
Evaluation de l'apport du CGMS-Maroc pour la gestion des importations de blé tendre

Auteur : Lambotte, Antoine

Promoteur(s) : Tychon, Bernard

Faculté : Faculté des Sciences

Diplôme : Master en sciences et gestion de l'environnement, à finalité spécialisée

Année académique : 2025-2026

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/25368>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

ULiège - Faculté des Sciences - Département des Sciences et Gestion de l'Environnement
Institut Agronomique et vétérinaire Hassan II – Département de statistique et informatique
appliquée

EVALUATION DE L'APPORT DU CGMS-MAROC POUR LA GESTION DES IMPORTATIONS DE BLE TENDRE

ANTOINE LAMBOTTE

**MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER EN SCIENCES ET GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, A FINALITE SPECIALISEE**

ANNEE ACADEMIQUE 2025-2026

REDIGE SOUS LA DIRECTION DE DR. BERNARD TYCHON

COMITE DE LECTURE :

DR. MOUANIS LAHLOU

DR. MOUSSA EL JARROUDI

Copyright

Toute reproduction du présent document, par quelque procédé que ce soit, ne peut être réalisée qu'avec l'autorisation de l'auteur et de l'autorité académique* de l'Université de Liège.

*L'autorité académique est représentée par le(s) (co-)promoteur(s), membre(s) du personnel enseignant de l'Université de Liège.

Le présent document n'engage que son auteur.

Auteur du présent document : LAMBOTTE Antoine ; antoinelambotte00@gmail.com

REMERCIEMENTS

Plusieurs personnes ont contribué, de près ou de loin, à ce que ce travail existe sous cette forme. Je tiens à les en remercier.

Je remercie en premier lieu mon promoteur, Monsieur Bernard Tychon, pour m'avoir confié un sujet qui m'a immédiatement captivé. Ses conseils tout au long de la rédaction m'ont souvent évité de m'égarer, et nos échanges ont compté plus qu'il ne le sait peut-être.

Une part importante de ce travail est redevable à Monsieur Mouanis Lahlou, sans qui le stage au Maroc n'aurait pas eu lieu. Ce séjour a été décisif, il m'a permis de rencontrer des personnes dont les témoignages et les connaissances ont directement alimenté cette recherche.

Je pense également à mes professeurs et à mes camarades de promotion, pour tout ce qui se passe en dehors des cours et qui, finalement, façonne autant qu'un manuel.

Enfin, je remercie ma famille, ma compagne et mes amis pour leur soutien pendant ces années, discret parfois, indispensable toujours.

Résumé

Le Maroc importe entre 2,5 et 5,5 millions de tonnes de blé tendre chaque année. Cet écart traduit directement la variabilité de la production nationale sous l'effet des précipitations. La consommation, elle, ne bouge pas — 220 kg par habitant et par an — ce qui fait de la récolte la seule variable d'ajustement du bilan. Cette incertitude sur le volume à importer se superpose à une saisonnalité marquée des prix internationaux : sur vingt-cinq ans de cotations à la Bourse de Rouen, l'écart entre le mois le moins cher et le plus onéreux d'une même campagne atteint régulièrement 80 à 100 €/t. Sur un million de tonnes, cela représente 80 à 100 millions d'euros selon le calendrier d'achat.

Le Maroc dispose d'un outil peu commun parmi les pays importateurs : le système CGMS-Maroc, développé avec le Centre Commun de Recherche de la Commission européenne, produit des prévisions de rendement du blé tendre dès le printemps, plusieurs mois avant la récolte. L'ONICL, superviseur des importations, ne les intègre pas dans ses décisions d'achat. Aucune étude publiée n'a jusqu'ici formalisé le croisement entre ce signal agronomique et le calendrier d'importation.

C'est cette question que le mémoire traite empiriquement. Six scénarios d'importation simulés sont comparés sur neuf campagnes historiques (2016/2017–2024/2025), en croisant les cotations décennales de Rouen, les volumes mensuels d'importation de l'ONICL et les prévisions décennales de CGMS-Maroc. Les scénarios saisonniers — qui ne mobilisent aucune information agronomique, seulement le profil historique des prix sur 2001–2025 — génèrent entre 160 et 191 millions d'euros d'économies cumulées, soit 2,1 à 2,5 % du coût réel. Le scénario prédictif intégré répond à une question différente : non pas comment répartir un volume fixé, mais quel volume importer, en utilisant la prévision CGMS-Maroc du 21 mai comme point de départ. Sur la période, il aboutit à un prix moyen de 219,87 €/t contre 220,37 €/t pour les achats réels, tout en générant 20,8 % de volume supplémentaire constitué en réserves. La contribution du mémoire tient précisément là : CGMS-Maroc améliore la décision dans sa dimension volumétrique, pas systématiquement dans la minimisation du coût unitaire.

Abstract

Morocco imports between 2.5 and 5.5 million tonnes of soft wheat each year. The gap reflects the variability of domestic production driven by rainfall — consumption stays flat at roughly 220 kg per capita annually, leaving the harvest as the sole adjustable variable in the national balance sheet. This uncertainty over import volumes coincides with a persistent seasonal price structure: over twenty-five years of Rouen Exchange quotations, the spread between the cheapest and most expensive months within a single campaign regularly reaches 80–100 €/t. On one million tonnes, that translates to 80–100 million euros depending on when purchases are made.

Morocco has something most importing countries lack at this stage of operational maturity: the CGMS-Maroc system, developed with the European Commission's Joint Research Centre, generates soft wheat yield forecasts from spring onwards, months before harvest. The ONICL, which oversees soft wheat imports, does not use these forecasts in its purchasing decisions. No published study has previously formalised the link between this agronomic signal and import procurement.

This thesis addresses that question empirically. Six simulated import scenarios are compared across nine historical campaigns (2016/2017–2024/2025), combining Rouen Exchange decadal prices, ONICL monthly import volumes and CGMS-Maroc decadal yield forecasts. Seasonal scenarios — drawing solely on the 2001–2025 historical price profile, with no agronomic input — generate between 160 and 191 million euros in cumulative savings, or 2.1–2.5% of actual costs. The integrated predictive scenario tackles a different problem: not how to distribute a predetermined volume, but how much to import in the first place, using the CGMS-Maroc forecast of May 21st as its starting point. Over the study period, it achieves an average purchase price of 219.87 €/t versus 220.37 €/t for actual purchases, while building 20.8% additional volume as strategic reserves. The thesis's contribution lies in that distinction: CGMS-Maroc improves procurement decisions in their volumetric dimension, not systematically in unit cost minimisation.

Table des matières

Table des figures	12
Tables des illustrations.....	13
Tables des abréviations	15
Introduction	1
1. Etat de l'art.....	2
1.1 Les systèmes de prévision de rendement céréalier	2
1.1.1 Les grands systèmes existants dans le monde	2
1.1.2 Les approches de modélisation utilisées	4
1.1.3 La fiabilité des prévisions précoces de rendement	5
1.2 Les outils économiques de gestion des achats céréaliers à l'importation	6
1.2.1 Les marchés à terme et la couverture du risque-prix à l'importation**	7
1.2.2 Les modèles d'optimisation de l'approvisionnement alimentaire**	8
1.2.3 Le déficit d'intégration entre prévision agronomique et décision d'achat**	8
1.3 Lacunes de la littérature et contribution du mémoire	8
1.3.1 Deux corps de recherche disjoints	8
1.3.2 Aucune étude publiée reliant CGMS-Maroc aux décisions d'achat	9
1.3.3 L'approche par scénarios : contribution de ce mémoire.....	9
2. Le marché du blé tendre au Maroc : production, importations et déterminants du calendrier d'achat	11
2.1 La filière blé tendre au Maroc : production, consommation et dépendance structurelle aux importations.....	11
2.2 Les caractéristiques physiques et climatiques du terrain	15
2.3 Le cadre institutionnel des importations	16
2.4 Les acteurs de la chaîne d'importation.....	17
2.5 Les facteurs physiques expliquant le calendrier d'importation	19
2.6 Les facteurs économiques expliquant le calendrier d'importation.....	21
3. Le système CGMS-Maroc	24
3.1 Origine et cadre institutionnel.....	24
3.2 Architecture fonctionnelle et processus de prévision.....	25
3.2.1 Collecte et spatialisation des données météorologiques	26
3.2.2 Données satellitaires et masque céréalier	29
3.2.3 Modèles de prévision des rendements	32

3.2.4	Interface utilisateur et diffusion des résultats.....	38
3.3	Apport théorique pour la planification des importations.....	40
4.	Méthodologie d'analyse.....	43
4.1	Présentation des données mobilisées	43
4.2	Hypothèses, conventions et limites.....	45
4.3	Description des indicateurs et analyses par feuille de calcul.....	47
4.3.1	Feuille « Analyse prix »	47
4.3.2	Feuille « Prédiction production »	48
4.3.3	Feuille « Croisement Prix-Imports »	49
4.3.4	Feuille « Bilan »	51
4.4	Scénarios d'optimisation fondée sur la prévision de rendement	53
4.4.1	Principe général	53
4.4.2	Données mobilisées et convention de décalage temporel	53
4.4.3	Construction des trois scénarios	55
4.4.4	Choix et justification des scénarios.....	55
4.5	Stratégie d'optimisation fondée sur les profils saisonniers	57
4.5.1	Données mobilisées	57
4.5.2	Construction des scénarios saisonniers	57
4.5.3	Logique de sélection des scénarios	58
4.6	Scénario d'optimisation intégré.....	59
4.6.1	Principe général	59
4.6.2	Données mobilisées	60
4.6.4	Choix et justification du scénario.....	64
5.	RÉSULTATS.....	65
5.1	Dynamique des prix et saisonnalité du marché du blé tendre	65
5.1.1	Évolution des prix sur la période 2014-2025	65
5.1.2	Profil saisonnier des prix	67
5.2	Performance prédictive du modèle CGMS-Maroc	71
5.2.1	Précision statistique par campagne	72
5.2.2	Dynamique temporelle de la précision.....	73
5.3	Bilan céréalier et déficit structurel	75
5.4	Scénarios rétrospectifs : référentiel théorique à information parfaite.....	76
5.5	Scénarios saisonniers : stratégies d'achat à allocation fixe.....	78

5.5.1	Illustration sur la campagne 2016/2017	78
5.5.2	Résultats consolidés sur neuf campagnes	79
5.5.3	Le scénario S4 comme stratégie réaliste	79
5.5.4	Limites des scénarios saisonniers	79
5.6	Scénario intégré prédictif : estimation conjointe du volume et du calendrier	80
5.6.1	Paramètres du modèle	80
5.6.2	Données de base par campagne.....	80
5.6.3	Résultats détaillés : campagne 2016/2017	81
5.6.4	Résultats détaillés : campagne 2021/2022 (campagne de crise)	83
5.6.5	Résultats récapitulatifs sur neuf campagnes.....	84
5.6.6	Divergences de volume entre le modèle et le réel	85
5.6.7	Analyse de l'économie réelle	86
5.7	Synthèse comparative des scénarios	87
6.	DISCUSSION.....	89
6.1	Réponse à l'hypothèse centrale : ce que les résultats confirment et ce qu'ils relativisent	89
6.2	Sécurité alimentaire d'abord, optimisation des coûts ensuite	90
6.3	Mise en perspective avec la littérature.....	91
6.4	Ce que les données n'expliquent pas	91
6.5	Ce que le modèle apporte malgré ses limites	92
	Conclusion	94
	Bibliographie	95
	Articles scientifiques	95
	Ouvrages	98
	Rapports institutionnels et documents techniques.....	98
	Données statistiques.....	101
	Annexes	102

Table des figures

Figure 1 : Carte représentant la répartition des rendements en blé tendre (t/ha) par région au Maroc sur la période 2016/2017 à 2024/2025.....	13
Figure 2 : Schéma synoptique du fonctionnement de CGMS-Maroc.....	25
Figure 3 : Grille de référence de CGMS-Maroc (terres agricoles en marron)	27
Figure 4 : Corrélation entre données ERA5 corrigées et stations synoptiques DGM ($R^2 > 0,79$; 2016-2021)	28
Figure 5 : Cartographie du NDVI moyen (janvier–mars 2024)	29
Figure 6 : Indice moyen d'humidité des sols (SWI)	30
Figure 7 : Masque agricole du Maroc (zones céréalières pluviales).....	31
Figure 8 : Occupation de la superficie agricole utile au Maroc	31
Figure 9 : Estimation des stades phénologiques à partir du profil EVI2	32
Figure 10 : Profil théorique de l'EVI2 et stades phénologiques (P0–P5)	33
Figure 11 : Analyse de similarité sur la base de la pluviométrie cumulée entre le 01/10/2013 et le 15/04/2014, pour la province de Benslimane	34
Figure 12 : Rendements céréaliers observés et prévus au niveau national (régressions, Random Forests), JRC : Centre commun de recherche de la Commission européenne ; min/max : valeurs extrêmes observées sur les 22 campagnes de référence (2000-2001 à 2021-2022)	36
Figure 13 : Comparaison MLR vs forêts aléatoires	37
Figure 14 : Nouvelle interface de CGMS-Maroc	39
Figure 15 : Analyse de similarité dans l'interface (campagne 2022-2023)	39
Figure 16 : Fonctionnalité de prévision de rendements par province	40

Tables des illustrations

Tableau 1 : Surface, rendement et production estimée de blé tendre au Maroc par campagne (2014/15 - 2024/25)	14
Tableau 2 :Correspondance entre les campagnes d'importation et les données CGMS-Maroc mobilisées	54
Tableau 3 : Corrélacion annuelle entre les prévisions de rendement CGMS-Maroc et les rendements observés du blé tendre, années sélectionnées	69
Tableau 4 : Corrélacion mensuelle entre les prévisions de rendement CGMS-Maroc et les rendements observés du blé tendre, mois sélectionnés.....	70
Tableau 5 : Évolution de la précision moyenne globale des prévisions CGMS-Maroc et identification du seuil de stabilisation, février-juin.....	73
Tableau 6 : Taux d'économie globaux des scénarios rétrospectifs par rapport au coût d'importation réel, 2016–2025.....	77
Tableau 7 : Détail mensuel des volumes et coûts d'importation réels versus scénario S6 (prédictif intégré), campagne 2016/2017.....	81
Tableau 8 : Détail mensuel des volumes et coûts d'importation réels versus scénario S6 (prédictif intégré), campagne 2021/2022.....	83
Tableau 9 : Tableau récapitulatif de comparaison entre le scénario prédictif intégré (S6) et les volumes et coûts d'importation réels, 2016–2025	84
Tableau 10 : Analyse de l'économie réelle du scénario prédictif intégré (S6) après correction pour les volumes supplémentaires, 2016–2025	86
Tableau 12 : Synthèse comparative des économies générées par l'ensemble des scénarios simulés sur neuf campagnes agricoles, 2016–2025	87
Tableau 13 : Statistiques descriptives annuelles des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (€/t)	102
Tableau 14 : Statistiques saisonnières mensuelles des prix du blé tendre et recommandations d'achat à l'importation, 2001–2025 (€/t)	103
Tableau 15 : Performance prédictive du système CGMS-Maroc par campagne agricole, 2016–2025	104
Tableau 16 : Explication des colonnes et méthode de calcul du tableau 15.....	105
Tableau 17 : lecture chronologique de la précision moyenne avec un intervalle de confiance de 90%	105
Tableau 18 : Bilan céréalier simulé du blé tendre au Maroc par campagne agricole, 2016–2025...	106
Tableau 19 : Comparaison des coûts d'importation simulés selon les scénarios rétrospectifs (V1, V2, OBS) par campagne agricole, 2016–2025.....	107
Tableau 20 : Détail mensuel des allocations et coûts d'importation simulés par scénario, campagne 2016/2017 (juin-mai).....	108
Tableau 21 : Synthèse comparative des coûts et économies simulés par scénario prédictif d'importation de blé tendre, 2016–2025 (M€).....	109
Tableau 22 : Données de base par campagne agricole mobilisées dans le scénario prédictif intégré(S6), 2016–2025	110
Tableau 23 : Analyse de l'économie réelle du scénario prédictif intégré (S6) après correction pour les volumes supplémentaires, sans la campagne 2021/2022	111

Tableau 24 : Cotations hebdomadaires du blé tendre sur le marché de Rouen — prix rendu et FOB, en euros et dollars (base juillet)	112
---	-----

Graphique 1 : Evolution de l'erreur moyenne de prédiction (%) sur 11 campagne.....	6
Graphique 2 : Évolution annuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (€/t)..	66
Graphique 3 : Volatilité annuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (CV %)	67
Graphique 4 : Indice saisonnier mensuel des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2001–2025 (%).....	67
Graphique 5 : Distribution mensuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2001–2025 (€/t)	68
Graphique 6 : Coefficients de corrélation annuels entre les prix du blé tendre et les volumes d'importation marocains, 2016–2025	70
Graphique 7 : Corrélations mensuelles entre les prix du blé tendre et les volumes d'importation marocains, 2016–2025	71
Graphique 8 : Rendements observés versus rendements prédits par CGMS-Maroc pour le blé tendre conduit en bour, 2014–2025 (t/ha)	72
Graphique 9 : Évolution décadaire de la précision moyenne des prévisions CGMS-Maroc, 1er février – 21 juin	73
Graphique 10 : Bilan céréalier simulé du blé tendre au Maroc : production locale, importations et besoin national, 2016–2025 (Mt)	75
Graphique 11 : Taux d'autosuffisance (%) et réserve cumulée (Mt) du blé tendre au Maroc par campagne agricole, 2016–2025.....	76
Graphique 12 : Économies cumulées par scénario rétrospectif d'optimisation des importations de blé tendre, 2016–2025 (M€).....	77
Graphique 13 : Production de blé tendre prédite par CGMS-Maroc versus production réelle observée, 2016–2025 (Mt).....	80
Graphique 14 : Volumes d'importation réels versus scénario prédictif intégré (S6) et prix mensuel du blé tendre, campagne 2016/2017	82
Graphique 15 : Volumes d'importation réels versus scénario prédictif intégré (S6) et prix mensuel du blé tendre, campagne 2021/2022	83
Graphique 16 : Volumes d'importation réels versus volumes simulés dans le scénario prédictif intégré (S6), par campagne agricole, 2016–2025 (Mt)	84
Graphique 17 : Économie ou surcoût annuel généré par le scénario prédictif intégré (S6) par rapport au coût d'importation réel, 2016–2025 (M€).....	85
Graphique 18 : Comparaison du prix moyen par tonne et du volume total importé entre la situation réelle et le scénario prédictif intégré (S6), 2016–2025.....	86
Graphique 19 : Taux d'économie réalisés par rapport au coût d'importation réel, comparaison de l'ensemble des scénarios simulés, 2016–2025 (%)	87

Tables des abréviations

Abréviation	Désignation complète
ACCAGRIMAG	Agricultural Carbon and Greenhouse gas Reduction in Morocco and Maghreb
AMIS	Agricultural Market Information System
APSIM	Agricultural Production Systems sIMulator
ASCAT	Advanced SCATterometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CAF	Coût, Assurance et Fret
CBOT	Chicago Board of Trade
CCDR	Country Climate and Development Report
CEPMMT	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme
CERES	Crop Environment Resource Synthesis
CFR	Coût et Fret
CGMS	Crop Growth Monitoring System
CGMS-Maroc	Crop Growth Monitoring System — adaptation marocaine
CM4EW	Crop Monitor for Early Warning
CSS3	Cascading Style Sheets 3
CV	Coefficient de Variation
DGM	Direction Générale de la Météorologie
DH	Dirham marocain
DSS	Direction de la Stratégie et des Statistiques
DSSAT	Decision Support System for Agrotechnology Transfer
E-AGRI	Projet européen de surveillance agricole par satellite (2011–2014)
ERA5	Fifth generation of ECMWF global atmospheric reanalyses
ERS	Economic Research Service
EVI2	Enhanced Vegetation Index 2
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FAO-GIEWS	FAO Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture
FAS	Foreign Agricultural Service
FENIMON	Fédération Nationale de la Minoterie
FEWS NET	Famine Early Warning Systems Network
FNBT	Farine Nationale de Blé Tendre
FOB	Free On Board
G20	Groupe des Vingt
GARCH	Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity
GCVI	Green Chlorophyll Vegetation Index
GEO	Group on Earth Observations
GEOGLAM	Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring
GIEWS	Global Information and Early Warning System

GlCropV2	Global Cropland map Version 2
GTOPO30	Global 30 Arc-Second Elevation Data Set
HCP	Haut-Commissariat au Plan
HTML5	HyperText Markup Language version 5
IAV	Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II
ICECs	Interagency Commodity Estimates Committees
INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
INRA-Maroc	Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc
JRC	Joint Research Centre
LAI	Leaf Area Index
LSTM	Long Short-Term Memory
MAE	Mean Absolute Error
MAPE	Mean Absolute Percentage Error
MARS	Monitoring Agricultural Resources
MENA	Middle East and North Africa
MLR	Multiple Linear Regression
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NAO	North Atlantic Oscillation
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NASS	National Agricultural Statistics Service
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NM	Norme Marocaine
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OBS	Scénario observé (volumes d'importation réels)
OAIC	Office Algérien Interprofessionnel des Céréales
OMM	Organisation Météorologique Mondiale
ONICL	Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses
PAM	Programme Alimentaire Mondial
PME	Petites et Moyennes Entreprises
RMSE	Root Mean Square Error
RVI	Radar Vegetation Index
SARIMA	Seasonal AutoRegressive Integrated Moving Average
SAU	Surface Agricole Utile
SEATS	Signal Extraction in ARIMA Time Series
SOSIPO	Société des Silos Portuaires
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
SST	Sea Surface Temperature
SVM	Support Vector Machine
SWI	Soil Water Index
USDA	United States Department of Agriculture

USDA-WAOB	United States Department of Agriculture — World Agricultural Outlook Board
VITO	Vlaams Instituut voor Technologisch Onderzoek
WAOB	World Agricultural Outlook Board
WASDE	World Agricultural Supply and Demand Estimates
WOFOST	World Food Studies
XGBoost	Extreme Gradient Boosting
X-13ARIMA-SEATS	Méthode de désaisonnalisation du U.S. Census Bureau

Introduction

Le Maroc importe chaque année entre 2,5 et 5,5 millions de tonnes de blé tendre, un écart qui reflète directement la variabilité de sa production nationale (ONICL, 2025). La consommation domestique, établie à 220 kg par habitant et par an (HCP, 2014), ne fluctue pas : c'est la récolte qui varie, sous l'effet de précipitations dont l'amplitude interannuelle dépasse 40 % dans les zones céréalières (Balaghi et al., 2012). Entre une bonne année pluviométrique et une sécheresse sévère, le volume à importer peut doubler. Cette incertitude sur le besoin réel se superpose à une saisonnalité des prix internationaux documentée sur vingt-cinq ans de cotations à la Bourse de Rouen : l'écart entre les mois les moins chers et les plus onéreux d'une même campagne atteint régulièrement 80 à 100 €/t (FranceAgriMer, 2001–2025). Importé au mauvais moment, un million de tonnes coûte 80 à 100 M€ de plus.

