pli k et $I(\cdot)$ est la fonction indicatrice qui prend la valeur 1 si la condition est vraie et 0 sinon. La moyenne des erreurs de classification sur toutes les itérations de validation croisée donne l'erreur théorique de classification par validation croisée k -fold avec $k = 5$:

$$Erreur\ de\ classification\ moyenne = \frac{1}{5} \sum_{k=1}^5 Erreur\ de\ classification_k$$

Les critères de l'AIC (Critère d'Information Akaike) et du BIC (Critère d'Information Bayésien) prennent en compte la qualité du modèle en termes de vraisemblance et la pénalisation en fonction du nombre de paramètres (de variables). Cependant, le BIC pénalise d'autant plus les modèles complexes que l'AIC. Ces deux critères sont définis comme ceci :

$$AIC(M_k) := -2 \cdot \log [l(\alpha, \beta | Y, X)] + 2k$$

$$BIC(M_k) := -2 \cdot \log(l(\alpha, \beta | Y, X)) + k \cdot \log(N)$$

Où k est le nombre de variables dans le modèle et N est le nombre d'observations. Pour trouver les modèles optimaux au sens de ces deux critères, nous avons calculé quel sont les modèles qui minimisent les deux critères :

$$k_{AIC}^* := \arg \min_{k \in \{1, \dots, m\}} AIC(M_k)$$

$$k_{BIC}^* := \arg \min_{k \in \{1, \dots, m\}} BIC(M_k)$$

Enfin, pour élargir le choix du modèle optimal, nous avons également utilisé les méthodes de régularisation Ridge et Lasso. Ils sont utilisés pour résoudre le problème de multicollinéarité et pour sélectionner les variables importantes. Dans les deux cas, ces méthodes de régularisation peuvent aider à prévenir le sur-ajustement du modèle et à sélectionner les variables importantes tout en ajustant les modèles. La régression Ridge et Lasso introduisent respectivement une pénalité L2 et une pénalité L1 sur les coefficients du modèle. Les fonction objective à optimiser sont les suivantes :

$$Minimiser\ J(\alpha, \beta) := \sum_{i=1}^N \log [P(Y_i | X_i, \alpha, \beta)] + \lambda_2 \sum_{j=1}^p \beta_j^2$$

$$\text{Minimiser } J(\alpha, \beta) := \sum_{i=1}^N \log [P(Y_i|X_i, \alpha, \beta)] + \lambda_1 \sum_{j=1}^p |\beta_j|$$

Avec N est le nombre d'observations, Y_i est la variable dépendante pour l'observation i , X_i est le vecteur des variables explicatives pour l'observation i , α sont les seuils de catégorie, β sont les coefficients des variables explicatives, et λ_i pour tout $i \in \{1, 2\}$ étant le paramètre de régularisation L1 ou L2. Le choix de ce dernier est crucial pour garantir que les modèles obtenus présentent une erreur minimale.

Finalement, pour choisir le modèle qui classe le mieux en fonction des variables que dispose le producteur, nous avons comparé tous les modèles optimaux et le modèle initial (tableau 3). C'était ce dernier que nous avons décidé de retenir.

Modèles optimaux	Initial	Au sens de l'AIC	Au sens du BIC	Ridge	Lasso
Erreur de classification (en %)	26,1	28	28	43,5	27,5

Tableau 3 : Comparaisons des erreurs de classification des différents modèles optimaux.

Pour conclure sur ce modèle, étant donné les résultats sur seulement le modèle du producteur, nous avons fait le choix de ne pas davantage développer le modèle de régression logistique ordinaire. Nous avons trouvé un autre modèle bien plus performant que nous avons bien développé cette fois : le Random Forest.

3.2. Random Forest

Étant donné l'erreur relativement élevée qu'obtient la régression logistique ordinaire, nous avons décidé de nous tourner vers une autre méthode de classification : le Random Forest. Globalement, ce modèle est une collection d'arbres de décision aléatoires décorrélés qui est beaucoup moins sensible aux données d'entraînement et qui est également beaucoup plus précis dans ses prédictions (car moins de chance de sur-ajustement).