Le Maroc dispose d'un outil que peu de pays importateurs possèdent à ce stade de maturité : le Crop Growth Monitoring System CGMS-Maroc, développé en collaboration avec le Centre Commun de Recherche de la Commission européenne (JRC). Ce modèle agro-météorologique produit des prévisions de rendement du blé tendre dès le printemps, plusieurs mois avant la récolte (Balaghi, Lahlou & Alaouri, 2024). En croisant ces prévisions avec les besoins nationaux projetés, il est théoriquement possible d'estimer le volume d'importation nécessaire avant que la fenêtre de prix favorable ne se referme — soit dès la mi-mai, dix jours avant l'ouverture de la campagne d'achat en juin.

L'Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL), superviseur des importations de blé tendre, n'intègre pas à ce jour les prévisions CGMS (Crop Growth Monitoring System) dans ses décisions d'achat. L'outil sert à estimer la production nationale à titre indicatif ; le croisement entre ce signal agronomique et la dynamique saisonnière des prix n'a pas été formalisé. La revue de littérature conduite pour ce travail — couvrant Google Scholar, Scopus, CAIRN, les publications du JRC et les rapports de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) — n'a identifié aucune étude publiant ce type d'analyse pour le Maroc, ni pour un pays importateur de structure comparable (Lehmann et al., 2020 ; Sarris, Conforti & Prakash, 2011).

Ce mémoire construit une réponse empirique à cette lacune. La question centrale est la suivante : **dans quelle mesure les prévisions du modèle CGMS-Maroc peuvent-elles améliorer la planification des importations de blé tendre et réduire le coût moyen d'achat ?** Une approche par scénarios comparés est développée sur neuf campagnes historiques (2016/2017–2024/2025), en croisant les cotations décennales de la Bourse de Rouen, les volumes mensuels d'importation de l'ONICL et les prévisions de rendement CGMS-Maroc. Trois logiques d'allocation sont testées : une référence aux volumes réels observés, une exploitation du seul profil saisonnier des prix sur vingt-cinq ans, et une intégration du signal CGMS-Maroc comme variable de planification. Le dispositif permet d'isoler, sur données réelles, la part du gain potentiel attribuable au calendrier d'achat et celle attribuable à l'information agronomique précoce.

1. Etat de l'art

Ce chapitre pose les bases conceptuelles et bibliographiques sur lesquelles s'appuie l'ensemble de la démarche. Il examine d'abord les grands systèmes de prévision de rendement céréalier — WASDE (World Agricultural Supply and Demand Estimates), MARS (Monitoring Agricultural Resources)/CGMS et Crop Monitor — et les approches de modélisation qui les fondent, en évaluant leur fiabilité selon la précocité du signal produit. Il aborde ensuite les outils économiques mobilisés pour la gestion des achats à l'importation : théorie du stockage, instruments de couverture sur les marchés à terme, et modèles d'optimisation de l'approvisionnement alimentaire. Ce chapitre relève qu'il n'y a aucune connexion entre ces deux domaines de recherches: aucune étude publiée ne relie les prévisions agronomiques du CGMS-Maroc à une décision d'achat quantifiée. C'est précisément ce manque que ce mémoire se propose de combler.

1.1 Les systèmes de prévision de rendement céréalier

1.1.1 Les grands systèmes existants dans le monde

Plusieurs systèmes institutionnels produisent aujourd'hui des prévisions de rendement céréalier à l'échelle mondiale, servant à la fois l'alerte précoce en matière de sécurité alimentaire et l'anticipation des bilans offre-demande sur les marchés agricoles. Trois d'entre eux dominent le paysage opérationnel, chacun selon une logique et une couverture géographique distinctes.

USDA WASDE (États-Unis)

Le rapport World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE), publié mensuellement par le World Agricultural Outlook Board (WAOB) de l'USDA (United States Department of Agriculture), fournit des bilans prévisionnels mondiaux d'offre et de demande pour le blé, le riz, les céréales secondaires, les oléagineux et le coton. Sa construction repose sur un processus interagences (Interagency Commodity Estimates Committees, ICECs), réunissant les analystes du National Agricultural Statistics Service (NASS), de l'Economic Research Service (ERS) et du Foreign Agricultural Service (FAS). En début de campagne, les projections s'appuient sur des rendements tendanciels et l'hypothèse d'une météo normale, progressivement ajustées au fil des enquêtes de terrain et des données satellitaires (USDA-WAOB, 2026). Plusieurs études ont démontré la valeur informationnelle de ces rapports sur les marchés à terme : les prix des contrats à terme (futures, c'est-à-dire les prix négociés aujourd'hui pour des livraisons à une date future dont le niveau de prix demeure incertain) réagissent de manière statistiquement significative à chaque publication mensuelle, et les prévisions de prix de campagne se révèlent généralement plus précises que les anticipations dérivées des marchés à terme (Isengildina-Massa et al., 2020). Le système présente toutefois des limites pour les pays importateurs du Sud : les estimations de production des pays tiers reposent en partie sur des sources secondaires et ne s'appuient pas sur des modèles biophysiques locaux.

MARS/CGMS (Union européenne / JRC)

Le Monitoring Agricultural Resources (MARS), opérationnel depuis 1993 au Centre commun de recherche (JRC) de la Commission européenne, est le système de prévision céréalière le plus documenté scientifiquement. Son architecture repose sur le Crop Growth Monitoring System (CGMS), qui intègre trois niveaux : l'interpolation des données météorologiques sur une grille de 25 km, la simulation biophysique de la croissance des cultures par le modèle WOFOST (World Food Studies), et la prévision statistique des rendements nationaux (Supit et al., 1994 ; De Wit et al., 2019). Le système produit des bulletins décennaux couvrant l'ensemble de l'Union européenne ainsi que les pays du voisinage méditerranéen. Van der Velde et al. (2018) ont évalué la performance du système sur 440 prévisions de blé tendre réalisées entre 1993 et 2013 pour 25 États membres. En juillet, les années de rendement médian sont prévues avec une erreur inférieure à 2 %. En revanche, les années de rendement faible — dont les quatre cinquièmes sont liées à la sécheresse — sont systématiquement surestimées d'environ 10 %, tandis que les années à haut rendement sont sous-estimées de 8 %. Ces biais asymétriques représentent une difficulté opérationnelle pour les pays qui s'appuient sur le signal CGMS afin d'anticiper leurs besoins d'importation.

Crop Monitor (GEOGLAM / FAO)

L'initiative GEOGLAM (Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring) a été lancée en 2011 à la demande du G20 (Groupe des Vingt), en réponse aux crises alimentaires de 2007-2008 et 2010-2011 qui avaient mis en évidence l'insuffisance de la transparence sur les marchés céréaliers mondiaux (Becker-Reshef et al., 2019). Deux produits opérationnels complémentaires en sont issus. Le Crop Monitor for AMIS (Agricultural Market Information System), publié depuis 2013, fournit un consensus mensuel multi-agences sur les conditions de culture dans les 28 principaux pays producteurs et exportateurs de blé, maïs, riz et soja. Le Crop Monitor for Early Warning (CM4EW), lancé en 2016 en partenariat avec FEWS NET, le PAM (Programme Alimentaire Mondial), la FAO-GIEWS (FAO Global Information and Early Warning System on Food and Agriculture) et le JRC, couvre les pays vulnérables à l'insécurité alimentaire, dont ceux de la région MENA (Middle East and North Africa) (Becker-Reshef et al., 2020). La méthodologie repose sur un processus de consensus entre experts régionaux et nationaux, intégrant des indices de végétation satellitaires (NDVI, anomalies), des données pluviométriques et des observations de terrain. L'approche qualitative — chaque évaluation attribue un état des cultures allant de « favorable » à « défaillance » — a l'avantage de la rapidité et de la lisibilité, mais ne fournit pas de prévision quantitative de rendement utilisable directement pour le dimensionnement des importations.

Positionnement de CGMS-Maroc dans ce paysage

Le Maroc figure parmi les premiers pays non européens à avoir adapté le système CGMS-Maroc à son contexte agronomique, ce qui le place dans un cercle restreint de pays disposant d'un outil biophysique opérationnel de prévision des rendements. Cette capacité prend un relief particulier au regard du profil importateur du pays : la FAO classe le Maroc parmi les cinq premiers importateurs mondiaux de blé, avec des besoins d'importation estimés à 11 millions de tonnes pour la campagne 2025-2026, soit plus de 20 % au-dessus de la moyenne quinquennale (FAO-GIEWS, 2025). Le Maroc

constitue donc un cas d'étude singulier — un pays qui dispose d'un signal de prévision de rendement fonctionnel mais dont aucune étude publiée n'examine l'utilisation pour la planification des achats à l'importation. Avant d'aborder cette question (sections 1.2 et 1.3), il convient de passer en revue les approches de modélisation sur lesquelles reposent ces systèmes de prévision et d'évaluer leur fiabilité en fonction de leur précocité.

1.1.2 Les approches de modélisation utilisées

Les méthodes de prévision des rendements céréaliers se répartissent en trois grandes familles, dont les forces et les limites conditionnent directement leur usage opérationnel.

Modèles mécanistes (ou biophysiques)

Les modèles mécanistes simulent la physiologie de la plante — photosynthèse, respiration, allocation de biomasse, phénologie, bilan hydrique — en réponse aux conditions environnementales quotidiennes. Trois modèles dominent la littérature. WOFOST (World Food Studies), développé à Wageningen et intégré au CGMS européen, simule la croissance du blé en fonction du rayonnement, de la température et du bilan hydrique (Van Diepen et al., 1989 ; Supit et al., 1994). DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer), dont le module CERES-Wheat modélise la croissance du blé en fonction du génotype, du sol et de la gestion culturale (Jones et al., 1986), est largement utilisé en Amérique du Nord et en Asie. APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator), développé en Australie, est adapté aux systèmes pluviaux (Keating et al., 2003). Une comparaison récente entre APSIM-wheat et des modèles empiriques sur les zones pluviales marocaines a montré que le modèle mécaniste surpasse la régression en zone favorable, mais perd en précision dans les zones semi-arides défavorables, là où la variabilité climatique intra-saisonnière est la plus forte (Mamassi et al., 2024). AquaCrop, développé par la FAO, a également été testé au Maroc pour simuler les rendements du blé dur en irrigué sur le périmètre de Tadla, avec des résultats satisfaisants (Benabdelouahab et al., 2016).

La force de ces modèles réside dans leur capacité à produire des prévisions en cours de saison, à chaque pas de temps, à mesure que de nouvelles données météorologiques sont intégrées. Le CGMS-Maroc, en tant que modèle empirique (non-mécanistique), exploite également cette propriété : la prédiction de rendement est mise à jour à chaque décade et converge vers sa valeur finale autour d'avril, au stade de remplissage du grain. La limite des modèles mécanistes est double : d'une part, la sensibilité des résultats aux paramètres d'entrée (propriétés du sol, dates de semis, variétés cultivées), rarement disponibles à l'échelle régionale ; d'autre part, les relations mathématiques décrivant les processus biophysiques au sein même du modèle, dont les simplifications et hypothèses peuvent introduire des biais structurels indépendants de la qualité des données d'entrée.

Modèles statistiques et agro-météorologiques

L'approche statistique établit des relations empiriques entre les variables climatiques observées et les rendements historiques. Balaghi et al. (2008) ont construit des modèles de régression linéaire multiple à l'échelle nationale marocaine, utilisant le NDVI dérivé de NOAA-AVHRR, les cumuls

pluviométriques et les températures comme prédicteurs. Ces modèles permettaient de prévoir le rendement du blé tendre deux mois avant la récolte. Lehmann et al. (2020) ont proposé une approche fondée sur la découverte causale de téléconnexions climatiques : en exploitant les anomalies de géopotential à 500 hPa et les températures de surface de l'Atlantique (SST), ils ont démontré qu'il est possible de prévoir les anomalies de rendement du blé marocain dès le mois de décembre, soit quatre mois avant la récolte. Ce résultat confirme l'existence d'un signal prédictif précoce exploitable pour anticiper les besoins d'importation. Jarlan et al. (2021) ont combiné des indices de sécheresse satellitaires, des données météorologiques et des indices climatiques régionaux (NAO, Scandinavian Pattern) pour prévoir les rendements céréaliers à l'échelle provinciale au Maroc, avec un R^2 de 0,88 pour le modèle XGBoost (Extreme Gradient Boosting) combinant ces sources multiples dès le mois de janvier.

Approches par apprentissage automatique

L'utilisation d'algorithmes d'apprentissage automatique pour la prévision des rendements s'est développée depuis 2015. Parmi les méthodes les plus mobilisées figurent les forêts aléatoires (Random Forest), les machines à vecteurs de support (SVM) et les réseaux de neurones récurrents (LSTM). Bouasria et al. (2024) ont appliqué un modèle Random Forest aux données Sentinel-2 (résolution 10 m) sur la région de Rabat-Salé-Kénitra au Maroc pour prédire les rendements du blé et quantifier l'écart de rendement. Leurs résultats montrent que l'indice RVI, suivi du GCVI (Green Chlorophyll Vegetation Index) et du NDVI, offre les meilleures performances prédictives. L'écart de rendement observé varie de 0,73 t/ha en année de sécheresse (2019/2020) à 3,38 t/ha en année favorable (2018/2019). Ces approches capturent des relations non linéaires entre prédicteurs et rendements, mais souffrent d'un effet « boîte noire » et d'une forte dépendance à la taille des jeux de données d'entraînement — un facteur limitant au Maroc où les séries de rendements provinciaux restent courtes.

1.1.3 La fiabilité des prévisions précoces de rendement

La question de la fiabilité des prévisions en fonction de leur précocité se situe au cœur de l'enjeu opérationnel : plus la prévision est précoce, plus elle offre de marges de manœuvre pour les décisions d'importation, mais moins elle est précise. La littérature fournit des repères quantifiés sur cette tension.

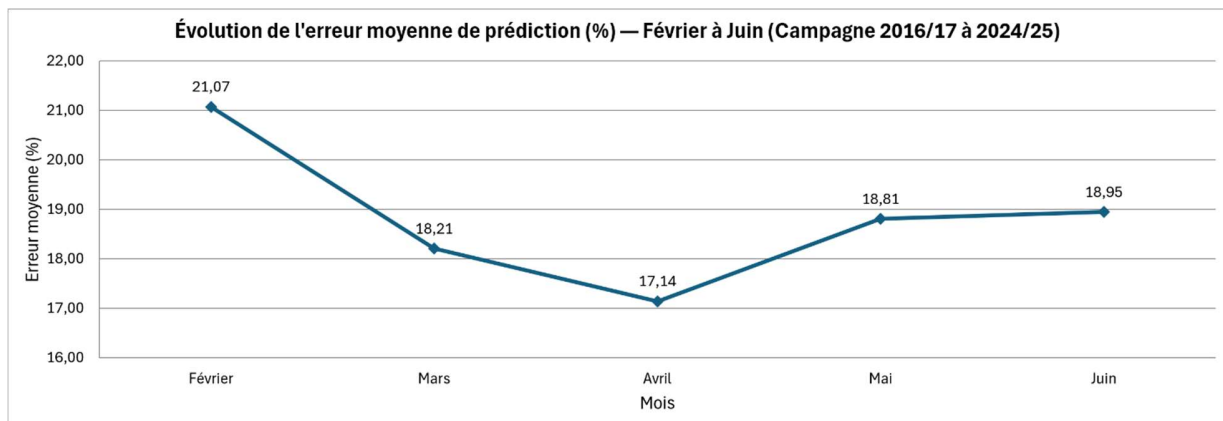
À l'échelle nationale marocaine, Lehmann et al. (2020) ont montré que les téléconnexions climatiques (géopotential à 500 hPa, SST atlantique) permettent de produire un signal prédictif dès décembre, quatre mois avant la récolte. Ce signal repose sur le couplage entre la pluviométrie hivernale marocaine et les circulations atmosphériques de grande échelle (Oscillation Nord-Atlantique, ondes de Madden-Julian). La corrélation entre les précurseurs identifiés et les anomalies de rendement est robuste sur la période 1981-2019.

Au sein du système MARS européen, Van der Velde et al. (2018) ont quantifié l'évolution de la précision des prévisions de blé au fil de la saison pour 25 États membres. Les erreurs en pourcentage passent d'environ 15 % en mars à moins de 5 % en juillet pour les années médianes. Les réductions

de rendement liées à la sécheresse sont anticipées avec un délai d'environ deux mois, tandis que les années à haut rendement voient leur prévision s'améliorer graduellement sans convergence précoce nette.

Krakauer et al. (2023) ont trouvé des corrélations atteignant 0,70 à 0,89 entre le NDVI-MODIS et les rendements céréaliers dans la région de Fès-Meknès, avec les meilleurs résultats obtenus durant la deuxième et la troisième décennie de mars et la première décennie d'avril, période de l'épiaison et de la floraison. Le modèle de régression linéaire explique 58 à 79 % de la variabilité des rendements dans les provinces à forte vocation céréalière (Taza, Taounate), et 51 à 53 % dans les provinces montagneuses.

Pour le CGMS-Maroc, les données de prédiction disponibles sur les campagnes 2014/2015 à 2024/2025 montrent que la prédiction de rendement se stabilise autour de la première décennie d'avril, au stade de remplissage du grain, à partir duquel le rendement final est biologiquement déterminé. L'écart entre la prédiction CGMS-Maroc d'avril et le rendement officiel publié en octobre a été calculé campagne par campagne : les parcelles irriguées présentent systématiquement de meilleurs indicateurs de précision que les parcelles pluviales (Bour), ces dernières concentrant l'essentiel de l'incertitude agronomique.



Graphique 1 : Evolution de l'erreur moyenne de prédiction (%) sur 11 campagne

Ces résultats convergent vers un constat opérationnel : un signal de prédiction fiable est disponible entre mars et avril pour le Maroc, soit deux à trois mois avant le début de la campagne d'importation (juin). C'est ce décalage temporel qui ouvre une fenêtre d'anticipation pour les décisions d'achat.

1.2 Les outils économiques de gestion des achats céréaliers à l'importation

La section précédente a montré que des signaux agronomiques précoces permettent d'anticiper les rendements céréaliers plusieurs mois avant la récolte. La question qui suit est plus concrète : comment cette information peut-elle peser sur une décision d'achat ? Les économistes ont développé deux types d'outils pour y répondre — des instruments de couverture sur les marchés à terme, et des modèles d'optimisation du calendrier et des volumes d'achat.

1.2.1 Les marchés à terme et la couverture du risque-prix à l'importation**

Le marché du blé fonctionne selon deux logiques d'achat distinctes. L'achat au comptant — le prix spot — engage à payer le cours du jour pour une livraison immédiate. Le contrat à terme fixe un prix aujourd'hui pour une livraison future. L'écart entre les deux, qu'on appelle la base, traduit essentiellement ce que coûte de détenir du grain entre la signature du contrat et son exécution — Working (1949) en a posé les bases théoriques. Kaldor (1939) avait relevé que le propriétaire de stock physique dispose d'un avantage que le porteur de contrat n'a pas : livrer immédiatement si la demande l'exige, sans attendre l'échéance. Ce « convenience yield » augmente quand les stocks mondiaux s'amenuisent — c'est-à-dire dans les configurations où le risque de pénurie est le plus fort. Deaton et Laroque (1992) ont montré que lorsque les stocks s'épuisent complètement, ce mécanisme tampon disparaît et les prix deviennent très volatils. Gorton, Hayashi et Rouwenhorst (2013), sur 31 matières premières entre 1969 et 2006, ont confirmé empiriquement que le niveau des stocks demeure le principal déterminant des prix à terme.

Cette volatilité ne s'est pas atténuée sur longue période. Haase, Zimmermann et Huss (2023), en analysant les cours journaliers du blé sur 140 ans au Chicago Board of Trade, montrent que la volatilité s'organise en régimes brusques et discontinus, sans tendance à la stabilisation sur les décennies récentes. Pour un importateur, cela signifie que les fenêtres de prix favorables peuvent se refermer en quelques semaines.

Face à ce risque, un importateur peut acheter des contrats à terme pour verrouiller un prix d'achat à l'avance — c'est ce qu'on appelle le hedging. Mais cette protection reste imparfaite : il subsiste un écart entre le prix du contrat et le prix effectivement payé à la livraison, le risque de base (Ederington, 1979). Pour un acheteur marocain de blé français, cet écart résulte de la différence entre la cotation Euronext et le prix rendu au port, de la qualité du grain, et du décalage entre la date du contrat et celle de la livraison réelle.

Penone, Giampietri et Trestini (2021) ont testé cette couverture pour le blé meunerie entre 2010 et 2020, en comparant les contrats du CBOT (Chicago Board of Trade) et ceux d'Euronext. Pour les acheteurs européens, les contrats Euronext réduisent mieux la variance du coût d'achat, et l'efficacité augmente avec un horizon de couverture plus long — ce qui plaide pour anticiper les achats plusieurs mois à l'avance.

La FAO a examiné cette question spécifiquement pour les pays en développement importateurs. Sarris, Conforti et Prakash (2011) ont simulé des stratégies de couverture pour 29 pays déficitaires en céréales sur 1970-2004. Des règles simples de hedging réduisent la variance de la facture d'importation de 20 à 40 % selon les pays — mais trois problèmes persistent : un risque de base élevé pour certains pays, des appels de marge qui pèsent sur la trésorerie des offices à budget limité, et surtout des règles figées qui n'exploitent pas l'information qui se révèle en cours de campagne. Dana, Gilbert et Shim (2006) ont obtenu des conclusions comparables pour le maïs en Afrique subsaharienne, avec des gains plus faibles en raison d'une base plus instable. Faruqee, Coleman et Scott (1997) ont montré, dans le cas pakistanais, que ces instruments ne fonctionnent que si l'office dispose de la capacité technique pour gérer des positions sur les marchés dérivés.

1.2.2 Les modèles d'optimisation de l'approvisionnement alimentaire**

La question de l'optimisation de l'approvisionnement se pose alors en ces termes : à quel moment acheter, en quelle quantité, auprès de quelles origines — le tout sous des contraintes budgétaires, des limites de capacité de stockage et des délais logistiques. Markowitz (1952) avait montré pour les portefeuilles financiers qu'étaler les achats entre plusieurs actifs réduit le risque global dès lors que ces actifs ne varient pas tous dans le même sens au même moment. Le raisonnement se transpose directement à l'approvisionnement en céréales. Fischl, Scherrer-Rathje et Friedli (2014) et Tomek et Peterson (2001) ont formalisé cette transposition pour les marchés de matières premières agricoles.

Les applications les plus concrètes viennent du Programme Alimentaire Mondial. Peters et al. (2021) ont construit un modèle mathématique qui détermine, mois par mois, quelle quantité acheter, à quelle origine et comment l'acheminer, pour minimiser le coût tout en respectant les besoins nutritionnels. Testé sur les opérations du PAM en Irak et au Yémen, ce modèle a réduit le coût par bénéficiaire. De Moor et al. (2023) ont amélioré ce type d'approche en y intégrant l'incertitude sur les prix : leur modèle distingue les décisions prises à l'avance de celles révisables au fil du temps. Ils montrent qu'une révision mensuelle produit d'aussi bons résultats que des formulations mathématiques beaucoup plus complexes.