Le Random Forest s'appuie sur la méthode du bagging (bootstrap aggregating). Elle consiste à entraîner aléatoirement nos arbres de décision sur une partie des données et une partie des variables sur le jeu de données d'entraînement, ce qui donnera des échantillons bootstrap. Pour chaque échantillon bootstrap, un arbre de décision est créé. Chacun divise les données en

fonction des caractéristiques qui maximisent la pureté des nœuds. La pureté peut être mesurée grâce à l'indice de Gini :

$$Gini(t) := 1 - \sum_{i=1}^C p(i|t)^2$$

Avec C le nombre de classes (5 dans notre cas) et $p(i|t)$ le proportion d'observation de la classe i dans le nœud t . Plus précisément, nous calculons cette proportion ainsi :

$$p(i|t) := \frac{\text{Nombre d'observation de la classe } i \text{ dans le noeud } t}{\text{Nombre total d'observation dans le noeud } t}$$

Chaque arbre de décision, qui peut être différent ou similaire, va voter. Pour la classification du Random Forest, la prédiction est basée sur le vote majorité des arbres de décision. Soit N le nombre d'arbres dans le Random Forest et $Prédiction\ de\ l'arbre_{i,c}$ la prédiction de la classe c pour l'arbre i .

$$Prédiction\ du\ Random\ Forest := argmax(\sum_{i=1}^N Prédiction\ de\ l'arbre_{i,c})$$

Maintenant, une question est encore en suspens : combien d'arbre nous devons avoir dans notre forêt et quelle doit être leur profondeur afin d'obtenir de meilleures performances ? Pour répondre à cette question, nous devons chercher ces hyperparamètres de façon appropriée. Autrement dit, nous devons trouver un nombre d'arbres et une profondeur appropriés qui permettent de maximiser la précision du modèle (et donc minimiser l'erreur de classification). La précision globale du Random Forest est exprimée ainsi :

$$Précision := \frac{\sum_{i=1}^C C_{i,i}}{N}$$

Avec $C_{i,i}$ les observations correctement classées.

Pour ce faire, une technique habituelle consiste à définir une grille de valeurs possibles pour les hyperparamètres, puis de spécifier le nombre d'itérations ou d'évaluations à effectuer de manière aléatoire. L'algorithme sélectionne ensuite des combinaisons aléatoires d'hyperparamètres à partir de cette grille et évalue les performances du modèle avec chaque combinaison grâce à une validation croisée. À la fin du processus, les hyperparamètres produisant les meilleures performances sont identifiés, offrant ainsi une approche plus rapide et efficace pour l'optimisation des paramètres de Random Forest. Cette approche nous a permis

de trouver rapidement des combinaisons d'hyperparamètres qui maximisent les performances de nos modèles tout en évitant la lourdeur d'une recherche exhaustive. La recherche des hyperparamètres s'est effectuée sur l'ensemble d'apprentissage de notre base de données et finalement, les hyperparamètres des 2 modèles entraînés sont assez différents (tableau 4).

Modèles	Profondeur maximale	Nombre d'arbres
Producteur	13	270
Consommateur	16	120

Tableau 4 : Hyperparamètres des deux modèles de Random Forest. **Lecture :** Pour le Random Forest optimal dédié aux caractéristiques du producteur, chaque arbre peut atteindre une profondeur maximale de 13 niveaux, et la forêt est composée de 270 arbres.

Maintenant, avec les hyperparamètres optimisés en main, nous pouvons maintenant présenter les performances obtenues sur les données de test pour nos deux modèles (figures 10 et 11).