Ces travaux partagent néanmoins un même angle mort : ils supposent que le volume à importer est connu à l'avance. Pour l'ONICL, ce n'est pas le cas — le besoin d'importation dépend directement du niveau de la récolte nationale, qui n'est connu qu'après la moisson. Mandl et Minner (2023) ont formalisé ce type de problème en développant un modèle d'optimisation des achats de matières premières qui intègre l'information disponible au fil du temps pour réviser les décisions. C'est cette logique que ce mémoire cherche à appliquer au cas marocain, en utilisant le signal agronomique du CGMS-Maroc comme information précoce sur le besoin d'importation.

1.2.3 Le déficit d'intégration entre prévision agronomique et décision d'achat**

Les travaux recensés dans cette section traitent le prix comme la principale source d'incertitude, sans intégrer d'information sur la production domestique attendue. Or, pour un pays comme le Maroc, le volume à importer dépend directement du niveau de la récolte. L'incertitude ne porte pas seulement sur le prix, mais sur le besoin lui-même.

Sarris, Conforti et Prakash (2011) reconnaissent que leurs règles ignorent l'information qui se révèle en cours de campagne. De Moor et al. (2023) proposent de réoptimiser au fil du temps, mais uniquement à partir de l'évolution des prix. Aucune étude identifiée ne couple un signal agronomique précoce — tel que celui produit par le CGMS-Maroc — avec un modèle d'optimisation du calendrier et du volume d'achat. C'est ce manque que ce mémoire cherche à combler.

1.3 Lacunes de la littérature et contribution du mémoire

1.3.1 Deux corps de recherche disjoints

Les deux premières sections de ce chapitre couvrent des terrains distincts. La section 1.1 porte sur la prévision des rendements céréaliers — modèles biophysiques (Supit et al., 1994 ; Van Diepen et al., 1989), approches statistiques fondées sur le NDVI et les variables climatiques (Balaghi et al., 2008 ; Lehmann et al., 2020), algorithmes d'apprentissage automatique appliqués à la télédétection

(Bouasria et al., 2024 ; Jarlan et al., 2021). La section 1.2 examine les outils économiques de gestion des importations : théorie du stockage (Working, 1949 ; Deaton et Laroque, 1992), couverture par instruments dérivés (Sarris et al., 2011 ; Penone et al., 2021), programmation mathématique appliquée à l'approvisionnement alimentaire (Peters et al., 2021 ; De Moor et al., 2023). Ces deux corpus ont jusqu'ici évolué en parallèle, sans point de contact.

Ces deux corps de littérature ne dialoguent pas. Les agronomes et les spécialistes de télédétection produisent des prévisions de rendement sans se préoccuper de leur traduction dans la chaîne de décision d'achat. Les économistes des marchés céréaliers optimisent des stratégies d'approvisionnement sans exploiter les signaux agronomiques disponibles en cours de campagne. Les systèmes GEOGLAM et AMIS fournissent des alertes qualitatives sur l'état des cultures, mais ne proposent pas de cadre d'optimisation des calendriers d'achat. Les rapports WASDE produisent des bilans offre-demande à une échelle trop agrégée pour guider les décisions opérationnelles d'un importateur national. Les travaux sur la prévision des prix (SARIMA, GARCH (Generalized AutoRegressive Conditional Heteroskedasticity), LSTM) ne prennent pas en compte la production locale comme variable explicative de la demande d'importation.

1.3.2 Aucune étude publiée reliant CGMS-Maroc aux décisions d'achat

La recherche documentaire menée dans le cadre de ce mémoire, couvrant Google Scholar, Scopus, ResearchGate, CAIRN, les publications du JRC et les rapports de la FAO, n'a identifié aucune étude qui croise les sorties du modèle CGMS-Maroc avec une analyse économique des fenêtres optimales d'importation.

Les travaux les plus proches restent partiels. Lehmann et al. (2020) mentionnent que les prévisions précoces de rendement peuvent alimenter la planification des importations céréalieres, mais ne développent pas cette application. Noureddine et al. (2026) analysent la dépendance céréalière du Maroc sans proposer de mécanisme d'optimisation fondé sur un signal agronomique. Belmahi et al. (2023) projettent les besoins en blé à l'horizon 2050 sans les relier à un outil de prévision de production en cours de campagne. Sarris, Conforti et Prakash (2011) optimisent la couverture des importations sur la base du seul signal de prix, sans intégrer d'information sur la production domestique. Peters et al. (2021) optimisent le sourcing alimentaire du PAM, mais dans un contexte humanitaire où la demande est exogène et connue à l'avance.

L'absence de ce croisement tient à deux facteurs identifiables. Le premier est disciplinaire : les chercheurs en agronomie et ceux en économie des marchés céréaliers publient dans des revues différentes et utilisent des cadres méthodologiques distincts. Le second est opérationnel : les données CGMS-Maroc ne sont pas en accès libre. Leur exploitation suppose une collaboration directe avec le JRC ou les institutions marocaines qui les exploitent, ce qui restreint le nombre de chercheurs en mesure de tester un tel couplage.

1.3.3 L'approche par scénarios : contribution de ce mémoire

Ce mémoire propose de combler cette lacune en construisant une approche intégrée qui relie trois dimensions habituellement traitées séparément. La première est le signal agronomique précoce

fourni par le CGMS-Maroc, dont la stabilisation autour d'avril offre une fenêtre de deux mois avant le début de la campagne d'importation en juin. La deuxième est l'analyse économique des prix du blé tendre, menée à un pas décadaire sur la base des cotations Rendu Rouen, permettant d'identifier les mois et les décades les plus favorables à l'achat. La troisième est l'analyse des volumes historiques d'importation collectés et fournis par l'ONICL sur les campagnes 2016/2017 à 2024/2025, qui renseigne sur les comportements d'achat effectifs et leurs déterminants saisonniers.

L'originalité de la démarche réside dans la construction de scénarios d'optimisation comparés sur neuf campagnes. Un scénario de référence reproduit les achats réels. Un scénario CGMS-Maroc réalloue les volumes sur les mois les moins chers en exploitant la prédiction de rendement disponible en avril. Un scénario hybride combine la prévision agronomique avec les régularités saisonnières des prix identifiées sur une longue période. Un scénario intégré estime lui-même le volume d'importation nécessaire à partir du bilan céréalier, puis le répartit dans le temps selon un calendrier optimisé. La différence de coût entre scénarios constitue la mesure de la valeur économique du signal CGMS-Maroc.

Cette approche s'inscrit dans le prolongement direct des travaux de Sarris et al. (2011), qui appelaient à des règles de couverture dynamiques exploitant l'information en cours de campagne, et de De Moor et al. (2023), qui démontraient l'intérêt de la réoptimisation séquentielle. Elle y ajoute le maillon manquant : un signal de production domestique, disponible avant le début de la campagne, qui permet de dimensionner le besoin d'importation et non seulement d'en optimiser le prix. Cette contribution est, à notre connaissance, inédite dans le contexte de l'importation de blé tendre au Maroc. Elle ne prétend pas modéliser l'intégralité des contraintes logistiques et politiques qui pèsent sur les décisions d'achat, mais fournit un cadre quantitatif pour évaluer le gain potentiel d'une anticipation fondée sur un outil agronomique existant et opérationnel.

2. Le marché du blé tendre au Maroc : production, importations et déterminants du calendrier d'achat

Ce chapitre dresse le tableau du marché marocain du blé tendre, depuis la production nationale jusqu'aux mécanismes qui déterminent le rythme des importations. La section 2.1 décrit la filière dans ses dimensions agronomiques et quantitatives. La section 2.2 examine les contraintes climatiques qui pèsent sur la production. Les sections 2.3 et 2.4 présentent le cadre institutionnel et les acteurs de la chaîne d'importation. Les sections 2.5 et 2.6 analysent les facteurs physiques et économiques qui expliquent le calendrier effectif des achats à l'étranger.

2.1 La filière blé tendre au Maroc : production, consommation et dépendance structurelle aux importations

Le blé tendre occupe une place centrale dans le système alimentaire marocain. L'Enquête nationale sur la consommation et les dépenses des ménages réalisée par le Haut-Commissariat au Plan établit la consommation moyenne à 220 kg de blé par habitant et par an (HCP, 2014), environ trois fois la moyenne mondiale. Le pain constitue l'aliment de référence pour l'ensemble des catégories sociales, et le blé tendre représente à lui seul près de 47 % de la valeur brute de la production céréalière nationale (Fellah-Trade, 2021). Sa prédominance dans l'assolement s'est accentuée depuis les années 1970, au détriment du blé dur et du maïs. Deux facteurs ont porté cette expansion : la diffusion de variétés améliorées et la politique de subvention du pain de farine nationale (Akesbi, 2011).

Le Maroc se situe à la charnière entre deux domaines climatiques. La façade atlantique et le nord du pays relèvent d'un climat méditerranéen, avec des hivers doux et humides et des étés chauds et secs. À mesure que l'on progresse vers le sud et l'intérieur des terres, ce climat cède la place à un régime semi-aride, puis aride au-delà de l'Atlas. Les précipitations annuelles varient de plus de 800 mm sur les reliefs du Rif à moins de 100 mm dans les provinces sahariennes. Les zones céréalières se concentrent dans la bande intermédiaire, entre 300 et 600 mm, où la pluviométrie permet une culture pluviale hivernale mais reste trop irrégulière pour garantir un rendement stable d'une année sur l'autre. La barrière montagneuse de l'Atlas joue un rôle déterminant : les versants nord et ouest reçoivent l'essentiel des perturbations atlantiques, tandis que les plaines orientales et méridionales restent dans l'ombre pluviométrique. La géographie du blé tendre reflète étroitement cette carte des précipitations.

Les zones de production

La production de blé tendre se concentre dans les plaines et plateaux du nord-ouest et du centre du pays, là où le climat méditerranéen semi-aride assure des précipitations hivernales suffisantes pour la culture pluviale. Trois régions administratives fournissent l'essentiel de la production : Fès-Meknès (37,1 %), Rabat-Salé-Kénitra (28,9 %) et Tanger-Tétouan-Al Hoceïma (18,2 %), soit 84 % du total national lors de la campagne 2023/2024 (Ministère de l'Agriculture, 2024). Ces proportions fluctuent d'une année à l'autre selon la pluviométrie régionale, mais la hiérarchie entre régions reste stable.

À l'échelle des provinces, dix d'entre elles contribuent à plus de deux tiers de la production : Khemisset, Kalaât Sraghna, El Jadida, Settât, Taounate, Meknès et Fès figurent parmi les plus productives (Balaghi et al., 2024). Les plaines atlantiques du Gharb et du Doukkala bénéficient de sols fertiles et d'une pluviométrie de 400 à 600 mm/an. Les plateaux du Saïs et de la Chaouïa, plus exposés à la variabilité climatique, restent des zones majeures en raison de l'étendue des surfaces emblavées. Plus au sud, Settât, Beni Mellal et Marrakech produisent de façon irrégulière et leur contribution fluctue fortement selon les campagnes.

La quasi-totalité de la production relève de l'agriculture pluviale, dite *bour*. Sur les campagnes 2014/2015 à 2024/2025, les surfaces en conduite pluviale ont représenté entre 1,09 et 2,09 millions d'hectares, contre 83 000 à 220 000 hectares en irrigué (données CGMS-Maroc). En moyenne sur ces onze campagnes, l'irrigué ne couvre qu'environ 10 % de la superficie totale emblavée en blé tendre ; les 90 % restants dépendent exclusivement des précipitations. Les rendements en irrigué sont supérieurs et plus stables, mais cette faible part de la superficie fait de la conduite pluviale le facteur déterminant du volume récolté chaque année.

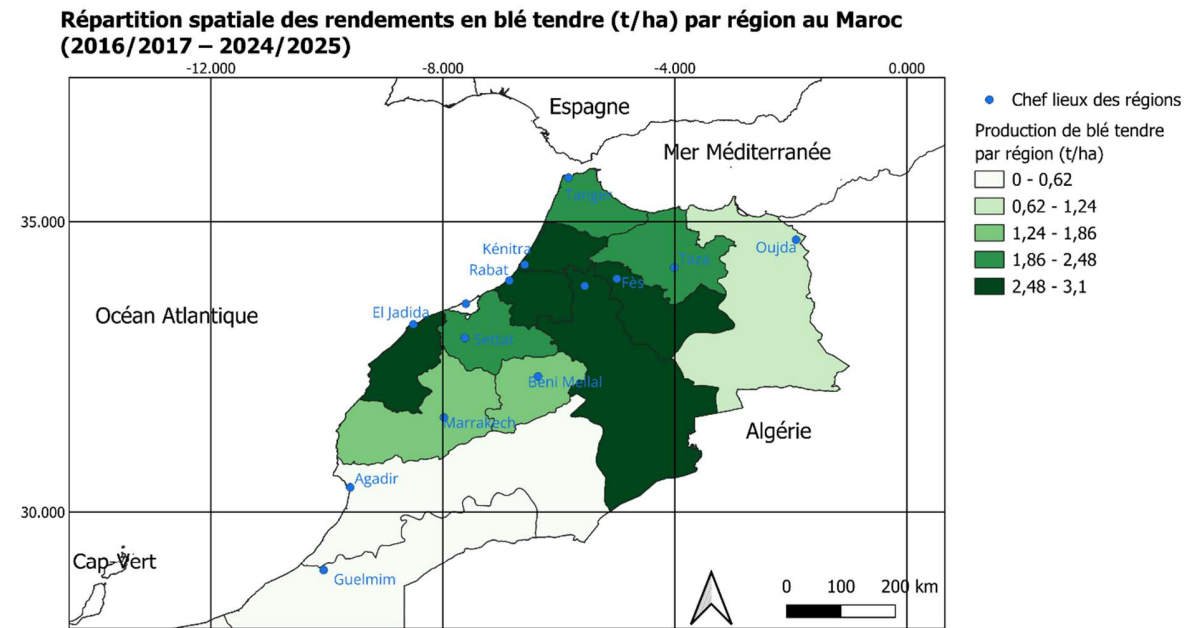
Surfaces et rendements

Les céréales occupent environ 5 millions d'hectares au Maroc, soit plus de 55 % de la surface agricole utile (SAU). L'orge en représente environ 43 %, suivi du blé tendre (35 %) et du blé dur (20 %) (Fellah-Trade, 2021). La superficie emblavée en blé tendre a toutefois reculé ces dernières années. Les données CGMS-Maroc montrent qu'elle est passée de 2,24 millions d'hectares en 2014/2015 à 1,19 million en 2024/2025, avec un creux à 1,18 million en 2023/2024. La contraction s'explique par la succession de campagnes sèches, la réorientation de certains agriculteurs vers l'arboriculture ou le maraîchage, la pression foncière liée à l'urbanisation et, dans certaines régions, la réduction de la disponibilité en eau d'irrigation (Ministère de l'Agriculture, 2024).

Les rendements en conduite pluviale sont faibles et très variables. Sur la période 2014/2015 à 2024/2025, le rendement moyen observé a oscillé entre 2,05 t/ha (campagne 2019/2020, mauvaise répartition des pluies printanières) et 3,27 t/ha (campagne 2014/2015, pluviométrie favorable). La moyenne sur les onze campagnes s'établit à environ 2,64 t/ha. Ces niveaux restent très en deçà des rendements européens : le blé tendre atteint couramment 5 à 8 t/ha en France ou en Allemagne en conditions de culture intensives (USDA, 2024). Dans les zones les plus favorables du Maroc (Saïs, Gharb, basse Chaouïa), certaines exploitations bien conduites atteignent ponctuellement 5 à 6 t/ha,

mais ces performances ne reflètent pas la réalité de la majorité des parcelles pluviales (Fellah-Trade, 2021).

C'est le rendement *bour*, entièrement tributaire de la pluviométrie, qui détermine l'essentiel du volume de la récolte nationale. L'amplitude est considérable : la production estimée a varié d'un facteur 2,8 entre la meilleure campagne (7,32 Mt en 2014/2015) et la plus mauvaise (2,59 Mt en 2023/2024).



Cette carte, réalisée sous QGIS avec le système de coordonnées de référence SCR : EPSG:4326 – WGS 84, représente les différentes régions du Maroc en fonction de leur rendement agricole (t/ha) sur la période allant de 2016/2017 à 2024/2025.

Les régions sont cartographiées selon une échelle de valeurs permettant de visualiser les variations spatiales des rendements. Les chefs-lieux de chaque région sont également indiqués afin de faciliter la lecture et la localisation.

Auteur : Antoine Lambotte

Date de création : 05/06/2026

Contexte : Carte réalisée dans le cadre du mémoire intitulé « Évaluation de l'apport du CGMS-Maroc pour la gestion des importations de blé tendre ».

Remarque : Les régions du sud du Maroc ne sont pas prises en compte sur cette carte, en raison de rendements en blé tendre très faibles.

Figure 1 : Carte représentant la répartition des rendements en blé tendre (t/ha) par région au Maroc sur la période 2016/2017 à 2024/2025

Tableau 1 : Surface, rendement et production estimée de blé tendre au Maroc par campagne (2014/15 - 2024/25)

Campagne **	Superficie totale (ha)	Rendement observé (t/ha)	Production estimée (Mt)**
2014/2015	2 240 251	3,27	7,32
2015/2016	1 574 719	2,38	3,75
2016/2017	2 290 120	2,81	6,44
2017/2018	1 884 460	3,08	5,79
2018/2019	1 683 290	2,15	3,63
2019/2020	1 838 610	2,05	3,77
2020/2021	1 864 127	3,21	5,97
2021/2022	1 590 433	2,30	3,66
2022/2023	1 600 215	2,65	4,24
2023/2024	1 175 144	2,20	2,59
2024/2025	1 188 017	2,94	3,49

Source : données CGMS-Maroc (superficies, rendements observés). Production estimée = superficie × rendement.

Le taux d'autosuffisance et la dépendance à l'importation

L'ONICL indique que le taux de couverture des besoins en blé tendre par la production nationale varie entre 30 et 67 % selon les campagnes (ONICL, 2018). Entre 2014 et 2019, la production locale n'a couvert en moyenne que 54 % des besoins céréaliers nationaux (ONICL, cité par Fellah-Trade, 2021). Les volumes de blé tendre importé, d'après les données mensuelles de l'ONICL, ont fluctué entre 2,66 Mt (campagne 2017/2018, bonne récolte) et 5,23 Mt (campagne 2022/2023, reconstitution de stocks après la crise ukrainienne). Pour la campagne 2024/2025, les importations totales de céréales et produits dérivés ont atteint 10,3 Mt, en hausse de 5 % par rapport à la campagne précédente (Ministère de l'Agriculture, 2025). L'USDA estime les besoins en importation de blé à 7,3 Mt pour 2025/2026, soit 42 % de plus que la moyenne décennale (USDA, 2025).

Cette dépendance n'est pas récente. Elle s'est accentuée depuis les années 1980, à mesure que la croissance démographique creusait l'écart entre les besoins alimentaires et une production plafonnée par les contraintes hydriques (Akesbi, 2011). La population marocaine est passée d'environ 20 millions d'habitants en 1980 à plus de 37 millions en 2024 (HCP, 2024), sans que les surfaces cérésières ou les rendements moyens aient suivi la même progression. Le Maroc se classe au sixième rang des plus grands consommateurs de céréales en Afrique, après l'Égypte, le Nigéria,

l'Éthiopie, l'Afrique du Sud et l'Algérie, avec une consommation moyenne de 17,5 Mt par an entre 2021 et 2023 (FAO, 2024).

Les données de l'ONICL montrent aussi que les importations ne répondent pas toujours au déficit de production de manière proportionnelle. Certaines années de forte production (2017, 2018) ont maintenu des volumes d'importation élevés (3,6 à 3,9 Mt), signe d'une politique de constitution de stocks de sécurité ou de besoins industriels complémentaires. À l'inverse, des années de production très faible n'ont pas systématiquement donné lieu à des importations à la mesure du déficit, ce qui traduit des contraintes budgétaires ou logistiques. Ces écarts entre déficit théorique et importations effectives constituent un premier signal de la complexité des décisions d'approvisionnement.

2.2 Les caractéristiques physiques et climatiques du terrain

La production de blé tendre au Maroc dépend avant tout de la pluviométrie. Les zones céréalières du pays se situent dans un contexte semi-aride où la variabilité interannuelle des précipitations impose un régime de production erratique, très éloigné de la régularité des grandes plaines céréalières européennes.

Le climat semi-aride dominant dans les zones céréalières

Les principales zones de production reçoivent entre 300 et 600 mm de précipitations annuelles, concentrées sur la période d'octobre à mars. Les plaines atlantiques (Gharb, Doukkala) se situent dans la tranche haute de cette fourchette ; les plateaux intérieurs (Chaouia, Settat) et les zones de piémont (Beni Mellal, Marrakech) descendent fréquemment sous les 350 mm. Les températures estivales dépassent régulièrement 35 à 40 °C, ce qui affecte les conditions de croissance en fin de cycle et les possibilités de stockage du grain après récolte.

Le blé tendre d'hiver cultivé au Maroc suit un cycle de croissance de septembre-octobre (semis) à juin-juillet (récolte). Deux stades phénologiques sont particulièrement sensibles au déficit hydrique. Le tallage, en janvier-février, détermine le nombre de tiges par plant et conditionne le potentiel de rendement. La montaison, en mars-avril, fixe la taille des épis et le nombre de grains. Un stress hydrique prolongé durant ces six à huit semaines peut faire chuter le rendement de 40 à 70 % (Balaghi et al., 2024). La fenêtre critique est courte : c'est pendant cette période que se joue l'essentiel de la campagne.

L'agriculture pluviale comme contrainte structurelle

Environ 90 % des surfaces de blé tendre sont cultivées en conduite pluviale (*bour*), sans apport d'irrigation. Ce ratio correspond à la moyenne des parts de superficie pluviale sur les onze campagnes CGMS-Maroc (2014/2015 à 2024/2025) ; il varie selon les campagnes entre 85 % (années où l'irrigué atteint environ 220 000 ha) et 95 % (années où il descend à environ 83 000 ha). Le rendement national dépend donc presque exclusivement de la quantité et de la répartition temporelle des pluies entre décembre et avril.

Le coefficient de variation du rendement observé sur les onze campagnes CGMS-Maroc dépasse 15 %, contre moins de 5 % pour les rendements du blé tendre en France sur une période comparable

(FranceAgriMer, 2024). Cet écart traduit la différence entre un système sécurisé par l'irrigation et les intrants et un système pluvial exposé aux aléas météorologiques sans filet de sécurité.

L'aggravation des aléas climatiques

Le Maroc traverse depuis 2018 une séquence de sécheresse sans précédent. Six campagnes consécutives de déficit pluviométrique ont été enregistrées entre 2018 et 2024, une durée inédite dans les séries climatiques disponibles (Policy Center for the New South, 2024). Le rapport *CCDR (Country Climate and Development Report) : Note Technique — Pénurie d'eau et Sécheresses* de la Banque mondiale (2023) documente une tendance structurelle à la baisse des apports en eau de surface : la moyenne annuelle est passée de 22 milliards de m³ sur la période 1945-1978 à environ 15 milliards de m³ après 1979. Les ressources en eau renouvelables par habitant ont chuté de 2 560 m³ en 1960 à environ 620 m³ en 2020. Le Maroc se trouve en situation de stress hydrique structurel, proche du seuil de pénurie absolue fixé à 500 m³ par habitant et par an (Banque mondiale, 2023).