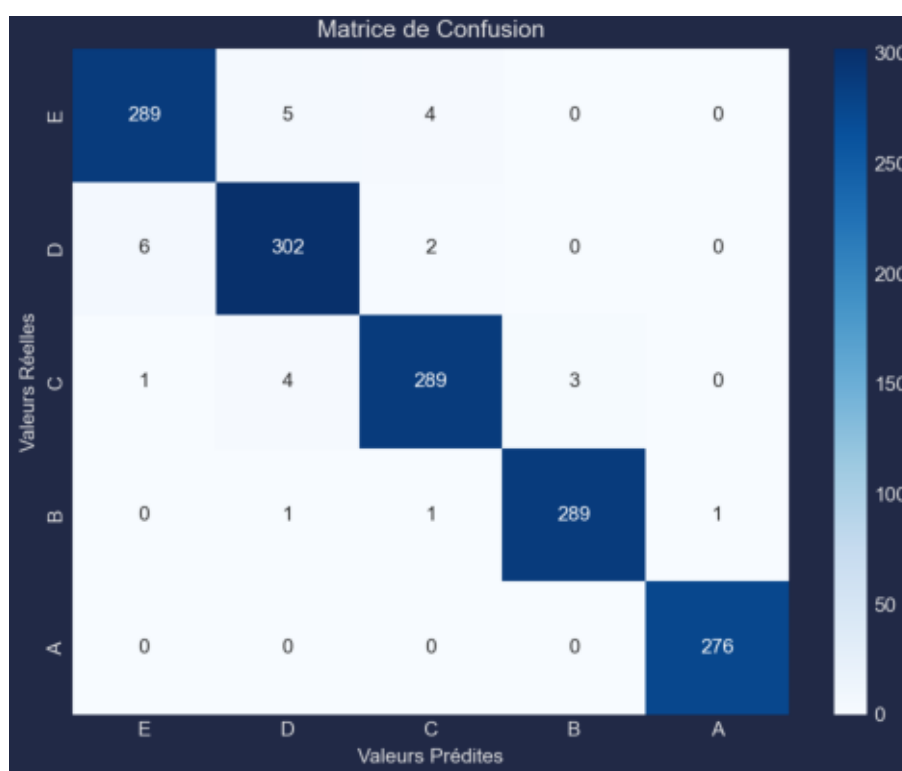


Figure 10 : Matrice de confusion pour le modèle des producteurs. **Lecture :** 276 produits ont été correctement classés dans le Nutri-Score A contre un produit qui a été classé dans le A alors qu'il était noté B.

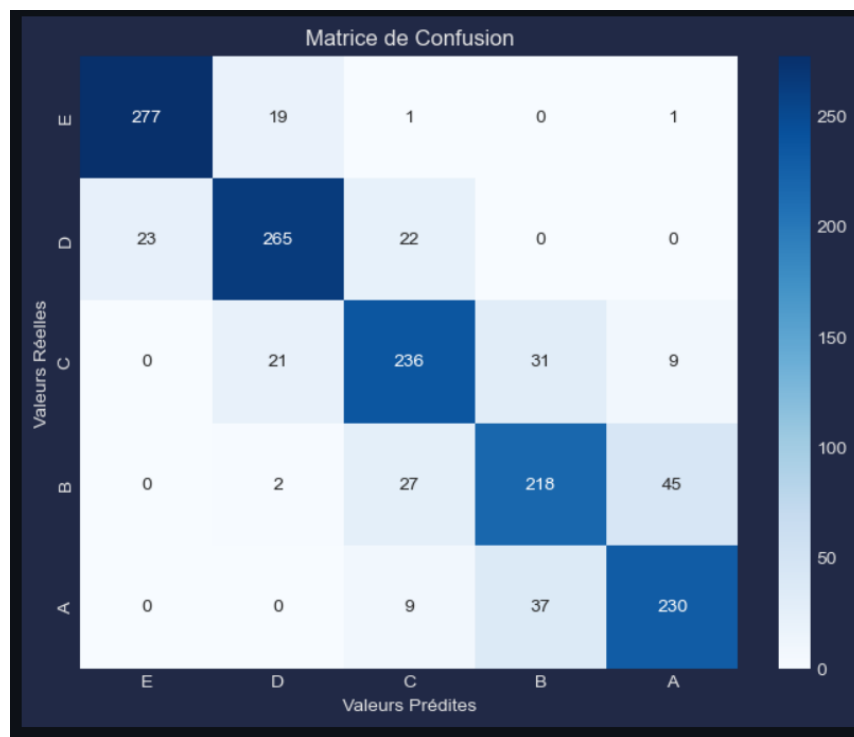


Figure 11 : Matrice de confusion pour le modèle des consommateurs. **Lecture** : 236 produits ont été correctement classés dans le Nutri-Score C contre 21 produit qui a été classé dans le D alors qu'il était noté C et 31 produits notés C mais qui ont été classé B.

Avec ces deux différentes matrices, nous pouvons établir un tableau résumant l'erreur globale des 2 modèles ainsi que l'erreur de chaque classe à partir des données de test (tableau 5).

Modèles	A	B	C	D	E	Moyenne
Producteur	1	1	2	4	2	2
Consommateur	18	24	20	14	8	17

Tableau 5 : Erreur des modèles après évaluation du Random Forest sur la base de test. **Lecture** : Un produit classé A par le modèle de Random Forest sur les caractéristiques du producteur a une chance de 1% d'être mal classé.

Afin de tester la robustesse des hyperparamètres sélectionnés, on a mis en place une approche itérative. Dans cette démarche, on entraîne le modèle avec les hyperparamètres optimisés en utilisant une base d'entraînement équilibrée pour toutes les classes. Cette base d'entraînement est tirée aléatoirement de la base de données globale à chaque itération. De manière complémentaire, on constitue une base de test également tirée aléatoirement de la base globale, sans nécessairement maintenir un équilibre entre les classes. Ce processus itératif a été répété plusieurs fois pour observer la valeur moyenne vers laquelle l'erreur de classification

converge. Cette approche permet de garantir que les performances du modèle ne sont pas simplement le résultat d'une bonne adaptation à une configuration spécifique des données, mais qu'elles demeurent stables et fiables sur des ensembles de données variés. Les résultats obtenus à partir de cette validation itérative renforcent la confiance dans la capacité du modèle à généraliser de manière efficace à de nouvelles données.

Cette procédure a été effectuée à la fois sur le modèle producteur et du consommateur (figure 12 et 13). Et grâce à la loi des grands nombre, nous voyons que la moyenne des erreurs est très proche (dans le cas du modèle du consommateur), voire égale (dans le cas du modèle du producteur) à ce que l'on a obtenu précédemment.