Pour les zones céréalières, cette tendance se traduit par une probabilité croissante de campagnes déficitaires. Le taux de remplissage des barrages a touché un plancher historique de 32,8 % en février 2022 (Banque mondiale, 2023). La réduction de la pluviométrie et la fréquence accrue des sécheresses sévères rendent le rendement céréalier de plus en plus imprévisible.

2.3 Le cadre institutionnel des importations

L'importation de blé tendre au Maroc ne relève pas d'un marché libre. L'État oriente les flux par la tarification douanière et les subventions, sans acheter directement. Deux institutions structurent ce dispositif : l'ONICL et la Caisse de compensation.

L'ONICL — Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses

Créé en 1937 sous le protectorat français, l'ONICL régule le marché céréalier marocain sans en être un acteur commercial (ONICL, s.d. ; ONICL, communication personnelle, 28 janvier 2026). Il ne stocke pas, n'achète pas. À la différence de l'OAIC algérien ou de l'Office des céréales tunisien — qui interviennent directement sur le marché physique —, l'ONICL fonctionne par la surveillance et la régulation indirecte. Il collecte les déclarations périodiques des opérateurs privés (importateurs, minoteries, négociants) sur leurs achats, ventes et niveaux de stocks, les agrège pour établir un état de l'approvisionnement national, et publie les statistiques mensuelles mobilisées dans ce mémoire.

Depuis la libéralisation de 1986, ce sont les opérateurs privés qui importent et distribuent. Quand la situation se tend, l'ONICL intervient par trois mécanismes successifs, activés selon la gravité.

Le premier est l'ajustement des droits de douane. Le taux normal est de 135 %, calibré pour protéger la production nationale pendant la commercialisation de la récolte (mai à septembre). En cas de déficit, il peut être réduit ou suspendu par arrêté ministériel.

Le deuxième est la prime forfaitaire à l'importation, dite « restitution ». Quand la baisse tarifaire ne suffit pas, l'ONICL fixe un prix cible « entrée moulin » et verse à l'importateur la différence avec son coût réel (achat + fret + assurance). La prime se répercute sur le prix de la farine, maintenu à un niveau réglementé.

Le troisième est la prime de magasinage : 5 DH par quintal pour les opérateurs qui conservent du grain importé en stock pendant au moins un mois (ONICL, communication personnelle, 28 janvier 2026).

Ces interventions passent aussi par des circulaires qui ouvrent des fenêtres d'importation subventionnée avec des conditions de prix et des délais. Ce sont ces circulaires que surveillent les importateurs.

La Caisse de compensation

La Caisse de compensation maintient le prix de la farine nationale (FNBT) entre 270 et 280 DH/quintal à la sortie des minoteries, indépendamment des cours mondiaux. Ce découplage protège le pouvoir d'achat des ménages, mais son coût varie fortement : modéré quand les cours sont bas, il s'est chiffré en milliards de dirhams en 2022.

Pour l'importateur, ce cadre change la logique d'achat. Il ne maximise pas un profit sur un prix de revente libre — il optimise le différentiel entre son coût d'achat et le prix cible ONICL, net de la prime. Ce signal modifie directement le calendrier et les volumes d'achats.

2.4 Les acteurs de la chaîne d'importation

Entre l'achat du blé sur les marchés internationaux et la livraison de farine aux boulangeries, plusieurs catégories d'acteurs interviennent. Chacune opère sous des contraintes propres qui influencent le rythme et le volume des importations.

Les importateurs privés et négociants

Depuis 1986, l'importation est assurée par des opérateurs privés : négociants en grains, filiales de groupes agroalimentaires, minoteries intégrées. Ils contractent généralement en CFR ou CAF sur les ports marocains, en référence aux cotations de la Bourse de Rouen pour les origines européennes ou aux prix FOB mer Noire pour les origines ukrainiennes et russes.

Plus d'une centaine d'opérateurs sont actifs, chacun décidant de manière indépendante selon sa trésorerie, son carnet de commandes et ses anticipations de prix. Le flux d'importation résulte de la somme de ces décisions individuelles — pas d'une planification centralisée.

Les minoteries : industrie agréée et meunerie artisanale

Deux secteurs coexistent. Le premier regroupe environ 128 minoteries industrielles agréées par l'ONICL, habilitées à fabriquer et commercialiser la FNBT subventionnée. Ce sont majoritairement des PME familiales, avec un cycle d'exploitation de 45 à 75 jours et un capital limité. Elles absorbent l'essentiel du blé importé, déclarent leurs stocks à l'ONICL et bénéficient des primes quand elles sont actives. Leur capacité d'écrasement atteint 9,2 Mt/an mais elles tournent à environ 50 % (ONICL, 2022). Le blé représente environ 80 % de leur coût de production (ONICL, communication personnelle, 28 janvier 2026) — le prix d'achat est donc presque leur seule variable de rentabilité.

Le second est artisanal : environ 2 700 meuneries de petite taille, non agréées, approvisionnées sur les marchés locaux et les souks (ONICL, communication personnelle, 28 janvier 2026). Leur production échappe aux statistiques de l'ONICL et crée un angle mort dans la comptabilité

céréalière nationale. Les volumes d'importation publiés par l'ONICL ne couvrent que le circuit industriel déclaré.

Les exigences de qualité meunière

La norme marocaine NM 03.2.003 fixe des seuils précis : protéines > 11,5 %, force boulangère W > 180, indice de Hagberg > 220 secondes. Ce dernier mesure l'activité de l'alpha-amylase dans le grain — une valeur trop basse donne un pain collant. Or l'indice se dégrade au stockage, surtout au-dessus de 35 °C. Un blé classé A1 à l'arrivée peut être déclassé en A2 après quelques mois dans de mauvaises conditions. Les minoteries en tiennent compte : elles commandent deux à trois mois de consommation, pas davantage.

Les ports d'importation

Le blé importé arrive par voie maritime dans cinq ports : Casablanca, Jorf Lasfar, Mohammedia, Safi et Nador. Casablanca reste le plus important en volume, mais ses contraintes physiques limitent les flux. Le tirant d'eau des quais céréaliers y atteint 11 à 13 mètres, ce qui permet l'accueil de vraquiers de 40 000 à 60 000 tonnes mais exclut les Panamax chargés à plein (65 000 à 80 000 tonnes). Importer 500 000 tonnes en un mois par le seul port de Casablanca nécessiterait au moins dix navires, une opération qui dépasse la capacité opérationnelle courante.

Jorf Lasfar, au sud d'El Jadida, offre un tirant d'eau supérieur et accueille une part croissante des importations céréalières. Mohammedia et Safi complètent le dispositif sur la côte atlantique, Nador dessert les régions orientales. Chaque port a ses contraintes propres de disponibilité des quais, de cadence de déchargement et de connexion routière ou ferroviaire avec les minoteries de l'arrière-pays.

La capacité de stockage portuaire constitue un goulot d'étranglement. Les silos gérés par la SOSIPO (Société des Silos Portuaires) à Casablanca totalisent 150 000 tonnes pour un flux entrant qui peut atteindre 400 000 à 600 000 tonnes par mois en période de pointe. À plein régime, les silos se vident en moins d'une semaine. L'étalement des importations sur l'année n'est donc pas seulement une stratégie de prix ; c'est une nécessité logistique. Concentrer les livraisons sur deux ou trois mois créerait des engorgements qui paralyseraient la chaîne.

Le transit maritime ajoute un délai incompressible. Une cargaison chargée à Rouen met quinze à seize jours pour atteindre Casablanca. Depuis la mer Noire (Ukraine, Russie, Roumanie), le délai est de vingt à vingt-trois jours. Si le gouvernement décide en mars d'accélérer les importations, les premières cargaisons n'arrivent pas avant mi-avril. La décision d'achat doit précéder d'au moins trois semaines le besoin réel.

2.5 Les facteurs physiques expliquant le calendrier d'importation

Le profil mensuel des importations de blé tendre n'est pas aléatoire. Il obéit à des contraintes physiques qui imposent un rythme d'achat largement indépendant de la volonté des opérateurs.

Le calendrier agricole et la période de soudure

Le blé marocain suit un calendrier fixe : semences entre octobre et décembre, croissance de janvier à avril, récolte de mai à juillet. De janvier à avril, le pays consomme ses stocks sans les reconstituer. Les agronomes appellent cette phase la « soudure ». Dans les données ONICL, elle se lit clairement : sur neuf campagnes (2016/2017 à 2024/2025), mars et avril cumulent 11 181 kt d'importations, soit 22 % du total de la période.

Ce pic printanier traduit un besoin physique. Quand les stocks s'épuisent, il faut importer, quel que soit le prix du moment. Le taux d'autosuffisance moyen de 55,4 % sur 2016-2025 implique que le Maroc doit combler environ la moitié de sa consommation par des achats extérieurs chaque année.

Le paradoxe est le suivant : juin, le mois où les cours mondiaux touchent leur plancher saisonnier, correspond à l'arrivée de la récolte nationale sur les marchés marocains. La demande d'importation est alors à son minimum. Quand le besoin d'importer culmine en mars-avril, les prix ont déjà remonté. Un opérateur qui achèterait en juin pour stocker jusqu'en mars aurait besoin de neuf mois de stockage. Ni l'infrastructure portuaire (150 000 tonnes de silos SOSIPO pour 4 à 6 Mt annuelles) ni le coût financier d'une telle immobilisation de capital sur neuf mois ne le permettent.

L'impact de la sécheresse sur les importations d'urgence

Le mécanisme qui relie sécheresse et importation est rapide. Dès que les données pluviométriques de janvier-février signalent un déficit, le gouvernement révisé ses prévisions de récolte à la baisse et ouvre en urgence des procédures d'importation. La campagne 2021/2022 n'a produit que 34 Mqx de blé tendre, contre 103 Mqx en 2017/2018 (ONICL, 2023). Celle de 2023/2024, avec 31 Mqx, a déclenché des importations massives dès le premier trimestre 2024 (Médias24, 2024).

Ces importations d'urgence interviennent en mars-avril, quand les cours sont au plus haut de leur cycle saisonnier. Les acheteurs connaissent le calendrier des prix ; ils n'ont simplement pas d'alternative. Approvisionner les minoteries sans rupture de stock prime sur toute autre considération. La décision d'achat se prend en février, pour une livraison en mars-avril après quinze à vingt-trois jours de transit.

Le changement climatique aggrave la fréquence de ces épisodes. Sept sécheresses sévères en vingt ans, six campagnes consécutives de déficit depuis 2018 (Policy Center for the New South, 2024). La probabilité d'une campagne déficitaire nécessitant des importations d'urgence augmente au fil des décennies. La planification des achats autour du seul critère du prix devient de moins en moins réaliste.

La dégradation physique du blé stocké

Stocker du blé pendant plusieurs mois dans un climat chaud comporte des risques mesurables. En zone semi-aride, le grain se dégrade si les conditions de stockage ne sont pas maîtrisées. La teneur en eau est le paramètre critique : au-dessus de 13-14 % à des températures supérieures à 35 °C, les risques de fermentation et de moisissure augmentent fortement.

Les insectes constituent le premier facteur de perte : charançon du blé (*Sitophilus granarius*), capucin des grains (*Rhyzopertha dominica*), teigne des céréales (*Sitotroga cerealella*). Sans fumigation régulière, la FAO estime les pertes à 10 à 20 % de la masse en trois à six mois (FAO, s.d.). Les champignons (moisissures productrices d'aflatoxines et de déoxynivalénol) dégradent en parallèle les protéines de gluten et réduisent la valeur boulangère de la farine.

L'infrastructure de stockage ne permet pas de gérer ces risques à l'échelle nationale. Les silos SOSIPO totalisent 150 000 tonnes pour des importations annuelles de 4 à 6 millions de tonnes. Un stockage de plusieurs mois en conditions contrôlées (température et hygrométrie régulées) exigerait un investissement de plusieurs milliards de dirhams, qui n'existe pas.

Économiquement, le calcul est clair. Un opérateur qui achète 100 000 tonnes en juin à 180 €/t et les stocke neuf mois sans infrastructure adaptée perd environ 15 % de la masse par dégradation biologique, soit 15 000 tonnes valorisées à 2,7 millions d'euros. En ajoutant les coûts de fumigation (1 à 3 €/t selon les standards industriels ; Ecolab, 2024) et d'assurance des stocks (0,2 à 0,5 % de la valeur assurée par an ; Swiss Re, 2023), le total dépasse l'économie réalisable en achetant au creux saisonnier.

La saisonnalité de la demande : le Ramadan et les fêtes religieuses

La demande de farine n'est pas constante sur l'année. Elle augmente pendant le Ramadan, dont la date recule de onze jours chaque année dans le calendrier grégorien. L'Enquête nationale sur la consommation et les dépenses des ménages du Haut-Commissariat au Plan chiffre la hausse des dépenses alimentaires des ménages à 18,2 % pendant le Ramadan (HCP, 2014). La consommation de pain et de viennoiseries augmente sensiblement.

Les boulangeries anticipent ce pic en commandant davantage de farine trois à six semaines avant le début du Ramadan. Quand celui-ci tombe en mars ou avril, comme en 2023 et 2024, la demande supplémentaire se superpose à la soudure et amplifie les pics d'importation visibles dans les données. Quand il tombe en décembre-janvier, les stocks sont encore suffisants et l'effet sur les importations reste modéré.

L'Aïd el-Adha, dont la date est aussi lunaire, génère un pic supplémentaire de consommation de pain et de semoule. Ces deux fêtes mobiles créent une demande additionnelle dont le positionnement varie d'année en année. Un importateur qui planifierait ses achats uniquement sur la saisonnalité des prix ignorerait que la demande de farine peut s'accroître n'importe quel mois selon le calendrier lunaire. En 2030, le Ramadan tombera en janvier ; en 2035, en novembre.

Les contraintes logistiques portuaires

Les contraintes physiques des ports, décrites dans la section 2.4, ont une conséquence directe sur le calendrier d'importation : concentrer l'ensemble des achats annuels sur un ou deux mois est physiquement impossible. La cadence de déchargement, la capacité des silos de transit et la connexion avec l'arrière-pays imposent un étalement des arrivées. Le transit maritime de quinze à vingt-trois jours ajoute une inertie : toute décision d'achat ne se matérialise que deux à trois semaines plus tard. Cette inertie exclut toute réactivité instantanée aux fluctuations de prix et renforce la nécessité d'un approvisionnement régulier.

2.6 Les facteurs économiques expliquant le calendrier d'importation

Aux contraintes physiques s'ajoutent des facteurs économiques et réglementaires qui façonnent le profil temporel des importations.

Les fenêtres ONICL et les primes forfaitaires

L'ONICL publie des circulaires qui ouvrent des périodes d'importation subventionnée, pendant lesquelles une prime forfaitaire est versée aux importateurs (cf. section 2.3). Ces circulaires ne sont pas prévisibles longtemps à l'avance : elles dépendent de l'état des stocks, de la conjoncture internationale et de la production attendue. Leur publication déclenche une accélération des achats, les opérateurs cherchant à profiter de la prime avant sa révision ou sa suppression.

Ce fonctionnement par fenêtres crée un profil d'importation en dents de scie. Les mois qui suivent l'ouverture d'une circulaire enregistrent des volumes élevés, les mois sans prime voient les importations reculer. L'absence de visibilité à long terme empêche les opérateurs de planifier leurs achats sur l'ensemble de la campagne. Au lieu d'optimiser le calendrier en fonction de la saisonnalité des prix, ils sont contraints de réagir au fil des annonces réglementaires.

La Caisse de compensation et le prix réglementé

Le système de subvention découple le prix payé par le consommateur marocain du prix international. L'importateur n'optimise pas son profit en fonction d'un prix de revente libre, mais en fonction du cadre réglementé : maximiser l'écart entre son coût d'achat et le prix cible entrée moulin, net de la prime ONICL. Cette logique réduit l'incitation à anticiper les mouvements de prix. Qu'il achète en juin à 190 €/t ou en mars à 220 €/t, l'importateur est compensé dans les deux cas si une prime est en vigueur. Le signal-prix qui, sur un marché libre, pousserait les acheteurs à concentrer leurs achats pendant les creux saisonniers, se trouve atténué.

La contrainte budgétaire joue en sens inverse. Les fenêtres subventionnées ne peuvent pas rester ouvertes en permanence, chaque tonne importée avec prime ayant un coût pour les finances publiques. L'ONICL arbitre entre sécurité alimentaire (importer suffisamment) et discipline budgétaire (ne pas dépasser l'enveloppe de la Caisse de compensation). Cet arbitrage produit des périodes d'ouverture et de fermeture qui structurent le rythme des importations indépendamment du marché.

La trésorerie limitée des minoteries

Les 128 minoteries industrielles agréées sont pour la plupart des PME familiales au capital limité. Leur cycle d'exploitation de 45 à 75 jours ne leur permet pas de financer plus de deux à trois mois de stock. Un achat massif de six mois de besoins en juin mobiliserait une trésorerie que la plupart ne possèdent pas.

La fragmentation du secteur en 128 opérateurs indépendants produit un étalement naturel des importations. Chaque minoterie achète au rythme de ses besoins courants et de sa capacité de financement. La somme de ces décisions individuelles génère un flux régulier sur l'année, qui ne reflète pas une stratégie collective d'optimisation mais l'addition de contraintes de trésorerie individuelles.

La gestion du risque géopolitique

Le choc de 2022 a rappelé la vulnérabilité du Maroc aux perturbations sur ses sources d'approvisionnement. L'invasion de l'Ukraine par la Russie en février 2022 a fait bondir les cours du blé tendre Rendu Rouen de 250 €/t en début de campagne à un pic de 437 €/t en mai 2022, soit une hausse de 75 % en quelques mois (La Dépêche – Le Petit Meunier, 2022). La Russie et l'Ukraine représentaient environ 24 % des importations céréalières marocaines avant le conflit (Fondation FARM, 2022).

Cet épisode a accéléré la diversification des origines. Le Maroc achète désormais du blé tendre en France, en Ukraine, aux États-Unis, en Argentine et en Australie. Cette diversification impose mécaniquement un étalement des calendriers d'achat, les récoltes se succédant au fil de l'année (récolte européenne en juillet, récolte argentine en décembre-janvier, récolte australienne en novembre-décembre). Les importateurs marocains pratiquent un lissage par achats fractionnés sur douze mois, stratégie qui réduit l'exposition au risque de prix et au risque d'approvisionnement, au prix d'un renoncement à l'optimisation saisonnière. Cette diversification produit également un effet prix : la convergence des volumes argentins (récolte décembre-janvier) et australiens (récolte novembre-décembre) vers le marché marocain exerce une pression baissière sur les prix déchargés à Casablanca en début d'année civile, documentée notamment par FranceAgriMer (2025). Les importateurs marocains bénéficient ainsi de conditions d'achat temporairement plus favorables lors des récoltes de l'hémisphère sud.

L'ensemble des facteurs physiques et économiques examinés dans ce chapitre aboutit à un constat : le calendrier d'importation du blé tendre au Maroc résulte de contraintes qui laissent peu de marge aux opérateurs. Le calendrier agricole impose la soudure printanière. La sécheresse déclenche des achats d'urgence aux pires moments du cycle de prix. Le Ramadan déplace la demande de manière imprévisible. Les ports plafonnent les flux mensuels. Les fenêtres réglementaires dictent les périodes d'achat subventionné. La trésorerie des minoteries interdit le stockage long. Le risque géopolitique pousse à l'étalement.

C'est dans ce contexte que se pose la question centrale de ce mémoire : un outil de prévision du rendement agricole, comme le modèle CGMS-Maroc, peut-il dégager une marge d'optimisation sur le calendrier d'achat ? Le chapitre suivant présente la méthodologie développée pour y répondre.

3. Le système CGMS-Maroc

La revue de littérature a situé CGMS-Maroc parmi les grands systèmes de prévision des rendements céréaliers. Le présent chapitre en décrit le fonctionnement interne — des données qu’il ingère aux prévisions qu’il produit. Une troisième section examine, sur un plan théorique, ce que le signal de prévision pourrait apporter à un importateur de blé tendre et les contraintes qui en limitent l’exploitation directe.

3.1 Origine et cadre institutionnel

CGMS-Maroc (*Crop Growth Monitoring System*) prédit les rendements céréaliers à l’échelle nationale à partir de données agrométéorologiques collectées en continu. Le système trouve ses racines dans les travaux menés à l’INRA au début des années 2000, qui cherchaient à modéliser la relation entre le climat et les rendements des céréales pluviales (Balaghi et al., 2008 ; Balaghi et al., 2012). Son architecture s’inspire du CGMS européen développé par le JRC pour le programme MARS (Supit et al., 1994), mais les deux systèmes divergent rapidement : le bour marocain, la variabilité semi-aride et la fragmentation des exploitations n’ont pas grand-chose à voir avec les grandes plaines d’Europe du Nord (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024).

C’est le projet E-AGRI, lancé en 2011, qui lui a donné sa forme opérationnelle. Il a réuni autour de l’INRA quatre partenaires européens — le VITO, le JRC, l’institut Alterra de Wageningen et l’Université de Milan — et posé les bases d’un système fonctionnel (Confalonieri et al., 2013 ; De Wit et al., 2013). ACCAGRIMAG a pris le relais en 2014, avec un financement du Fonds français pour l’environnement mondial orienté vers les émissions agricoles au Maghreb. Des travaux ultérieurs ont progressivement enrichi le dispositif, notamment en combinant télédétection et apprentissage automatique pour affiner les prévisions de rendement (Benabdelouahab et al., 2016 ; Meroni et al., 2016 ; Bouras et al., 2021).

Le système repose sur quatre partenaires institutionnels aux rôles distincts. La Direction Générale de la Météorologie (DGM) fournit les données de ses 44 stations synoptiques et assure l’alimentation météorologique en temps quasi réel. La Direction de la Stratégie et des Statistiques (DSS) du Ministère de l’Agriculture apporte les statistiques de terrain — superficies cultivées, rendements observés par province — sans lesquelles l’étalonnage et la validation des modèles seraient impossibles. Le développement de l’interface utilisateur et des modules d’intelligence artificielle revient à l’Institut Agronomique et Vétérinaire (IAV) Hassan II, tandis que l’INRA, institution initiatrice du projet, en assure la coordination scientifique (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024). Ce montage a bénéficié du soutien de la Coopération technique belge, de l’Agence française de développement, de l’Union européenne (programmes-cadres de recherche) et de la Banque mondiale.

Le système est opérationnel depuis près de deux décennies sous différentes versions. Il reste à ce jour le seul outil national de prévision agrométéorologique des rendements céréaliers au Maroc.

3.2 Architecture fonctionnelle et processus de prévision

CGMS-Maroc s'organise en deux blocs. Le premier collecte et spatialement les données météorologiques. Le second y intègre les données satellitaires, les statistiques agricoles de terrain et les modèles de prévision. Une interface web restitue les résultats aux utilisateurs (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024).