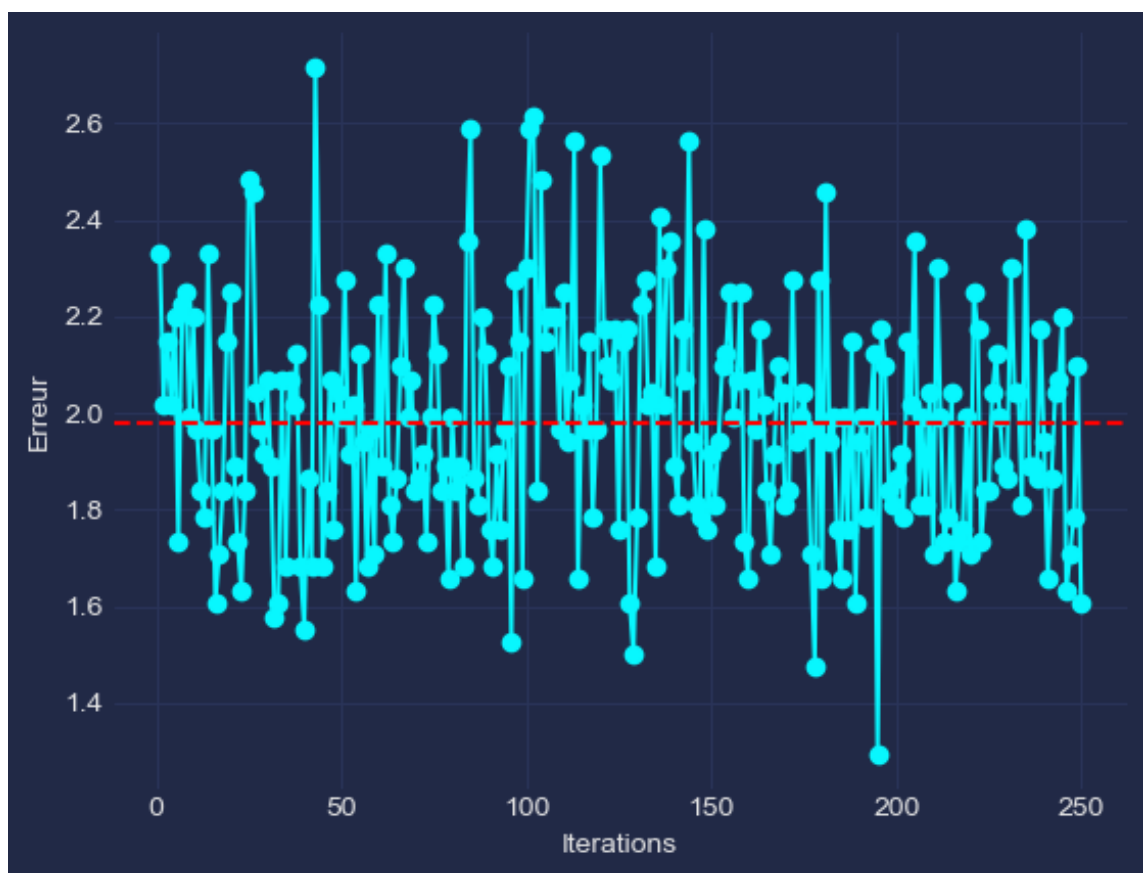


Figure 12 : Evolution de l'erreur du modèle du producteur selon les itérations.

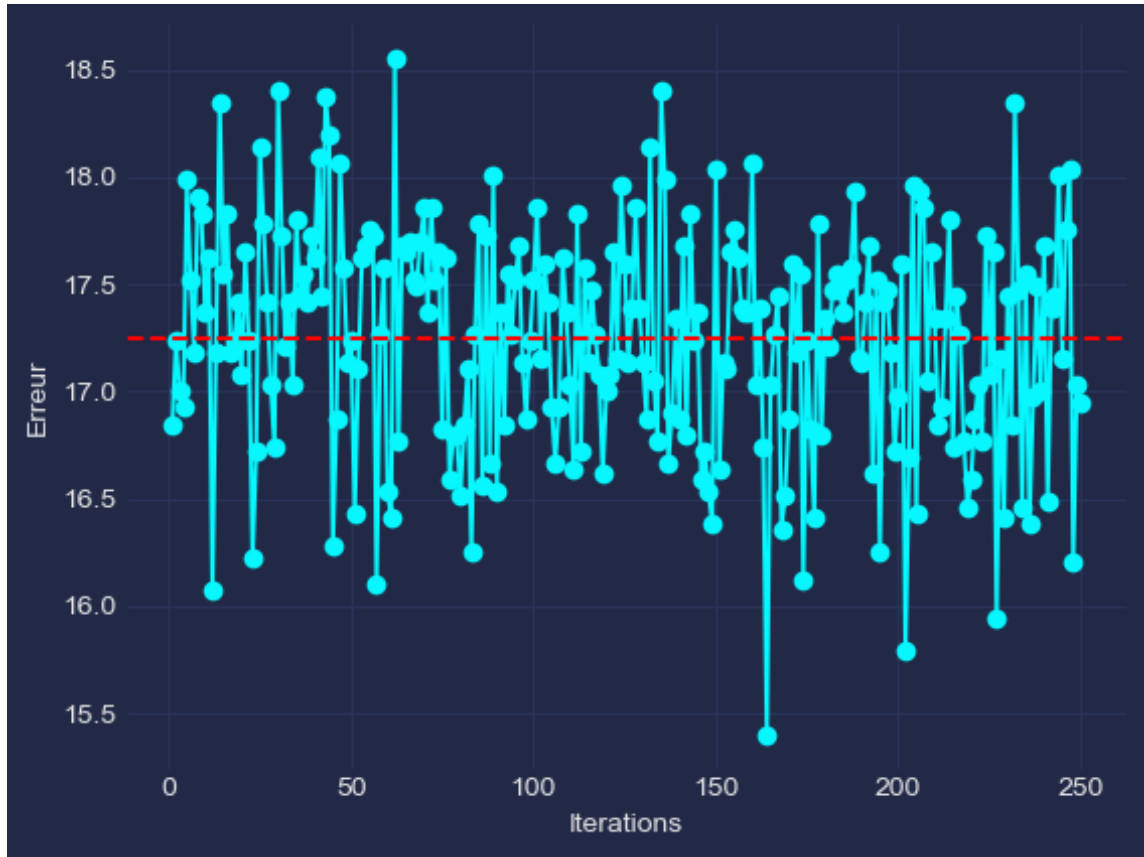


Figure 13 : Evolution de l'erreur du modèle du consommateur selon les itérations.