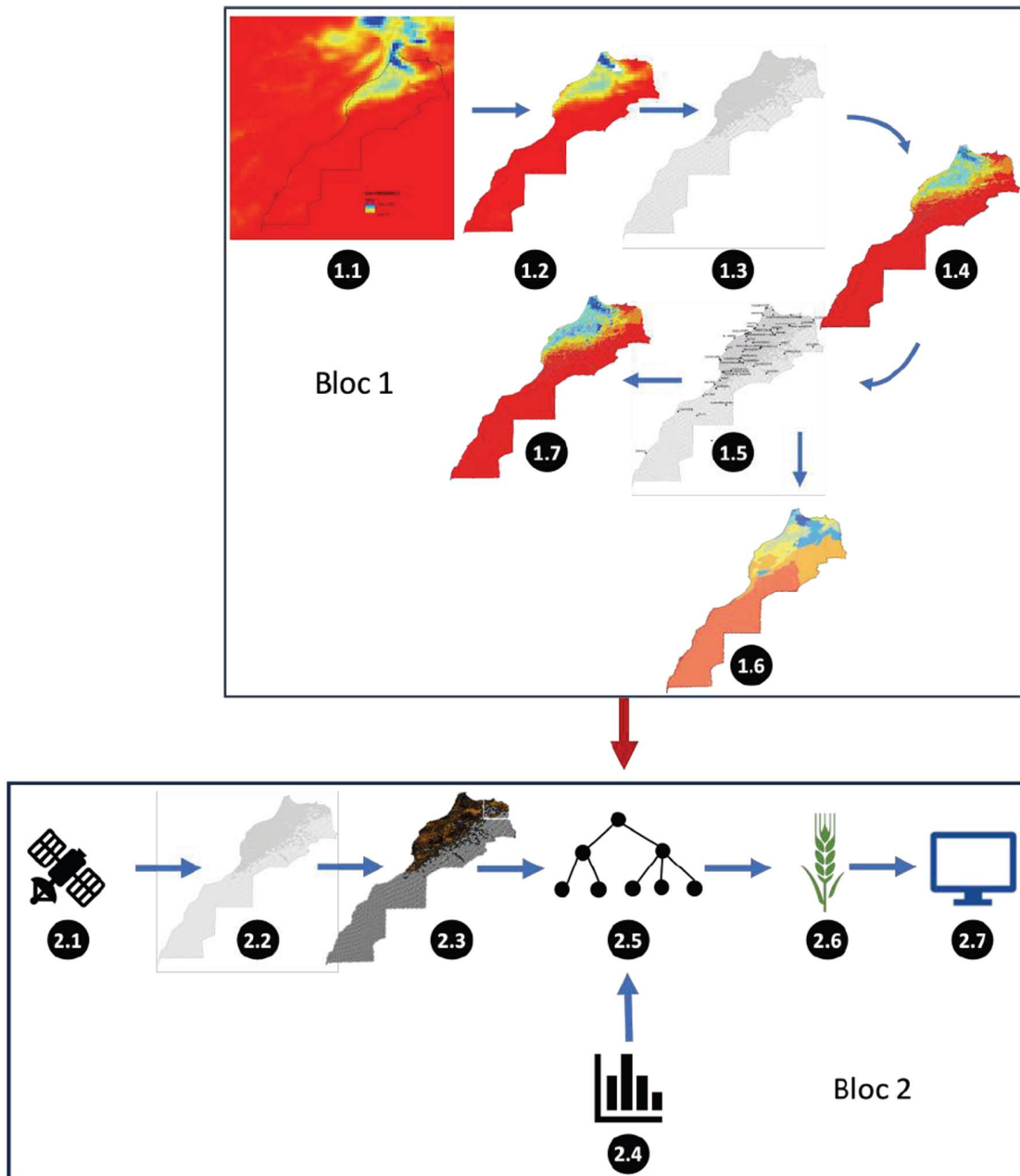


Figure 2 : Schéma synoptique du fonctionnement de CGMS-Maroc

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.17. INRA-Maroc (Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc). Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

3.2.1 Collecte et spatialisation des données météorologiques

Le système construit un jeu de données météorologiques quotidiennes couvrant l'ensemble du Maroc depuis 1981, à partir de deux sources aux limites et aux atouts symétriquement inversés.

Les 44 stations synoptiques de la DGM mesurent quotidiennement la pluviométrie, les températures (minimales et maximales), la vitesse du vent, la durée d'insolation et l'humidité. Le système en dérive l'évapotranspiration de référence (ET_0) par la méthode de Penman et estime le rayonnement global à partir de la durée d'ensoleillement. Les données brutes sont soumises à un contrôle qualité conforme aux normes de l'Organisation Météorologique Mondiale. Ces mesures sont précises mais ponctuelles. La densité du réseau marocain est à la cinq fois inférieure aux recommandations de l'OMM (Organisation Météorologique Mondiale) pour une couverture agricole optimale (Alaouri et al., 2017) ; l'écart est particulièrement marqué dans les régions montagneuses et les zones arides de l'est et du sud, où le réseau est éparé et où les forts gradients locaux de précipitations liés à la topographie ne sont pas correctement représentés par simple interpolation.

Les réanalyses ERA5 (Fifth generation of ECMWF global atmospheric reanalyses) du Centre européen pour les prévisions météorologiques à moyen terme (CEPMMT) compensent cette lacune. ERA5 fournit une estimation spatialement continue des précipitations et des températures à une résolution d'environ 31 km, sur l'ensemble du globe et depuis 1981, collectée automatiquement via le *Climate Data Store* de Copernicus. Plusieurs études en ont confirmé la fiabilité pour le Maroc, tout en identifiant des biais dans les zones de relief complexe et lors des années exceptionnellement pluvieuses : ERA5 tend à sous-estimer les fortes précipitations dans les régions septentrionales et à les surestimer dans les zones arides (Beck et al., 2017 ; Salih et al., 2022 ; Benkirane et al., 2023).

Pour les températures, la situation est différente. Le champ thermique, lié à des facteurs géographiques stables (altitude, latitude, distance à la mer), se prête bien à l'interpolation même avec un réseau peu dense. L'apport d'ERA5 au système concerne donc avant tout la pluviométrie (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024).

Le système harmonise ces deux sources sur une grille de référence de 16 819 mailles : 4,5 km de résolution en zones agricoles, 9 km ailleurs — un compromis entre finesse de l'interpolation et temps de calcul. L'interpolation utilise une pondération inverse à la distance, ajustée par l'altitude (modèle numérique de terrain GTOPO30 (Global 30 Arc-Second Elevation Data Set)), la distance à la mer et les barrières climatiques formées par les grandes chaînes montagneuses, définies à partir des travaux de Knippertz et al. (2003). Pour les températures (minimales et maximales), cette interpolation suffit à produire des champs spatialement cohérents. Pour les précipitations, dont la variabilité spatiale est plus complexe, elle est complétée par une correction appliquée aux données ERA5 via un modèle Random Forest, décrit ci-après.

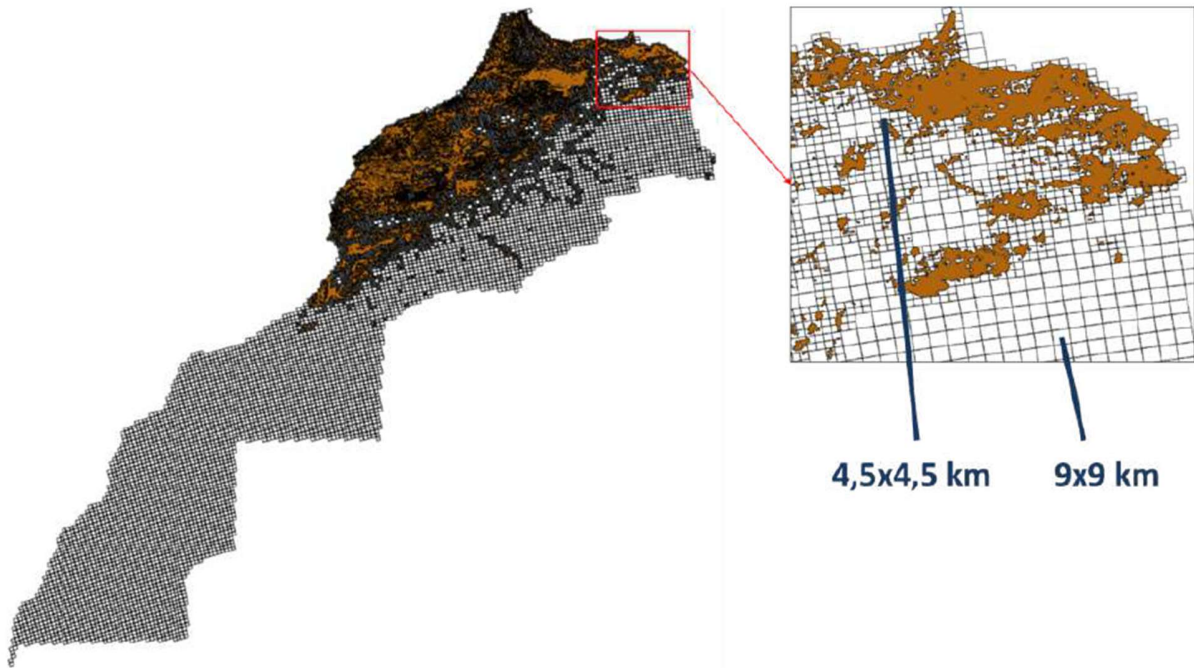


Figure 3 : Grille de référence de CGMS-Maroc (terres agricoles en marron)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.22. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Les données ERA5 interpolées font ensuite l'objet d'une correction locale. Un algorithme de forêts aléatoires, entraîné sur les normales climatiques 1981-2010, ajuste les précipitations maille par maille en tenant compte de la zone climatique (indice de De Martonne), de la saison et des caractéristiques géographiques locales. Les deux variables les plus influentes dans cet algorithme sont l'altitude et le rapport entre les normales de précipitations observées et celles estimées par ERA5, qui contribuent ensemble à plus de 90 % de la précision des prédictions mensuelles. Des analyses comparatives menées sur la période 2016-2021 entre les données ERA5 corrigées et les observations des 44 stations montrent des coefficients de détermination (R^2) systématiquement supérieurs à 0,79 pour les cumuls pluviométriques annuels.

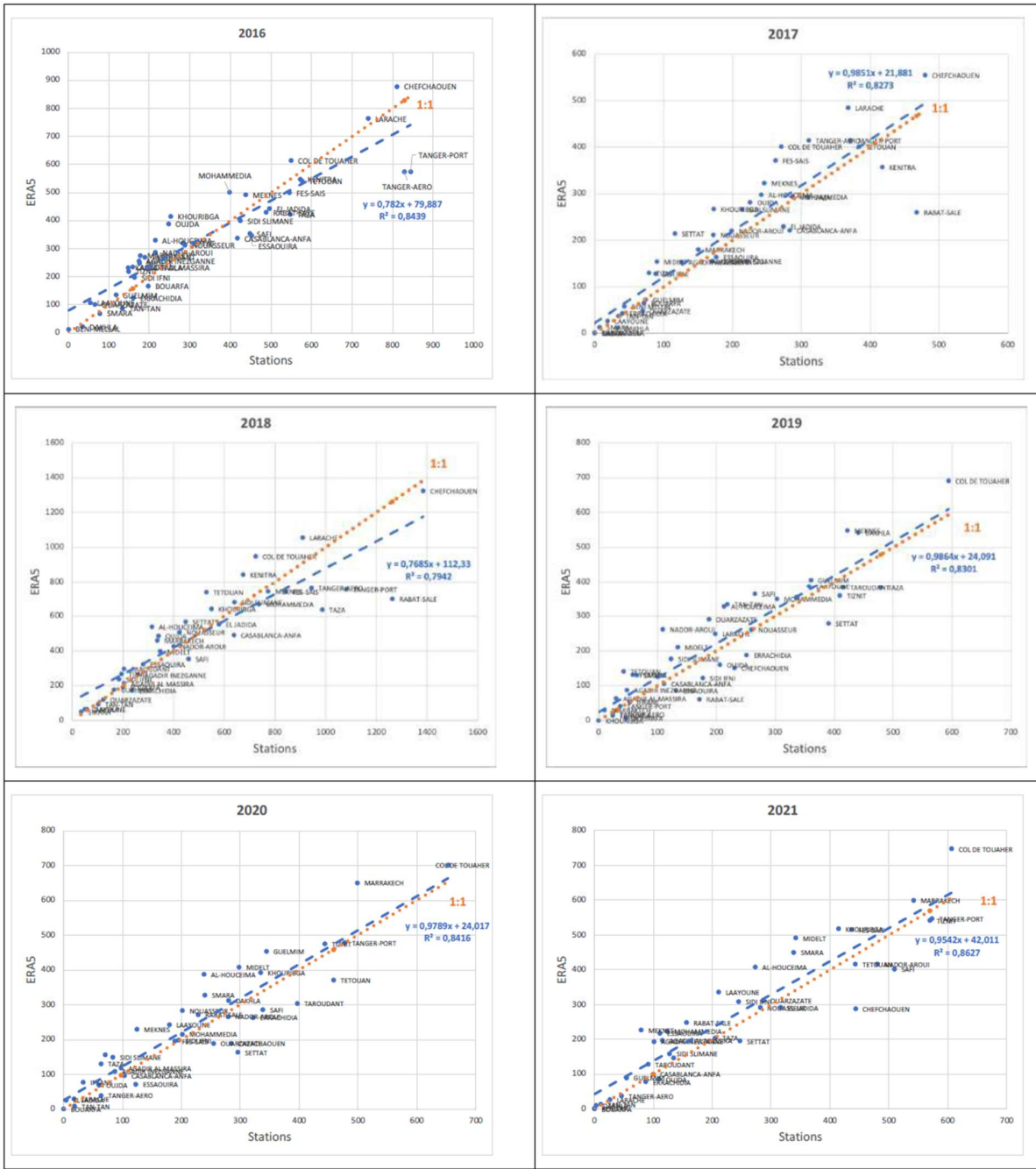


Figure 4 : Corrélation entre données ERA5 corrigées et stations synoptiques DGM ($R^2 > 0,79$; 2016-2021)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.26. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

3.2.2 Données satellitaires et masque céréaliier

Le second bloc intègre trois indices satellitaires collectés via la plateforme Copernicus.

Le NDVI (indice de végétation par différence normalisée), calculé à partir des bandes rouge et proche infrarouge, renseigne sur la densité et la vigueur de la végétation : une valeur proche de +1 traduit une couverture dense et active, une valeur proche de 0 un sol nu ou une végétation sénescente. Le LAI (Leaf Area Index) (indice de surface foliaire) mesure la superficie totale des feuilles par unité de surface au sol — il varie de 0 (sol nu) à plus de 10 (forêt dense) — et renseigne sur le potentiel d'interception du rayonnement solaire par la canopée. Le SWI (*Soil Water Index*), dérivé de capteurs micro-ondes (Sentinel-1, ASCAT (Advanced SCATterometer)), estime le contenu en eau de la couche superficielle du sol (jusqu'à 5 cm de profondeur) à fréquence quotidienne, avec une résolution d'environ 12,5 km au Maroc. Cette haute fréquence temporelle est précieuse pour détecter rapidement un épisode de sécheresse ou l'impact d'un événement pluvieux sur le bilan hydrique des sols.

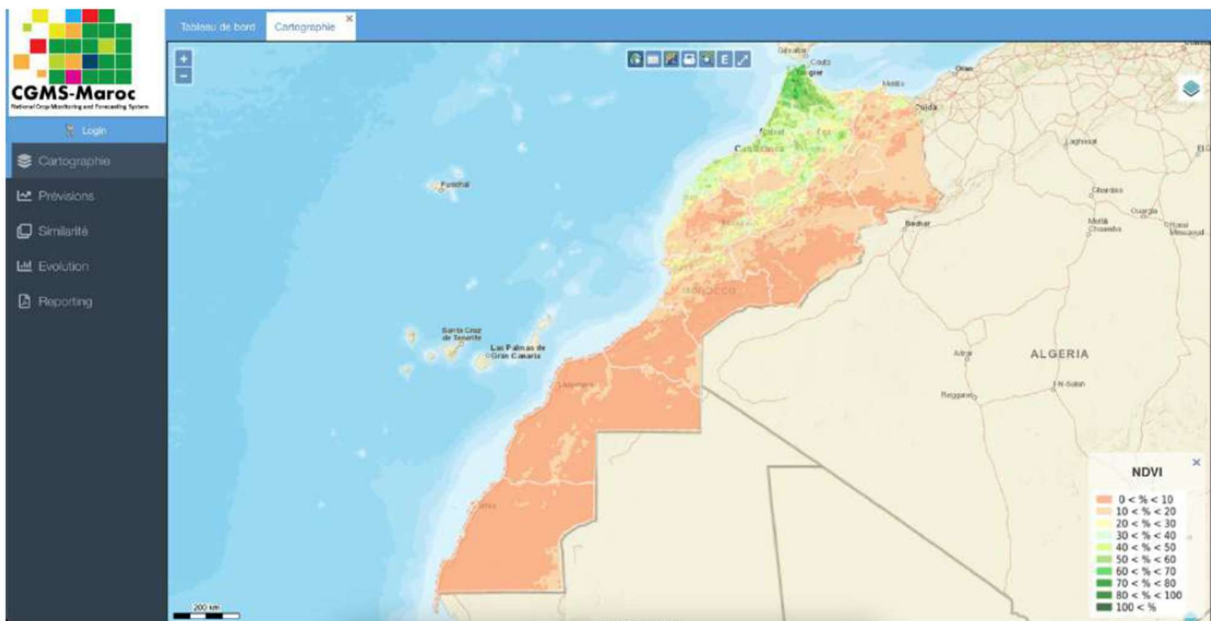


Figure 5 : Cartographie du NDVI moyen (janvier-mars 2024)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.45. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

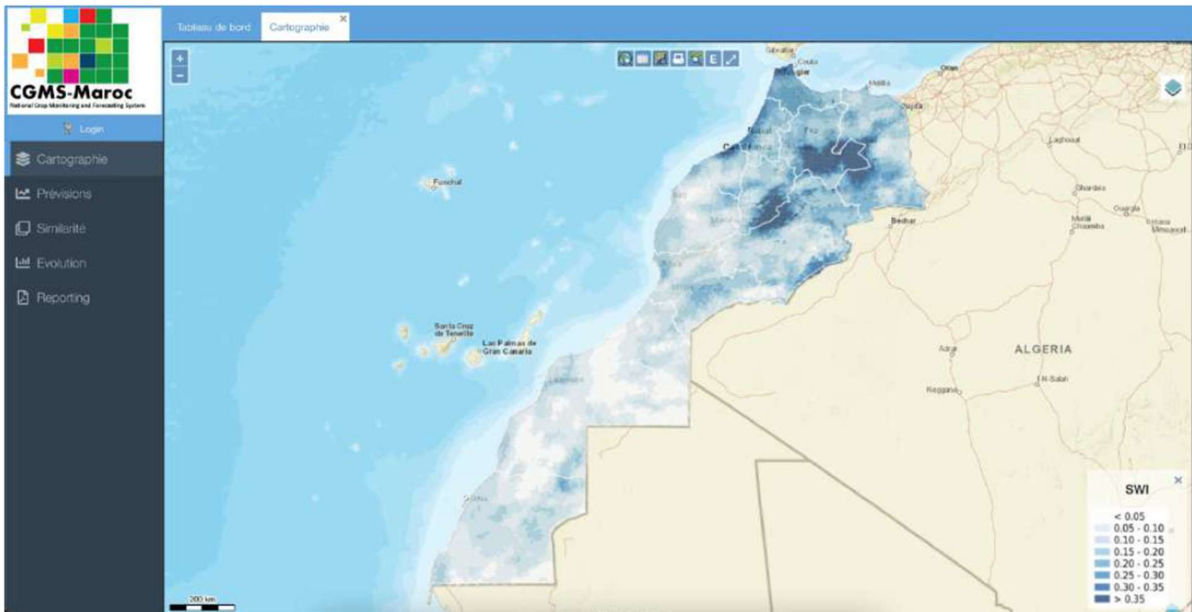


Figure 6 : Indice moyen d'humidité des sols (SWI)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.47. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Ces indices sont harmonisés sur la grille de 4,5 km par moyenne pondérée des pixels recouvrant chaque maille. Pour le SWI, dont les pixels (12,5 km) dépassent la taille des mailles agricoles, cette pondération est d'autant plus nécessaire pour obtenir une valeur représentative à l'échelle locale.

Le masque des cultures céréalières délimite les zones où blé et orge sont cultivés. Il a été construit en combinant une classification d'images SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) 5 à haute résolution (2,5 m) et une carte des terres agricoles (GICropV2) produite par le VITO dans le cadre d'E-AGRI (2017). L'hypothèse sous-jacente est que les terres agricoles pluviales correspondent aux zones céréalières. Au Maroc, les céréales occupent 59 % de la superficie agricole utile et la quasi-totalité des terres pluviales ; le reste se répartit entre les plantations fruitières (16 %, dont l'olivier), les jachères (12 %) et les légumineuses (3 %) (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024). L'hypothèse tient dans les grandes plaines céréalières du Gharb, de la Chaouia ou du Saïs, mais perd en précision dans les régions où l'arboriculture fruitière occupe une part importante des terres pluviales.

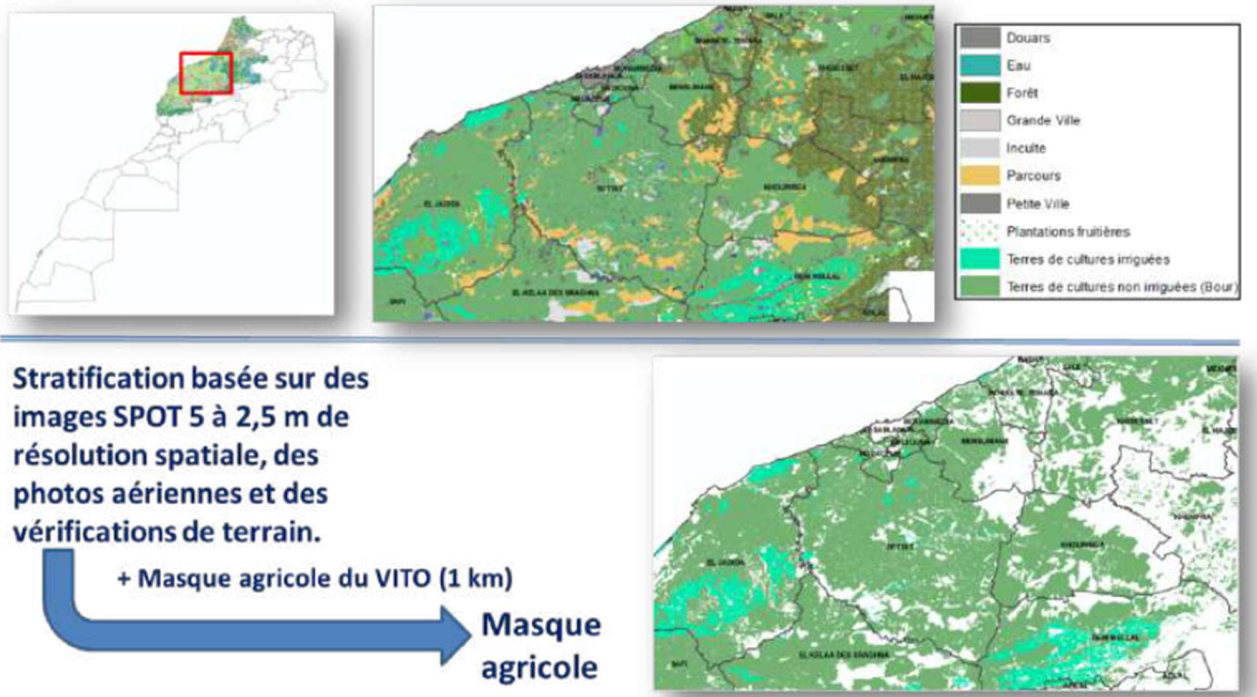


Figure 7 : Masque agricole du Maroc (zones céréalières pluviales)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.49. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

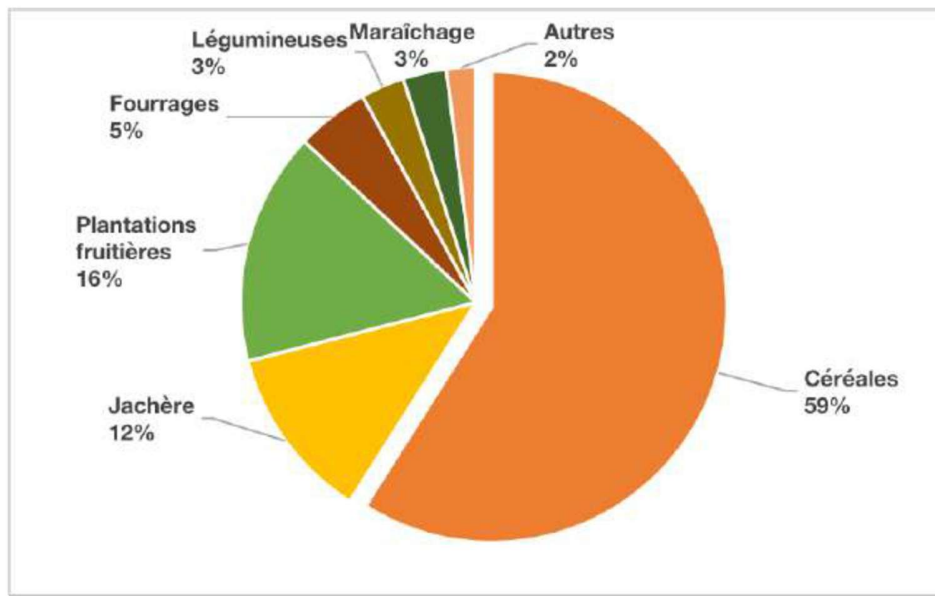


Figure 8 : Occupation de la superficie agricole utile au Maroc

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.50. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

En ne conservant que les données filtrées par ce masque, le système écarte les perturbations spectrales d'autres occupations du sol (végétation naturelle, plans d'eau, bâti) et améliore les corrélations entre indices et rendements. Le masque est cependant statique — il ne change pas d'une campagne à l'autre —, ce qui constitue une limite reconnue du système.

3.2.3 Modèles de prévision des rendements

CGMS-Maroc prévoit les rendements du blé dur, du blé tendre et de l'orge à l'échelle provinciale en combinant trois approches qui n'interrogent pas les données de la même façon. Avant de les décrire, un choix méthodologique commun aux trois doit être précisé : le calage des variables explicatives sur le cycle phénologique des céréales.

Le cycle phénologique comme fenêtre d'extraction

Les variables météorologiques et satellitaires ne sont pas calculées sur l'ensemble de l'année, mais uniquement sur les périodes correspondant aux stades de développement des céréales. Faute de données phénologiques exhaustives à l'échelle nationale, ces stades sont estimés par télédétection, selon une méthode développée par la NASA (National Aeronautics and Space Administration) (Li et al., 2014). L'approche exploite les séries temporelles d'indices de végétation MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) pour construire un profil théorique de l'EVI2 (Enhanced Vegetation Index 2) (indice de végétation amélioré à deux bandes) par pixel. Les dates de levée, mi-croissance, maturité, pic de développement, sénescence et récolte sont déterminées par des seuils de franchissement sur ce profil (15 %, 50 % ou 90 % de l'amplitude). Six périodes phénologiques (P0 à P5) sont ainsi définies, de la levée à la récolte.

Stade	Description	Calcul
Greenup	Levée	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la première fois 15% de l'amplitude du segment EVI2
MidGreenup	50% du pic de développement de la culture	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la première fois 50% de l'amplitude du segment EVI2
Maturity	Maturité	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la première fois 90% de l'amplitude du segment EVI2
Peak	Pic de développement de la culture	Date à laquelle EVI2 a atteint le maximum de l'amplitude du segment EVI2
Senescence	Sénescence	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la dernière fois 90% de l'amplitude du segment EVI2
MidGreendown	50% du dépérissement de la culture	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la dernière fois 50% de l'amplitude du segment EVI2
Dormancy	Récolte	Date à laquelle EVI2 a franchi pour la dernière fois 15% de l'amplitude du segment EVI2

Figure 9 : Estimation des stades phénologiques à partir du profil EVI2

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.57. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

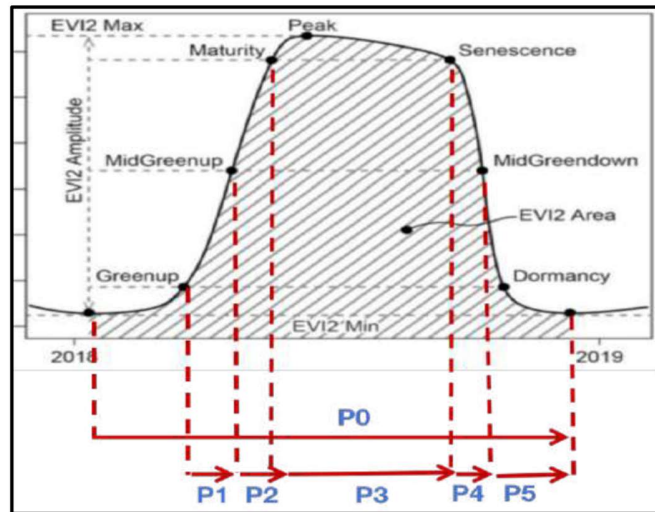


Figure 10 : Profil théorique de l'EV12 et stades phénologiques (P0-P5)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.58. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Ce calage améliore la prédiction. Un stress hydrique en début de tallage n'a pas le même impact sur le rendement qu'un déficit survenant au remplissage du grain ; les modèles exploitent cette granularité temporelle pour sélectionner les prédicteurs les plus pertinents à chaque phase.

L'analyse de similarité

L'analyse de similarité compare le profil agrométéorologique de la campagne en cours — typiquement la pluviométrie cumulée par décade — avec ceux des campagnes passées. Pour chaque campagne historique, la distance euclidienne moyenne est calculée entre les valeurs cumulées de l'indicateur choisi sur l'ensemble des décades de la période d'étude. Les campagnes sont classées par distance croissante, la plus proche étant considérée comme la plus similaire. Les rendements observés lors de ces années analogues servent d'estimation directe pour la campagne en cours (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024 ; Balaghi et al., 2012a).

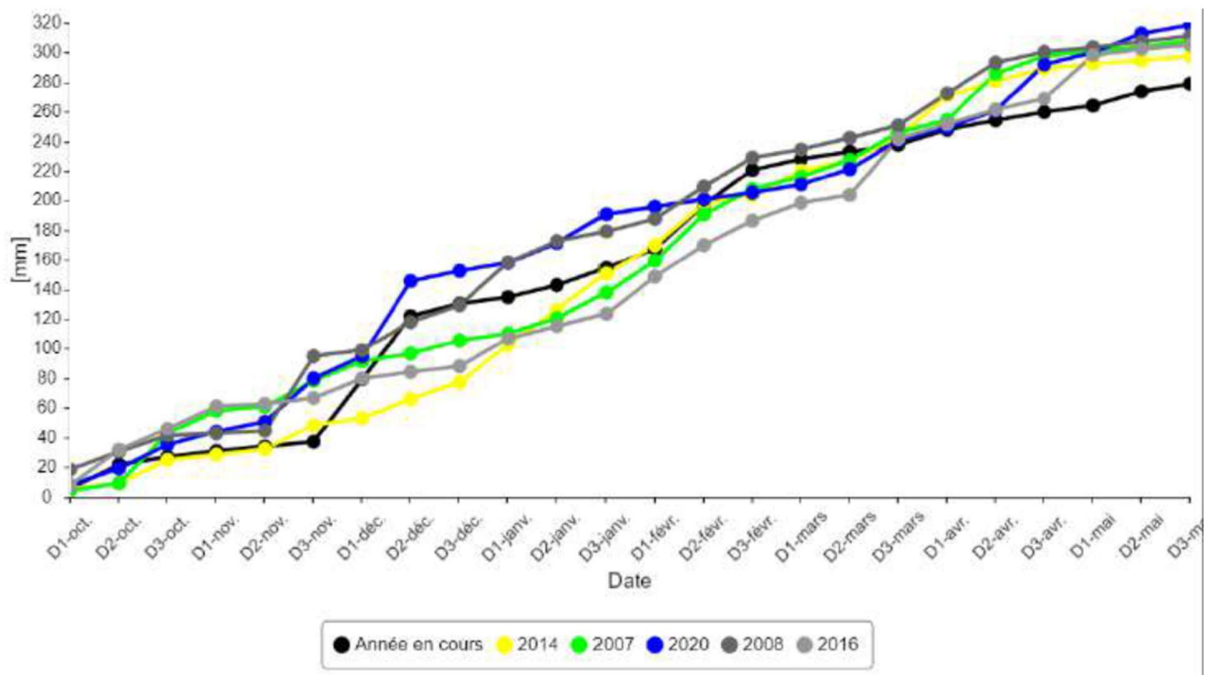


Figure 11 : Analyse de similarité sur la base de la pluviométrie cumulée entre le 01/10/2013 et le 15/04/2014, pour la province de Benslimane

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.56. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Un problème se pose lorsque l'année analogue identifiée est ancienne. Les rendements céréaliers pluviaux au Maroc ont progressé par paliers d'environ 4 quintaux par hectare pour les blés entre la période 2001-2010 et la période 2011-2022, sous l'effet du Plan Maroc Vert. Le système prévoit donc un ajustement des rendements de l'année analogue pour intégrer ce progrès technologique. Lorsque l'année analogue appartient à la même période que la campagne en cours — par exemple 2013-2014 pour estimer 2022-2023 —, aucun ajustement n'est nécessaire.

La méthode est intuitive et ne nécessite aucun modèle mathématique. Elle repose toutefois sur un postulat : des conditions climatiques proches produisent des rendements comparables. Or deux campagnes peuvent afficher des cumuls pluviométriques voisins avec des distributions temporelles très différentes — une concentration des pluies en début de cycle ne produit pas le même effet qu'une répartition régulière sur la saison. L'analyse ne capte pas non plus les interactions entre variables (pluviométrie × température, par exemple). Et si la campagne en cours est plus sèche ou plus humide que toute campagne antérieure, la méthode n'a plus de référence sur laquelle s'appuyer.

L'analyse peut être conduite sur d'autres indicateurs que la pluviométrie (SWI, températures, NDVI, LAI), mais le NDVI est en pratique l'indicateur de référence pour cet exercice. Contrairement à la pluviométrie ou aux températures, il ne mesure pas l'effet d'un paramètre isolé : il traduit l'état réel de la végétation, qui reflète lui-même l'action combinée de tous les facteurs de la campagne. Les

interactions entre variables y sont donc intégrées de fait. Cela dit, les campagnes identifiées comme analogues ne sont pas les mêmes selon l'indicateur retenu, et l'année la plus proche climatiquement n'est pas toujours la plus proche agronomiquement. Le choix reste du ressort de l'analyste.

Les régressions linéaires multiples

Les régressions linéaires multiples (MLR) procèdent autrement. Pour chaque province et chaque céréale, un modèle statistique relie les rendements historiques observés à des indices agrégés issus des données météorologiques (précipitations ERA5, températures minimales et maximales, ET_0) et satellitaires (NDVI, LAI, SWI), calculés sur les fenêtres phénologiques décrites ci-dessus. La construction de chaque modèle provincial exige au minimum huit années de données de rendement observé.

Utilisée initialement lors des études de faisabilité, cette approche a depuis intégré un algorithme d'apprentissage automatique pour la sélection des variables. La procédure retient au plus quatre variables, via une technique de *k-folds* à cinq partitions : chaque partition exclut 20 % des données et entraîne le modèle sur les 80 % restants. Une sélection pas à pas (*stepwise*) est appliquée sur chaque partition. Les variables retenues sont celles issues de la partition produisant le RMSE (Root Mean Square Error) le plus faible, estimé par validation croisée *leave-one-out*. Ce modèle génère ensuite la prévision de la campagne en cours (Balaghi, Lahlou et Alaouri, 2024).

Les coefficients d'un modèle MLR sont directement interprétables : l'analyste identifie quelles variables pèsent le plus sur le rendement dans une province donnée. L'analyse de l'importance des variables au niveau national révèle un classement récurrent : les précipitations ERA5 arrivent en tête, suivies du LAI, des températures (minimale et maximale), du NDVI et du SWI . Ce résultat confirme la prédominance du facteur hydrique dans la détermination des rendements céréaliers pluviaux au Maroc.

Le cadre linéaire impose une limite structurelle : lorsque l'effet d'une variable dépend du niveau d'une autre — par exemple, l'impact d'un déficit pluviométrique en mars aggravé par des températures élevées —, le modèle linéaire ne le capte pas.

Les forêts aléatoires

Les forêts aléatoires (Random Forests) sont conçues pour capter ce type d'interaction. En agrégeant un grand nombre d'arbres de décision entraînés sur des sous-échantillons aléatoires (Breiman, 2001), ces algorithmes détectent des dépendances non linéaires sans hypothèse préalable sur la forme de la relation. Chaque arbre est un enchaînement de règles conditionnelles (« Si la pluviométrie cumulée en P2 dépasse tel seuil ET la température maximale en P3 est inférieure à tel seuil, ALORS le rendement attendu est de X t/ha »). Pris isolément, un arbre est instable et sujet au surapprentissage ; c'est l'agrégation des prédictions de centaines d'arbres légèrement différents qui lisse ces instabilités.

Ces algorithmes utilisent les mêmes variables prédictives que les MLR mais n'exigent pas de sélection manuelle. Bouras et al. (2021) ont montré qu'à l'échelle provinciale au Maroc, les forêts aléatoires améliorent la précision des prévisions par rapport aux MLR, surtout lorsqu'elles croisent

données satellitaires et météorologiques. En revanche, l'interprétabilité diminue : là où les coefficients d'une régression permettent de dire « une augmentation de 10 mm de précipitations en mars est associée à un gain de X t/ha », la forêt aléatoire ne fournit pas d'équation explicite.

Performance comparée et complémentarité

La performance du système a été évaluée sur 22 campagnes (2000-2001 à 2021-2022). Les MLR affichent des R^2 en validation croisée compris entre 0,59 et 0,95 pour 80 % des provinces, avec une moyenne nationale de 0,79. Les forêts aléatoires atteignent des R^2 de 0,83 à 0,93, avec une moyenne de 0,88. Sur les campagnes ordinaires, l'apprentissage automatique surpasse donc les MLR.

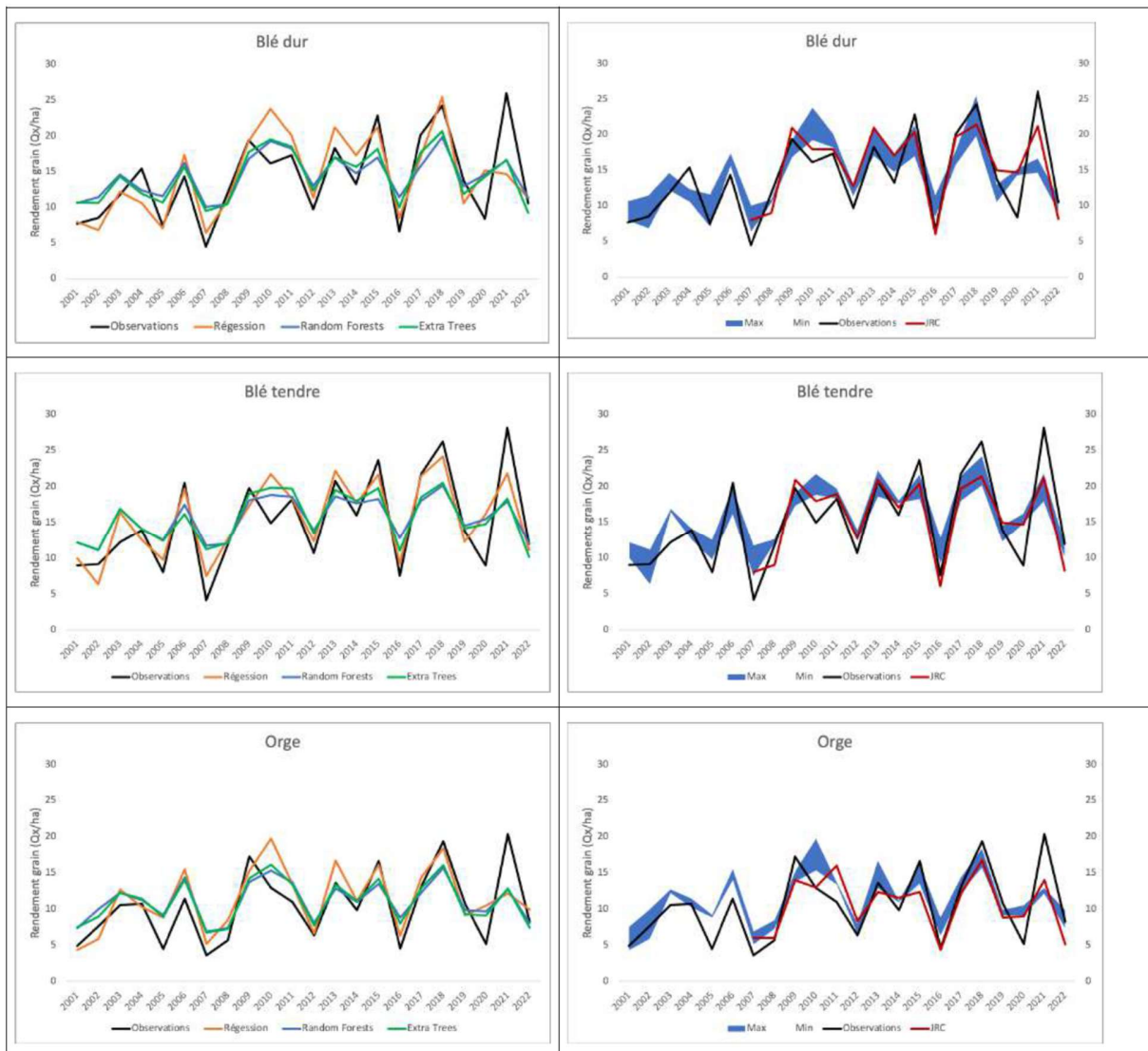


Figure 12 : Rendements céréaliers observés et prévus au niveau national (régressions, Random Forests), JRC : Centre commun de recherche de la Commission européenne ; min/max : valeurs extrêmes observées sur les 22 campagnes de référence (2000-2001 à 2021-2022)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.67. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Critère	Régression linéaire	Forêts aléatoires
Hypothèses	Relation linéaire entre variables prédictives et variable à prédire	Aucune hypothèse sur la forme de la relation
Non-linéarité	Ne peut modéliser que des relations linéaires	Peut capturer des relations non linéaires complexes
Nombre de variables	Adapté pour un nombre limité de variables prédictives pour éviter le surapprentissage	Peut gérer un très grand nombre de variables prédictives
Données aberrantes	Sensible aux valeurs aberrantes qui peuvent fausser le modèle	Robuste grâce à l'agrégation sur de nombreux arbres
Interprétabilité	Les coefficients sont facilement interprétables	Difficile d'interpréter l'importance des variables
Régularisation	Risque de surapprentissage élevé	Intrinsèquement régularisé, pas de surapprentissage
Implémentation	Algorithme simple à mettre en œuvre	Nécessite une importante puissance de calcul
Prédiction	Bonne performance sur des problèmes linéaires simples	Excellente performance sur une large gamme de problèmes

Figure 13 : Comparaison MLR vs forêts aléatoires

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.64. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

La hiérarchie s'inverse lors des années extrêmes. Lors de la campagne 2009-2010, exceptionnellement pluvieuse, et de la campagne 2020-2021, marquée par des précipitations moyennes mais bien réparties dans le temps, les deux systèmes — CGMS-Maroc comme celui du JRC européen — échouent à prévoir les rendements avec précision. L'explication tient vraisemblablement au manque de cas comparables dans la base d'apprentissage : les algorithmes généralisent mal au-delà des situations qu'ils ont rencontrées. Avec l'allongement des séries chronologiques, cette limite devrait s'atténuer. Les modèles linéaires, de leur côté, butent sur une contrainte structurelle lorsqu'il s'agit de rendre compte d'effets non linéaires, mais leur simplicité continue de faciliter le diagnostic agronomique au quotidien.

C'est la mise en parallèle de ces approches qui donne au système sa logique. En fournissant une gamme d'estimations plutôt qu'un chiffre unique, CGMS-Maroc délimite un intervalle de confiance, qui se resserre au fil de la campagne à mesure que les données s'accumulent.

Les prévisions sont d'abord calculées par province, puis agrégées au niveau national par pondération des superficies cultivées. De fin février à juin, le système les recalcule chaque nuit en intégrant les dernières données satellitaires ; les résultats sont consultables dès le lendemain matin.

Les modèles n'intègrent cependant ni les maladies, ni les ravageurs, ni les pratiques culturales locales, ni les dates de semis. Une partie de l'erreur résiduelle provient aussi d'incohérences dans les statistiques céréalières utilisées pour la calibration. L'analyste conserve un rôle d'arbitre entre les sorties algorithmiques et les conditions réellement observées sur le terrain ; c'est cette expertise, affinée campagne après campagne, qui permet de juger la plausibilité des prévisions avant leur diffusion.

3.2.4 Interface utilisateur et diffusion des résultats

Les résultats de CGMS-Maroc sont accessibles via l'interface web www.cgms-maroc.ma, développée en HTML5 (HyperText Markup Language version 5), JavaScript et CSS3 (Cascading Style Sheets 3), qui a remplacé l'ancienne interface Flash du projet E-AGRI (Allard et al., 2013).