Nous avons également calculé l'importance de chaque variable (nutriments). Autrement dit, nous avons mesuré l'impact de chaque nutriment sur la précision du modèle en quantifiant la diminution de l'impureté causée par chaque nutriment lors de la construction des arbres de décision. Ainsi, nous avons :

$$Importance_{j,i} := \sum_t (p(t) \cdot \Delta I_{j,t,i})$$

Avec $p(t)$ la proportion du nombre d'observations dans le nœud t par rapport au nombre total d'observations dans l'ensemble d'entraînement et $\Delta I_{j,t,i}$ la diminution d'impureté due à la variable j dans le nœud t de l'arbre i . Nous mesurons $\Delta I_{j,t,i}$ comme la différence entre l'impureté du nœud avant la division et la somme des impuretés des nœuds fils après la division, pondérée par la taille des nœuds fils³ :

³ Un nœud fils est un nœud qui résulte de la division d'un nœud parent. Par exemple : un nœud parent rassemble 100 observations, dans le premier nœud fils nous retrouvons un sous-ensemble de 60 observations et le second nœud fils contient l'autre sous-ensemble avec les 40 observations restantes.

$$\Delta I_{j,t,i} := I(t) - \sum_{\text{fils de } t} \left(\frac{N_f}{N_t} \times I(f) \right)$$

Avec $I(t)$ est l'impureté du nœud t avant la division ; N_f est le nombre d'observations dans le nœud fils f ; N_t le nombre d'observations dans le nœud t et $I(f)$ l'impureté du nœud fils f après la division. Grâce à cela, nous pouvons déterminer l'importance des différents nutriments pour établir le top 3 pour le modèle du producteur et du consommateur (figures 14 et 15). Ainsi, pour le modèle du producteur, les 3 nutriments qui ont le plus d'influence sont les graisses transformées, les graisses saturées et le calcium. En ce qui concerne le modèle du consommateur, ce sont les graisses saturées, le sel et l'énergie qui jouent un rôle essentiel. Cette analyse éclaire les raisons pour lesquelles le modèle du consommateur présente une précision moindre que celui du producteur. En effet, la variable la plus cruciale contribue davantage à la cohérence du modèle lorsqu'elle est exclue. C'est précisément ce qui se produit ici : l'absence des graisses transformées et du calcium dans le modèle du consommateur entraîne une certaine "variabilité" dans la prédiction, ce qui impacte la qualité globale des prévisions du modèle.