L'interface s'organise en sept sections :

- Section 1 — Sélection administrative : un menu déroulant fixe le niveau géographique d'analyse (national ou régional) et dynamisera les visualisations des autres sections.
- Section 2 — Tableau de bord : des graphiques à jauges présentent les anomalies de la campagne en cours par rapport à la moyenne décennale, accompagnés de données de campagnes passées similaires pour faciliter l'interprétation contextuelle.
- Section 3 — Indicateurs de pluie et de température : les cumuls pluviométriques et les températures moyennes de la campagne en cours sont comparés aux normales décennales.
- Section 4 — Sélecteur d'indicateurs : un menu déroulant permet de choisir parmi les précipitations, températures, NDVI ou SWI l'indicateur à visualiser sur la carte et les graphiques.
- Section 5 — Cartographie : une carte interactive présente les écarts de l'indicateur sélectionné au niveau communal pour la campagne en cours par rapport aux dix dernières années.
- Section 6 — Analyse de similarité : des graphiques temporels comparent le déroulement de la campagne aux données historiques des années antérieures les plus similaires du point de vue pluviométrique.
- Section 7 — Administration : gestion des comptes utilisateurs, attribution des rôles et droits d'accès, journaux d'activités.

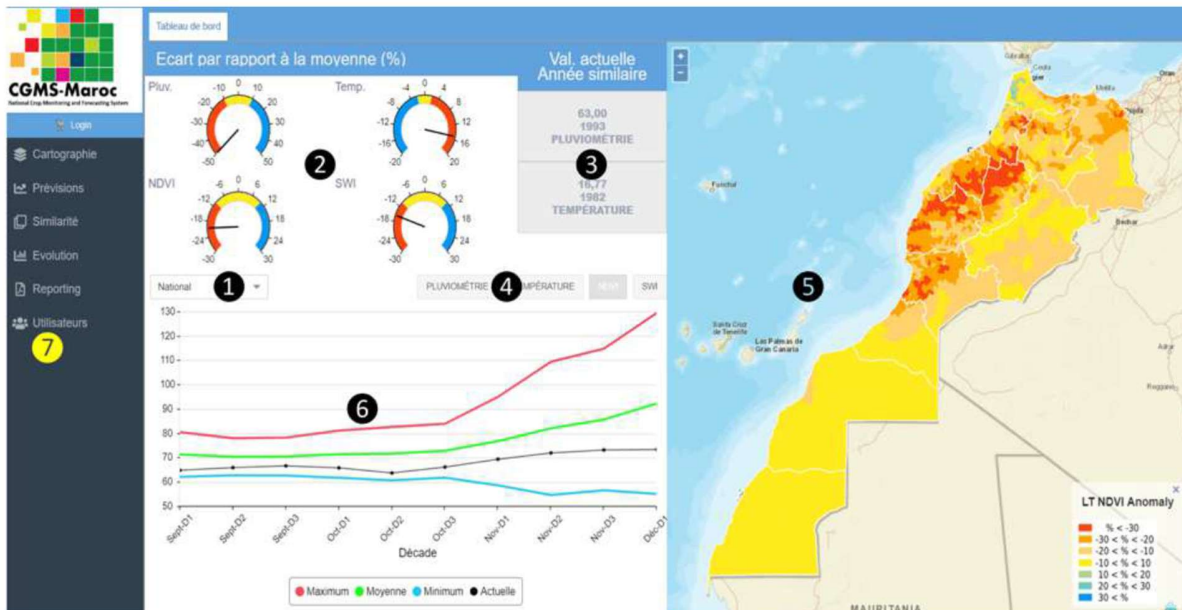


Figure 14 : Nouvelle interface de CGMS-Maroc

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.69. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.



Figure 15 : Analyse de similarité dans l'interface (campagne 2022-2023)

Source : Balaghi, Lahlou et Alaouri (2024), p.72. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

Campagne	Région	Province	Superficie Moy 2 ans (Ha)	Regression		Machine Learning		Similarité	
				Modèle	Ren... Qu/Ha	Ren... Qu/Ha	Production Qx	Ai	Ren... Qu/Ha
2023-2024	Béni Mellal-Khénifra	Azilal	31080	pluv_std,pluv_P2,rfe_P2,tmin_amplitude	4,36	10,16	315 636	2006	11,62
2023-2024	Béni Mellal-Khénifra	Béni Mellal	21186	pluv_std,rfe_P2,lai_CV,lai_P0	4,87	8,50	180 144	2010	19,03
2023-2024	Béni Mellal-Khénifra	Khénifra	31500	pluv_P1,pluv_P2,lai_P2,rfe_P2	6,20	9,42	296 681	2015	17,55
2023-2024	Béni Mellal-Khénifra	Khouribga	17278	pluv_std,lai_CV,pluv_P2,rfe_std	4,79	2,04	35 194	2007	0,10
2023-2024	Drâa-Tafilalet	Midelt	5988	pluv_P0,pluv_cv,ndvi_P0,tmin_P1	13,79	10,28	58 480	2015	17,32
2023-2024	Drâa-Tafilalet	Quarzazate	2225	rfe_P1,tmin_amplitude,pluv_P0,pluv_P2	14,12	8,59	19 116	2004	-9,20
2023-2024	Fès-Meknès	Boulemane	8299	rfe_P2,pluv_P0,rfe_P0,lai_P0	7,46	4,84	40 175	2008	16,49
2023-2024	Fès-Meknès	El Hajeb	9787	pluv_P3,ndvi_P3,rfe_P1,tmin_amplitude	18,44	21,68	212 206	2010	17,59
2023-2024	Fès-Meknès	Fès	1125	pluv_P2,lai_P1,lai_CV,rfe_P1	21,32	14,61	16 436	2007	1,40
2023-2024	Fès-Meknès	Itane	8725	lai_P2,lai_amplitude,ndvi_P0,lai_CV	20,08	19,19	167 424	2016	18,28
2023-2024	Fès-Meknès	Meknès	10005	rfe_P1,lai_P2,tmax_P3,ndvi_P1	19,26	15,90	159 123	2003	16,02
2023-2024	Fès-Meknès	Sefrou	12975	pluv_P1,tmin_std,lai_P0,ndvi_P0	12,97	19,01	246 695	2020	10,80
2023-2024	Fès-Meknès	Taourate	50750	lai_P2,tmin_std,ndvi_P1,tmin_P3	18,48	13,08	603 656	2006	18,49
2023-2024	Fès-Meknès	Taza	51850	ndvi_P1,lai_P3,rfe_P1,ndvi_P0	22,50	15,12	781 090	2013	21,90
2023-2024	Grand Casablanca-...	Benslimane	17398	lai_P2,ndvi_P0,pluv_P2,pluv_P3	7,45	6,96	110 629	2012	8,12
2023-2024	Grand Casablanca-...	Berrechid	25780	lai_P1,rfe_P1,lai_P2,tmax_P1	11,10	15,65	408 596	2019	12,00
2023-2024	Grand Casablanca-...	El Berchid	22818	rfe_P1,rfe_std,lai_P3,tmin_P1	3,69	4,20	95 646	2008	4,23

Figure 16 : Fonctionnalité de prévision de rendements par province

Source : Balaghi, Lahlou et Alaoui (2024), p.76. INRA-Maroc. Reproduit avec l'autorisation de l'éditeur.

L'accès est modulé selon le profil. L'espace public permet de suivre la campagne en cours et de la comparer aux données historiques. Des niveaux restreints, protégés par authentification, ouvrent l'accès à des données plus complètes. Les prévisions de rendement en temps réel ne sont accessibles qu'aux utilisateurs du Ministère de l'Agriculture, qui décide de la publication officielle des chiffres de production.

3.3 Apport théorique pour la planification des importations

CGMS-Maroc a été conçu pour le suivi des campagnes agricoles, l'alerte à la sécheresse et l'estimation des niveaux de production. Son usage actuel reste dans ce périmètre : le Ministère de l'Agriculture exploite les prévisions à titre indicatif pour estimer la production céréalière nationale, et contrôle leur diffusion. L'Office National Interprofessionnel des Céréales et Légumineuses (ONICL), qui supervise les importations de blé tendre, ne s'appuie pas sur le signal CGMS-Maroc pour programmer ses achats. La prévision de rendement ne fait pas partie, à ce stade, du processus décisionnel d'importation.

Le présent mémoire part d'une interrogation : ce signal pourrait-il, en théorie, améliorer la planification des achats de blé tendre ?

Un signal précoce sur le volume à importer

Le raisonnement est direct. Si la production nationale de blé tendre peut être estimée avant la récolte, il est possible d'en déduire, par différence avec la consommation projetée, le volume d'importation nécessaire pour la campagne suivante. CGMS-Maroc produit des prévisions de rendement à partir de fin février, réactualisées quotidiennement jusqu'en juin. En multipliant le

rendement prévu par la superficie semée — information disponible via les enquêtes de la DSS , on obtient une estimation de la production nationale plusieurs mois avant la fin de la moisson.

Ce signal pourrait permettre de distinguer, dès le printemps, une campagne excédentaire d'une campagne déficitaire, et d'ajuster le volume et le calendrier des importations en conséquence. Le chapitre 1 a montré que les importations marocaines de blé tendre varient considérablement d'une campagne à l'autre en fonction de la production intérieure. Disposer d'une estimation avancée de cette production éviterait les ajustements tardifs qui exposent l'acheteur aux variations de prix du marché et aux tensions saisonnières du marché international.

La fiabilité temporelle du signal

L'utilité de cette estimation dépend du moment où elle devient suffisamment fiable pour fonder une décision d'achat. Les prévisions de CGMS-Maroc se resserrent au fil de la campagne. En début de saison, l'incertitude est large : les modèles n'ont pas encore intégré les conditions de la phase critique (remplissage du grain, entre mars et mai). En fin de campagne, l'incertitude est faible — et ce moment coïncide précisément avec le démarrage des importations. Selon l'ONICL, les campagnes d'achats de blé tendre débutent en juin, au moment où la récolte commence et où les prévisions de CGMS-Maroc atteignent leur fiabilité maximale. Le signal de fin de campagne n'arrive donc pas trop tard : il arrive au moment où les décisions d'importation sont sur le point d'être prises.

La date à partir de laquelle la prévision se stabilise — le moment où attendre davantage n'apporte plus de gain informationnel appréciable — est une question empirique, traitée au chapitre 4 à partir des données historiques. Les travaux de Balaghi et al. (2008) identifient une montée en précision entre février et avril, puis une relative stabilisation. Si cette stabilisation intervient avant le lancement des campagnes d'achat estivales, le signal CGMS-Maroc pourrait théoriquement être exploité.

Limites de l'exploitation directe

Plusieurs contraintes limitent l'utilisation du signal CGMS-Maroc pour piloter les importations. CGMS-Maroc prévoit un rendement, pas un prix. La décision d'importer dépend aussi du prix international du blé, des taux de change, des droits de douane et de la politique de subvention des prix intérieurs. Le rendement n'est qu'un des paramètres du calcul.

Le blé tendre importé pour la meunerie marocaine doit respecter des seuils précis de teneur en protéines, d'indice de chute de Hagberg et de taux d'humidité, que la production nationale ne remplit pas toujours. La substituabilité entre blé domestique et blé importé est donc partielle : même une bonne récolte peut ne pas suffire à couvrir les besoins qualitatifs des moulins. Une prévision de rendement par CGMS-Maroc porte sur les volumes produits, pas sur leur aptitude meunière, ce qui limite son utilité pour estimer la part des importations qui resterait nécessaire même en année excédentaire.

Les prévisions de rendement en temps réel sont réservées au Ministère de l'Agriculture, qui décide seul de leur diffusion. Les minoteries et les négociants privés n'y ont pas accès. Les ouvrir aux opérateurs de marché poserait des problèmes de gouvernance que le système actuel n'est pas apte à résoudre : une diffusion anticipée de l'information pourrait alimenter des comportements

spéculatifs sur les marchés à terme, et les prévisions ne sont pas calibrées pour un usage commercial. Une telle évolution relèverait d'une décision politique sur le partage de l'information agricole, pas d'un ajustement technique.

L'erreur résiduelle des modèles, même réduite par la combinaison des trois approches, reste non négligeable lors des années extrêmes — c'est-à-dire précisément lors des campagnes où les besoins d'importation sont les plus critiques. Le chapitre 1 a rappelé que le système MARS/CGMS européen surestime les rendements d'environ 10 % en années de sécheresse (Van der Velde et al., 2018). Un biais analogue dans CGMS-Maroc conduirait à sous-estimer le besoin d'importation lors des campagnes les plus déficitaires.

Ces contraintes n'invalident pas l'intérêt du signal, mais elles en délimitent le rôle : non pas se substituer au jugement des décideurs et aux mécanismes institutionnels, mais fournir un cadre quantitatif précoce dans lequel situer les arbitrages. Le chapitre 4 testera cette hypothèse sur données historiques, en évaluant si l'intégration du signal CGMS-Maroc dans une règle de décision d'achat aurait permis de réduire le coût moyen des importations.

4. Méthodologie d'analyse

4.1 Présentation des données mobilisées

Ce travail repose sur l'exploitation croisée de trois séries de données complémentaires, couvrant des dimensions distinctes du marché du blé tendre au Maroc : les prix internationaux, les volumes d'importation et les prévisions de rendement agricole. Le choix de ces trois sources permet de reconstituer la chaîne de décision d'un importateur confronté à la double incertitude des prix et de la production locale.

Série 1 — Prix du blé tendre, Bourse de Rouen (2001–2025)

Les cotations utilisées proviennent de la Bourse de commerce de Rouen (FranceAgriMer, 2001-2025), place de référence pour le blé tendre européen destiné à l'exportation vers l'Afrique du Nord. La série retenue est le « Blé tendre Rendu Rouen Supérieur (A2) base juillet », exprimé en euros par tonne (€/t). Les données couvrent la période du 11 septembre 2001 au dernier relevé disponible de 2025. Pour les besoins de l'analyse, ces observations hebdomadaires ont été agrégées en moyennes décennales (trois décades par mois). Ce passage au pas décennal réduit le bruit des fluctuations journalières tout en conservant une granularité suffisante pour capter les variations intramensuelles utiles à la décision d'achat. Les données en dollars par tonne (\$/t), également disponibles dans le fichier source, n'ont pas été retenues ; l'ensemble des analyses est conduit en euros, devise dans laquelle le Maroc contracte la majorité de ses achats de blé européen.

Série 2 — Volumes d'importation mensuels, ONICL (2016–2025)

Les volumes d'importation de blé tendre du Maroc proviennent de l'Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL, 2014-2025). La série couvre neuf campagnes d'importation, de la campagne 2016/2017 à la campagne 2024/2025, avec une ventilation mensuelle en milliers de tonnes (kt). La campagne d'importation s'étend de juin de l'année N à mai de l'année N+1, en cohérence avec le calendrier de la récolte céréalière marocaine. Le volume total importé varie fortement d'une campagne à l'autre, reflétant la variabilité de la production locale et les arbitrages des opérateurs.

Série 3 — Prévisions de rendement, CGMS-Maroc (2014–2025)

Les données de rendements proviennent de CGMS-Maroc qui a été développé par 4 institutions marocaines : l'INRA, l'IAV, le ministère de l'Agriculture et la Direction Générale de la Météorologie. Il a été inspiré du Crop Growth Monitoring System (CGMS), un modèle agro-météorologique développé dans le cadre du programme européen MARS (Monitoring Agricultural Resources). CGMS-Maroc fournit, pour chaque campagne agricole, des prévisions décennales de rendement du blé tendre en conduite pluviale (bour) et en irrigué, à partir du mois de février et jusqu'à la récolte (juin-juillet). La série couvre les campagnes 2014/2015 à 2024/2025, soit onze campagnes. Pour chaque campagne, la feuille de données contient les rendements observés (rdt_obs, en t/ha), les rendements prédits (rdt_pred, en t/ha), la superficie cultivée et les décades de prévision. Les superficies bour et irrigué sont distinguées, puis agrégées en superficie totale pour le calcul de la production nationale. Le

rendement pondéré (combinant bour et irrigué) a été calculé en rapportant la production totale estimée à la superficie totale. Ce rendement pondéré constitue la variable utilisée dans les scénarios d'optimisation de CGMS-Maroc.

Fenêtre d'analyse commune

L'intersection des trois séries détermine la fenêtre d'analyse exploitable. Les prix de Rouen sont disponibles depuis 2001, les données CGMS-Maroc depuis la campagne 2014/2015, et les volumes d'importation de l'ONICL depuis la campagne 2016/2017. La fenêtre commune pour les analyses croisant simultanément les trois dimensions (prix, volumes, rendements) couvre donc les campagnes 2016/2017 à 2024/2025, soit neuf campagnes céréalières. Les analyses portant uniquement sur les prix disposent d'un historique plus profond (2001–2025), exploité pour l'étude de la saisonnalité et la caractérisation de la volatilité.

Récapitulatif des trois séries de données

Série 1 — Prix Rendu Rouen (A2) : cotations hebdomadaires agrégées en décades, en €/t, de 2001 à 2025.

Série 2 — Volumes ONICL : importations mensuelles en kt, 9 campagnes (2016/17 à 2024/25).

Série 3 — CGMS-Maroc : prévisions décadaires de rendement (bour + irrigué), 11 campagnes (2014/15 à 2024/25).

Fenêtre commune : 9 campagnes (2016/17 à 2024/25) pour les analyses croisées.

4.2 Hypothèses, conventions et limites

Toute modélisation repose sur un ensemble d'hypothèses et de conventions qui définissent le périmètre de validité des résultats. Nous les explicitons ici pour permettre au lecteur d'évaluer la portée et les limites de nos conclusions.

Hypothèse de consommation

Le besoin national en blé tendre est estimé sur la base d'une consommation annuelle de 220 kg par habitant, conformément aux données de la Fédération Nationale de la Minoterie (FENIMON). Ce ratio, appliqué aux projections démographiques du Haut-Commissariat au Plan (HCP), donne le besoin national annuel. Ce paramètre est traité comme une constante sur la période d'étude, ce qui constitue une simplification : la consommation réelle fluctue en fonction du pouvoir d'achat, des habitudes alimentaires et des substitutions entre céréales. Toute variation de ce ratio affecterait directement le calcul du déficit théorique et du taux d'autosuffisance.

Convention de campagne

La campagne d'importation est définie de juin à mai, alignée sur le cycle cultural marocain : les semis interviennent en septembre-octobre, la récolte en juin-juillet. Les importations de la campagne N/N+1 couvrent donc la période allant de juin N à mai N+1. Cette convention est appliquée uniformément à l'ensemble des analyses.

Prix de référence

Le prix utilisé est le cours « Rendu Rouen Supérieur (A2) », qui inclut le coût du transport jusqu'au port de Rouen mais exclut le fret maritime vers le Maroc, les droits de douane, les frais portuaires et la marge de l'importateur. Les coûts calculés dans les scénarios d'optimisation sont donc des coûts FOB (Free On Board, franco à bord) Europe et non des coûts CAF (Coût, Assurance, Fret) Maroc. Cette convention sous-estime le coût réel supporté par l'importateur, mais permet une comparaison homogène entre scénarios puisque les surcoûts logistiques et douaniers s'appliquent de façon identique quel que soit le mois d'achat.

Conservation du volume total

Dans tous les scénarios d'optimisation, le volume total importé sur la campagne est maintenu égal au volume réel historique. Seule la répartition mensuelle varie. Cette contrainte garantit que l'on compare des stratégies à besoin satisfait constant, et non des stratégies de réduction des importations.

Limites

Le bilan céréalier ne tient pas compte des pertes post-récolte, des utilisations non alimentaires (semences, alimentation animale) ni des flux de réexportation. La réserve stratégique est modélisée de façon dynamique : nulle en première campagne faute de données historiques, elle est calculée pour chaque campagne suivante comme la somme du solde courant et de la réserve de la campagne précédente. CGMS-Maroc fournit des prévisions pour les deux types de conduite, pluviale (bour) et irriguée ; les rendements des deux zones sont pondérés par leurs superficies respectives pour

obtenir un rendement national agrégé. La corrélation entre prix et volumes peut être affectée par des facteurs non modélisés (politiques commerciales, contrats à terme, subventions). Enfin, les scénarios reposent sur une connaissance parfaite des prix passés (optimisation ex post) et non sur une prévision des prix futurs ; ils indiquent un potentiel d'économie et non une garantie de performance en temps réel.

Hypothèses et conventions clés

- Consommation : 220 kg/hab/an (FENIMON), appliquée comme constante.
- Campagne : juin N à mai N+1, alignée sur le cycle cultural marocain.
- Prix : Rendu Rouen A2 en €/t (FOB Europe, hors fret et droits de douane).
- Volume : conservé à l'identique du réel dans chaque scénario.
- Optimisation ex post : les scénarios utilisent les prix passés, pas des prévisions.

4.3 Description des indicateurs et analyses par feuille de calcul

Cette section décrit, pour chaque feuille d'analyse du classeur, les données sources, les traitements effectués et les indicateurs produits.

4.3.1 Feuille « Analyse prix »

Données sources

La feuille exploite la série de prix décennales du blé tendre Rendu Rouen Supérieur (A2), issue de la feuille « Décadaire ». La période retenue est 2014–2025, correspondant aux campagnes pour lesquelles les données CGMS-Maroc sont également disponibles. Chaque observation est caractérisée par sa date (décade), le prix en €/t, le mois et l'année.

Statistiques descriptives globales

Six indicateurs synthétiques sont calculés sur l'ensemble de la période : le prix moyen, le prix médian, le prix minimum (avec sa date), le prix maximum (avec sa date), l'amplitude totale et le prix courant à la dernière observation. L'écart entre la moyenne et la médiane permet d'évaluer l'asymétrie de la distribution des prix.

Analyse annuelle

Pour chaque année civile de 2014 à 2025, un tableau recense le prix moyen, le minimum, le maximum, la médiane, l'écart-type, l'amplitude, le coefficient de variation (volatilité en %), la variation absolue et relative par rapport à l'année précédente, et une interprétation qualitative. Le coefficient de variation ($CV = \text{écart-type} / \text{moyenne} \times 100$) permet de comparer la volatilité des prix d'années en années.

Analyse de la saisonnalité

Une matrice mois \times année (12 lignes \times 12 colonnes) contient le prix moyen mensuel pour chaque combinaison. La moyenne sur douze ans de chaque mois (colonne finale) identifie le profil saisonnier : les mois présentant les prix les plus élevés et ceux présentant les prix les plus bas.

Volatilité et risque

Pour chaque année, la volatilité est mesurée par le coefficient de variation moyen des variations décennales. Les plus fortes hausses et baisses décennales (en %) sont identifiées. Cette analyse distingue quatre niveaux de risque : très faible ($CV < 3\%$), faible (3–5 %), modéré (5–10 %), élevé (10–15 %) et très élevé ($> 15\%$).

Analyse par zones de prix

Pour chaque année, un seuil bas (minimum annuel + 5 %) et un seuil haut (maximum annuel – 5 %) définissent deux zones extrêmes. Le nombre de décades tombant dans chaque zone est comptabilisé mois par mois, puis agrégé sur douze ans. Cette analyse par zones fournit un indicateur de fréquence qui complète les moyennes : un mois peut avoir un prix moyen modéré tout en présentant une probabilité élevée de se situer en zone haute.

Chronologie des événements

Un tableau qualitatif associe chaque grande période de prix à l'événement macro-économique ou géopolitique correspondant : surproduction, sécheresse, crises internationales. Ce croisement événement-prix situe l'analyse quantitative dans son contexte historique, en s'appuyant sur les cadres d'interprétation des chocs céréaliers (Gilbert, 2010) et les rapports de conjoncture mondiale (FAO, 2023).