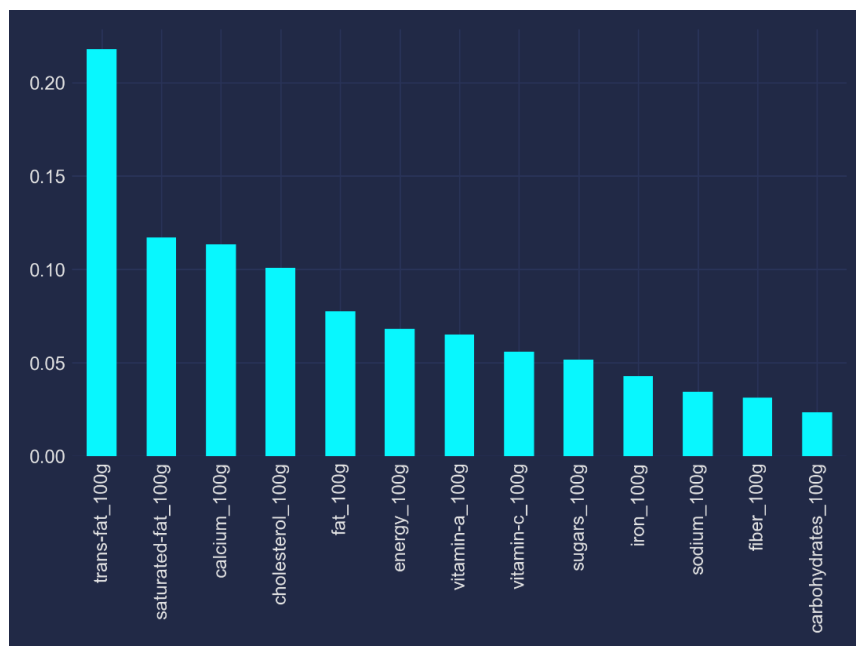


Figure 14 : Importance des variables du modèle du producteur. **Lecture :** Lorsque le modèle du producteur utilise les graisses transformées, il réduit l'impureté de la prédiction d'environ 21%.

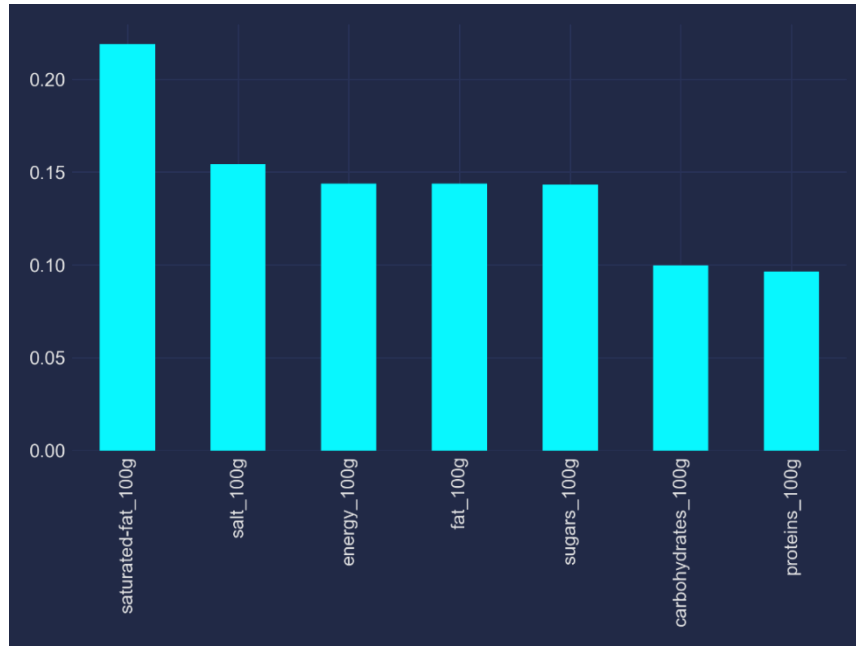


Figure 15 : Importance des variables du modèle du consommateur. **Lecture** : Lorsque le modèle du consommateur utilise les glucides, il réduit l'impureté de la prédiction de 10%.

Enfin, lorsque l'on veut faire une prédiction d'un nouveau produit dont les informations seront rentrées dans le formulaire, nous avons besoin d'une fonction de décision notée $f(X)$. Cette fonction est transformée en fonction d'activation softmax (puisque l'on est dans le cas de la classification multi-classe) qui est exprimée ainsi :

$$P(i|X) := \frac{e^{f_i(X)}}{\sum_{j=1}^5 e^{f_j(X)}}$$

Pour $i = \{1, 2, \dots, 5\}$ étant donné que nous avons 5 classes. La classe prédite est souvent celle ayant la probabilité la plus élevée après l'application de la fonction d'activation : $Prédiction = \operatorname{argmax}_i P(\text{classe } i|X)$.

CONCLUSION

Notre objectif était de prédire le Nutri-Score des produits à partir de leurs valeurs nutritionnelles et que chaque personne puisse évaluer eux même le Nutri-Score de leurs produits. Pour cela nous avons créé un formulaire dans lequel les utilisateurs de notre application puissent rentrer les informations qu'ils ont à leur disposition, selon qu'ils sont consommateur ou producteur. Ces informations sont ensuite stockées dans une variable Excel et sont ensuite utilisées par un algorithme développé sous Python.

Nous avons comparé la régression logistique ordinale et la Random Forest dans le calcul du Nutri-Score, en termes d'erreur de classification. C'est alors que la Random Forest se révélait plus précis que la régression logistique ordinale, car ils ont respectivement une erreur de classification de 2% et 26%, pour le modèle du producteur. Nous avons aussi créé 2 modèles différents utilisant le Random Forest avec les variables du consommateur d'un côté et celles du producteur d'un autre côté. Le deuxième modèle se révèle globalement plus précis que le second, ils ont respectivement une erreur de classification de 17% et 2%. Nous avons conservé les deux modèles sous un pickle pour chacun.

Enfin, Python n'est pas en mesure, à lui seul de récupérer des données directement sur Excel, c'est pour cela que nous avons utilisé les données stocker dans la variable et les pickles enregistrés pour appliquer le modèle. Tout ceci a été possible avec l'utilisation d'une API.

WEBOGRAPHIE

« Alimentation saine ». Consulté le 20 décembre 2023. <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>.

« Déclaration nutritionnelle sur les denrées alimentaires ». Consulté le 20 décembre 2023. <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/Publications/Vie-pratique/Fiches-pratiques/declaration-nutritionnelle-sur-denrees-alimentaires>.

TABLE DES FIGURES

Figure 1 Distribution des produits en fonction de leur Nutri-Score et de l'absence de notation.	5
Figure 2 : Page d'accueil.....	7
Figure 3 : Formulaire d'entrée.....	9
Figure 4 : Dashboard du producteur.....	10
Figure 5 : Dashboard du consommateur.....	11
Figure 6 : Historique du producteur.....	11
Figure 7 : Historique du consommateur.....	12
Figure 8 : Nombre de produits par Nutri-Score dans la base finale.....	15
Figure 9 : Division de la base de données en ensemble d'apprentissage (à gauche) et de validation à droite).	15
Figure 10 : Matrice de confusion pour le modèle des producteurs.....	22
Figure 11 : Matrice de confusion pour le modèle des consommateurs.....	23
Figure 12 : Evolution de l'erreur du modèle du producteur selon les itérations.....	24
Figure 13 : Evolution de l'erreur du modèle du consommateur selon les itérations.....	25
Figure 14 : Importance des variables du modèle du producteur.....	26
Figure 15 : Importance des variables du modèle du consommateur.....	27

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description de toutes les variables utilisées.....	6
Tableau 2 : Valeurs nutritionnelle obligatoires sur les denrées alimentaires.	16
Tableau 3 : Comparaisons des erreurs de classification des différents modèles optimaux.....	20
Tableau 4 : Hyperparamètres des deux modèles de Random Forest.....	22
Tableau 5 : Erreur des modèles après évaluation du Random Forest sur la base de test.	23

CONTRIBUTEURS

Dans le cadre de notre projet, l'équipe s'est réparti les responsabilités de manière précise et complémentaire pour assurer le succès et la cohésion du travail accompli.

- Alexandre Brunet, en tant que Scrum Master, a dirigé ses efforts vers la documentation exhaustive du projet et la mise en place d'une méthodologie efficace pour notre équipe.
- Elif Ertas, en qualité de Product Owner, a pris en charge la définition des objectifs du projet et a coordonné de manière exemplaire les activités de notre équipe, assurant ainsi une vision globale et alignée.
- Carlos Kpadonou, notre Data Scientist, a brillamment établi le lien entre Python et VBA via une API, contribuant activement à la création et l'amélioration des modèles nécessaires au projet.
- Manon Jupin, spécialiste de la Data Governance et de l'interface utilisateur, a joué un rôle crucial en documentant minutieusement la base de données tout en mettant en place des tableaux de bord à l'entrée et à la sortie du système pour une meilleure visualisation des données.
- Léo Gabet, également impliqué dans l'interface utilisateur, a brillamment mis en place des formulaires intuitifs pour les utilisateurs tout en assurant les aspects de sécurité liés à ceux-ci.
- Jaurès Ememaga, notre Data Engineer, a effectué un nettoyage approfondi de la base de données, élaboré des modèles de prédiction de qualité, et a minutieusement testé les fonctions pour garantir leur fiabilité et leur performance.

Chacun de ces membres a apporté une contribution essentielle et complémentaire à notre projet, démontrant ainsi leur expertise et leur engagement envers sa réussite.