Indicateurs produits par l'analyse prix

- Statistiques globales : moyenne, médiane, min, max, amplitude, prix courant.
- Analyse annuelle : CV, variation inter-annuelle, interprétation qualitative.
- Saisonnalité : matrice mois × année, profil saisonnier moyen.
- Risque : classification en 5 niveaux de volatilité (CV).
- Zones de prix : fréquence mensuelle en zone basse / haute.
- Contexte : chronologie événementielle macro-économique.

4.3.2 Feuille « Prédiction production »

Données sources

Cette feuille contient deux blocs distincts. Le premier bloc présente les données brutes de CGMS-Maroc : pour chaque campagne et chaque date de prévision décadaire (de février à juin), le rendement observé (rdt_obs) et le rendement prédit (rdt_pred) en t/ha, pour les conduites bour et irriguée séparément, avec les superficies correspondantes. Le second bloc est un tableau de synthèse par campagne, recalculant les rendements pondérés (bour + irrigué) en rapportant la production totale estimée à la superficie totale.

Calcul du rendement pondéré

Pour chaque campagne, le rendement observé pondéré est obtenu par la formule :

$$Rdt_pondéré = (Rdt_bour \times Sup_bour + Rdt_irrigué \times Sup_irrigué) / Sup_totale$$

Les superficies bour et irrigué proviennent des données du CGMS-Maroc. Le rendement irrigué, non directement fourni par le modèle de prévision, est estimé à partir des données de production observées. Ce rendement pondéré est celui utilisé dans le bilan céréalier et les scénarios d'optimisation.

Évaluation de la précision du modèle

Deux tableaux de précision complètent la feuille. Le premier (« Précision statistique par campagne ») calcule pour chaque campagne : la précision ($1 - |erreur|/observé$, en %), l'erreur absolue moyenne en pourcentage (MAPE), l'erreur absolue moyenne (MAE, en t/ha), l'erreur quadratique moyenne (RMSE, en t/ha) et le biais (prédiction - observation, en t/ha). Ces indicateurs permettent

d'évaluer la fiabilité de CGMS-Maroc campagne par campagne et d'identifier les années où la prédiction est la plus fiable ou la plus défailante.

Analyse de stabilisation et identification de la date de fiabilité

Au-delà de la précision par campagne, la question opérationnelle est de déterminer à partir de quelle date la prédiction de CGMS-Maroc devient suffisamment stable pour fonder une décision d'achat. Une grille de cellules (campagnes × dates décennales, du 1er février au 21 juin) fournit la base de ce calcul : pour chaque cellule, la précision est définie comme $100 - \text{MAPE}$.

La moyenne des campagnes à chaque date révèle une trajectoire en deux phases. La précision progresse d'abord dans les premières décennales, atteint un pic, puis redescend avant d'osciller, un comportement cohérent avec les travaux de Balaghi et al. (2008) sur la prédiction précoce des rendements céréaliers au Maroc. Le pic ponctuel ne constitue pas forcément la date de fiabilité, car il peut être suivi d'une chute rapide.

La date de stabilisation est identifiée par la convergence de trois critères. Premièrement, l'amplitude résiduelle (l'écart entre le maximum et le minimum de la précision moyenne, calculé de la date courante au 21 juin) tombe sous un seuil bas : attendre davantage n'apporte plus de gain informationnel. Deuxièmement, la variation inter-décennale passe sous un seuil de stabilité : le modèle entre dans un régime où chaque mise à jour décennale ne modifie plus la prédiction de façon appréciable. Troisièmement, le nombre de campagnes individuellement stabilisées (amplitude propre sous un seuil jusqu'au 21 juin) augmente progressivement ; la date médiane de stabilisation individuelle confirme la date identifiée.

C'est cette prédiction stabilisée, disponible avant le début de la campagne d'importation en juin, qui est exploitée dans les scénarios d'optimisation décrits en section 4.4.

Date de fiabilité du modèle CGMS-Maroc : trois critères de convergence

1. Amplitude résiduelle : l'écart max-min de la précision entre la date et la fin de série tombe sous un seuil bas.
 2. Variation inter-décennale : les mises à jour successives ne modifient plus significativement la prédiction.
 3. Stabilisation individuelle : la majorité des campagnes ont convergé individuellement à cette date.
- La date identifiée marque le passage d'une phase volatile à une phase stable du modèle.

4.3.3 Feuille « Croisement Prix-Imports »

Données sources

Cette feuille croise deux séries : les prix moyens mensuels du blé tendre Rendu Rouen (issus de la feuille « Analyse prix ») et les volumes mensuels d'importation (issus de la feuille « Volume importation »), sur la période commune 2016–2025.

Tableau comparatif mensuel

Pour chaque combinaison mois × année, deux lignes juxtaposent le prix moyen en €/t et le volume importé en milliers de tonnes. Cette présentation permet une lecture directe des situations où le Maroc a importé massivement à prix élevé (situation sous-optimale) ou à prix bas (situation favorable).

Analyse de corrélation

Le coefficient de corrélation de Pearson (r), dont l'interprétation dans le contexte de la transmission des prix agricoles s'appuie sur les travaux de Conforti (2004) et Minot (2011), est calculé à trois niveaux de granularité. D'abord, une corrélation globale sur l'ensemble des observations, qui mesure le lien systématique entre prix et volumes à l'échelle de l'ensemble de la période. Ensuite, une corrélation annuelle, calculée pour chaque année séparément, qui permet de révéler des comportements contrastés selon les contextes. Enfin, une corrélation par mois, calculée sur dix ans pour chaque mois de l'année, qui met en évidence les dynamiques saisonnières.

Score d'opportunité d'achat

L'ensemble des analyses de prix est synthétisé dans un indice composite qui note chaque mois de l'année de 1 (défavorable à l'achat) à 5 (très favorable). Cet indice agrège cinq critères, tous évalués sur la même échelle.

Le premier critère est le prix moyen du mois, calculé sur la totalité des années disponibles. Plus le prix moyen est bas par rapport aux onze autres mois, plus la note est élevée.

Le deuxième critère positionne le prix moyen mensuel dans l'amplitude de prix de chaque année. L'intervalle entre le minimum annuel et le maximum annuel est découpé en cinq tranches égales. Un mois dont le prix tombe dans la tranche la plus basse obtient 5, un mois dans la tranche la plus haute obtient 1. Ce calcul est effectué année par année ; la note finale du mois est la moyenne des notes obtenues sur l'ensemble des années. Ce critère complète le précédent : là où le premier compare les mois entre eux sur longue période, celui-ci évalue la position de chaque mois au sein de sa propre année, ce qui permet de capter les situations où un mois habituellement moyen se retrouve ponctuellement en bas ou en haut de l'échelle annuelle.

Le troisième critère comptabilise la fréquence d'apparition du mois en zone de prix bas (minimum annuel + 5 %) par opposition à la zone haute (maximum annuel - 5 %). Un mois qui tombe régulièrement sous le seuil bas et rarement au-dessus du seuil haut obtient une note élevée.

Afin de situer chaque campagne dans son contexte de marché, une analyse du prix moyen annuel a été réalisée sur l'ensemble des campagnes disponibles. Les campagnes sont classées de la plus chère à la moins chère, ce qui permet d'identifier les années record en termes de prix et, à l'inverse, les années où le blé s'est échangé à des niveaux particulièrement bas. Ce classement fournit une grille de lecture essentielle pour interpréter les résultats des scénarios d'optimisation : les gains potentiels dépendent en grande partie du niveau général des prix et de leur volatilité au cours de la campagne considérée.

Le score final est la moyenne arithmétique des cinq notes. Cette agrégation additive simple, est la méthode la plus répandue pour construire un indicateur composite lorsque les sous-indicateurs partagent une même échelle de mesure (Nardo et al., 2008). La pondération égale entre les cinq critères a été retenue parce qu'aucune raison théorique ne justifiait d'accorder plus de poids à l'un d'entre eux.

Score d'opportunité : les 5 critères

1. Niveau de prix — Le prix moyen du mois parmi les 12 mois (5 = mois le moins cher).
2. Position dans l'amplitude annuelle — Le prix moyen du mois situé dans l'intervalle [min ; max] de l'année, découpé en 5 tranches égales (5 = tranche la plus basse, 1 = tranche la plus haute). Calculé par année puis moyenné.
3. Fréquence en zone basse — Nombre d'années où le mois est sous le seuil bas (5 = souvent en zone basse).
4. Tendance intra-mois — Le prix baisse-t-il entre D1 et D3 ? (5 = forte baisse).
5. Tendance mois suivant — Le mois suivant est-il plus cher ? (5 = acheter maintenant).

4.3.4 Feuille « Bilan »

Données sources

Le bilan céréalier mobilise quatre sources : les projections démographiques du HCP (HCP, 2014-2025), les superficies et rendements observés de la feuille « Prédiction production », les volumes d'importation de la feuille « Volume importation » et l'hypothèse de consommation de 220 kg/hab/an (ONICL, 2014-2025).

Calcul du bilan

Pour chaque campagne (2016/2017 à 2024/2025), le tableau construit la séquence suivante, conformément à la méthodologie des bilans alimentaires de la FAO (2001) :

- Production locale = Superficie totale × Rendement observé pondéré
- Besoin national = Population × 0,220 (en Mt)
- Déficit théorique = Besoin national – Production locale
- Offre totale = Production locale + Importations
- Solde = Offre totale – Besoin national
- Réserve = Solde + Réserve de l'année précédente

Trois ratios synthétiques complètent le tableau : le taux d'autosuffisance (production / besoin), la couverture totale (offre totale / besoin) et la dépendance aux importations (importations / offre totale), selon les définitions retenues par la FAO dans ses indicateurs de sécurité alimentaire (FAO, s.d.). Chaque campagne reçoit un verdict qualitatif : «SURPLUS», «DÉFICIT» ou «ÉQUILIBRÉ».

Structure du bilan céréaliier

- Entrées : population (HCP), superficie × rendement (CGMS-Maroc), importations (ONICL), 220 kg/hab.
- Calcul : Production → Déficit théorique → Offre totale → Solde.
- Ratios : autosuffisance, couverture totale, dépendance aux imports.
- Verdict : SURPLUS / DÉFICIT / ÉQUILIBRÉ par campagne.

Limite méthodologique du bilan

Le bilan est construit sur des flux bruts. Il ne tient pas compte :

- des pertes post-récolte.
- des utilisations non alimentaires (semences, alimentation animale).
- des éventuelles réexportations.

Il constitue donc un outil d'orientation et de comparaison inter-campagnes, et non un bilan comptable exhaustif.

4.4 Scénarios d'optimisation fondée sur la prévision de rendement

Cette section décrit la construction des scénarios qui exploitent les prévisions du modèle CGMS-Maroc pour réallouer les volumes d'importation vers les mois les moins chers de la campagne. L'objectif est d'évaluer, sur données historiques, le potentiel d'économie que procurerait l'intégration d'un outil de prévision dans la prise de décision d'achat.

4.4.1 Principe général

L'importation de blé tendre est un processus étalé sur douze mois (juin à mai). Chaque mois présente un prix de marché différent. La question posée est la suivante : si l'on pouvait anticiper le déficit de production — et donc le volume total à importer — avant le début de la campagne, serait-il possible de concentrer les achats sur les mois offrant les prix les plus bas ?

La réponse dépend de la date à laquelle l'information sur le déficit devient disponible. Trois situations sont envisagées, correspondant à trois scénarios distincts.

4.4.2 Données mobilisées et convention de décalage temporel

Les feuilles « Analyse CGMS » et « Detail campagnes » constituent le socle de cette analyse. Pour chaque campagne, les données suivantes sont mobilisées :

- Le prix mensuel du blé tendre Rendu Rouen (€/t), issu de la feuille « Analyse prix ».
- Le volume total importé sur la campagne (kt), issu de la feuille « Volume importation ».
- Le rendement prédit par CGMS-Maroc pour la campagne précédente, disponible à partir du 21 avril, date à laquelle les prévisions de CGMS-Maroc sont considérées comme stables (cf. section 4.3.2).
- Le rendement observé de la campagne précédente, publié en octobre.

Explication détaillée du décalage temporel (convention N / N-1)

Le décalage temporel entre la prédiction CGMS-Maroc et la campagne d'importation est le point le plus important à comprendre dans cette méthodologie. Voici son explication complète.

La campagne d'importation s'étend de juin de l'année N à mai de l'année N+1. Pendant cette même période, une campagne agricole est en cours au Maroc : les champs de blé sont semés en septembre-octobre de l'année N, poussent durant l'hiver, et sont récoltés en juin-juillet N+1. Le modèle CGMS-Maroc suit la croissance de cette culture et met à jour sa prédiction de rendement à chaque décennie, de février à juin N+1. Le problème est que cette prédiction ne se stabilise qu'en avril N+1 — soit au dixième mois de la campagne d'importation (qui a commencé en juin N). Elle arrive donc bien trop tard pour servir de base à la planification des achats de cette même campagne.

La solution consiste à utiliser la prédiction CGMS-Maroc de la campagne agricole précédente. Concrètement : pour la campagne d'importation 2020/2021 (qui débute en juin 2020), on utilise la prédiction CGMS-Maroc de la campagne agricole 2019/2020, qui est stabilisée en avril 2020 — soit deux mois avant le début des achats. Cette prédiction « décalée d'un an » fournit une indication du

niveau de production locale et permet d'estimer si le Maroc aura besoin d'importer beaucoup (mauvaise récolte précédente, stocks probablement bas) ou peu (bonne récolte précédente, stocks reconstitués).

Tableau 2 :Correspondance entre les campagnes d'importation et les données CGMS-Maroc mobilisées

Campagne import	CGMS utilisé	Date dispo CGMS	Rdt observé dispo
2016/2017	Campagne 2015/2016	Avril 2016	Octobre 2016
2017/2018	Campagne 2016/2017	Avril 2017	Octobre 2017
2018/2019	Campagne 2017/2018	Avril 2018	Octobre 2018
2019/2020	Campagne 2018/2019	Avril 2019	Octobre 2019
2020/2021	Campagne 2019/2020	Avril 2020	Octobre 2020
2021/2022	Campagne 2020/2021	Avril 2021	Octobre 2021
2022/2023	Campagne 2021/2022	Avril 2022	Octobre 2022
2023/2024	Campagne 2022/2023	Avril 2023	Octobre 2023
2024/2025	Campagne 2023/2024	Avril 2024	Octobre 2024

Décalage temporel CGMS-Maroc — Règle fondamentale

Pour la campagne d'importation **N/N+1** (juin N → mai N+1) :

- Scénario B utilise la prédiction CGMS-Maroc de la campagne (N-1)/N, disponible en avril N → 12 mois optimisables.
- Scénario C utilise le rendement observé de la campagne (N-1)/N, publié en octobre N → 8 mois optimisables (oct. à mai).
- Les 4 mois de différence (juin à sept.) représentent l'avantage temporel de la prédiction CGMS-Maroc.

4.4.3 Construction des trois scénarios

Scénario A — Réel (référence)

Ce scénario reproduit les achats tels qu'ils se sont réellement produits. Aucune optimisation n'est appliquée. Pour chaque mois, le volume importé et le prix du marché sont ceux observés historiquement. Le coût total de la campagne (volume × prix, sommé sur douze mois) constitue la référence de coût par rapport à laquelle les scénarios optimisés sont comparés.

Scénario B — CGMS-Maroc (optimisation sur 12 mois)

La prédiction du rendement de la campagne précédente, disponible en avril (deux mois avant juin), fournit une estimation du déficit de production. Cette estimation permet de planifier les achats dès le début de la campagne. La fenêtre d'optimisation couvre les 12 mois complets (juin à mai). Les 12 prix mensuels sont classés du moins cher au plus cher. Les achats sont concentrés sur les 3 à 4 mois les moins chers, avec une allocation discrète : 30 % du volume sur le mois le moins cher (rang 1), 25 % sur le deuxième (rang 2), 25 % sur le troisième (rang 3) et 20 % sur le quatrième (rang 4). Les mois non sélectionnés reçoivent une allocation nulle. Le volume total est strictement conservé.

Scénario C — Observé (optimisation sur 8 mois)

Les données de rendement réel de la campagne précédente ne sont publiées qu'en octobre, soit quatre mois après le début de la campagne. Les quatre premiers mois (juin à septembre) sont donc achetés au prix et au volume réels — ils ne sont pas modifiables. L'optimisation ne porte que sur les huit mois restants (octobre à mai). Le volume résiduel est redistribué sur les mois les moins chers de la fenêtre octobre-mai, avec une logique similaire : classement des 8 prix, concentration sur les 3 à 4 mois les moins chers (allocation de 35 % pour le rang 1, 30 % pour le rang 2, 20 % pour le rang 3, 15 % pour le rang 4).

4.4.4 Choix et justification des scénarios

Le scénario A fournit une ligne de base indispensable pour mesurer l'ampleur des gains potentiels. Les scénarios B et C correspondent à deux situations réalistes d'accès à l'information : la prédiction (disponible tôt mais imprécise) et l'observation (disponible tard mais exacte). La comparaison B vs C isole la valeur ajoutée de la précocité : le scénario CGMS-Maroc accède à quatre mois supplémentaires d'optimisation (juin à septembre). La comparaison B vs A mesure le plafond théorique d'économie sur données historiques. Enfin, le scénario C inclut une composante réaliste (les quatre premiers mois non modifiables), ce qui en fait un intermédiaire entre l'optimisation totale et l'absence d'optimisation.

La feuille « Detail campagnes » décline ces trois scénarios pour chacune des neuf campagnes (2016/2017 à 2024/2025), avec le détail mensuel des allocations, des volumes et des coûts.

Variante V2. Une variante supplémentaire modifie le mode de répartition du volume au sein du scénario CGMS-Maroc. Là où le scénario B attribue des pourcentages fixes par rang (30 %, 25 %, etc.), V2 affecte à chaque mois retenu un poids proportionnel à l'inverse de son prix : $w_i = (1/P_i) / \sum(1/P_j)$. Le volume alloué au mois i est alors $V_i = w_i \times V_{total}$. Cette formulation a pour propriété

d'égaliser le coût monétaire entre les mois sélectionnés (le produit $V_i \times P_i$ étant constant), seul le volume physique variant d'un mois à l'autre. La comparaison entre B et V2 permet de tester la sensibilité des résultats au mode d'allocation.

Comparaison synthétique des trois scénarios

Scénario A — Réel : 12 mois achetés au fil de l'eau, sans optimisation → référence de coût.

Scénario B — CGMS-Maroc : 12 mois optimisables, concentration sur 4 mois (30/25/25/20 %).

Scénario C — Observé : 4 mois achetés au réel + 8 mois optimisés (35/30/20/15 %).

Variante V2 — Pondération inverse du prix (coût égalisé entre mois).

4.5 Stratégie d'optimisation fondée sur les profils saisonniers

Le second axe d'optimisation ne repose pas sur une prédiction agronomique individuelle par campagne, mais sur la régularité saisonnière des prix observées sur une longue période. L'hypothèse est la suivante : si les prix du blé suivent un cycle saisonnier récurrent, il est possible de concevoir des calendriers d'achat fixes qui privilégient systématiquement les mois statistiquement les moins chers, sans nécessiter de prévision ad hoc à chaque campagne.

4.5.1 Données mobilisées

Deux feuilles alimentent cette analyse.

La feuille « Analyse Saisonnière » exploite la série complète des prix décennaires du blé tendre Rendu Rouen Supérieur (2001–2025). Pour chaque mois, sept indicateurs statistiques sont calculés : la moyenne (€/t), la médiane, l'écart-type, le minimum, le maximum, le nombre d'observations, et un indice saisonnier exprimé en pourcentage d'écart à la moyenne générale, calculé selon la méthodologie X-13ARIMA-SEATS (Méthode de désaisonnalisation du U.S. Census Bureau) (U.S. Census Bureau, 2017). L'indice saisonnier mesure, pour chaque mois, l'écart de son prix moyen par rapport à la moyenne annuelle globale. Un indice négatif signale un mois structurellement moins cher que la moyenne ; un indice positif, un mois structurellement plus cher. Un huitième indicateur — la probabilité que le prix du mois soit inférieur à la moyenne annuelle (Pearson, 1896) — complète le profil. Sur ces bases, chaque mois reçoit une recommandation : « ACHAT OPTIMAL », « BON ACHAT », « NEUTRE » ou « ÉVITER ».

4.5.2 Construction des scénarios saisonniers

La feuille « Scénarios Saisonniers » traduit ces profils statistiques en calendriers d'achat, puis teste chaque calendrier sur les neuf campagnes historiques (2016/2017 à 2024/2025). Cinq scénarios de complexité croissante sont définis.

S1 — 3 mois fixes. L'allocation se répartit en parts égales (33,3 % chacune) sur les trois mois les plus favorables identifiés par l'analyse saisonnière. Ce scénario est le plus simple à mettre en œuvre : il ne nécessite que trois opérations d'achat par campagne, toujours aux mêmes dates.

S2 — 4 mois fixes. L'allocation intègre un quatrième mois avec des poids ajustés : 30 %, 25 %, 25 %, 20 %. L'ajout d'un mois diversifie le risque sans diluer excessivement la concentration sur les mois les moins chers.

S3 — 5 mois (pondération par indice saisonnier). Cinq mois sont retenus. Les poids sont proportionnels à la valeur absolue de l'indice saisonnier de chaque mois, de sorte que le mois le plus favorable reçoit la part la plus élevée et le moins favorable la plus faible. Cette méthode quantitative ancre les allocations dans les données statistiques plutôt que dans un choix arbitraire.

S4 — 9 mois (priorité + secondaires). Ce scénario distingue deux catégories de mois. Les mois prioritaires reçoivent la majorité du volume selon la hiérarchie de l'indice saisonnier. Les mois

secondaires reçoivent chacun une allocation résiduelle. Les mois classés « ÉVITER » sont exclus. Ce scénario constitue un compromis entre concentration et lissage opérationnel, limitant les pics de volume sur un seul mois.

S5 — Observé + saisonnier. Ce scénario hybride reprend la logique du scénario C de la section 4.4 : les quatre premiers mois (juin à septembre) sont achetés au volume réel, et le volume résiduel est redistribué sur octobre à mai selon les poids de l'indice saisonnier. Ce scénario simule une situation où l'opérateur ne modifie pas ses achats d'été mais rationalise ses achats d'hiver et de printemps.

Pour chaque scénario et chaque campagne, la feuille calcule le volume alloué par mois (allocation × volume total), le coût correspondant (volume × prix du mois) et le coût total de la campagne. La comparaison avec le coût réel (scénario A) mesure l'économie ou le surcoût généré par le calendrier saisonnier.

4.5.3 Logique de sélection des scénarios

Les cinq scénarios forment un gradient de sophistication. S1 teste l'approche la plus rudimentaire (trois mois fixes en parts égales). S2 et S3 introduisent progressivement la diversification et la pondération quantitative. S4 représente l'approche la plus complète, répartissant l'achat sur neuf mois avec une hiérarchie claire. S5, enfin, intègre la contrainte opérationnelle des achats déjà réalisés. Ce gradient permet d'évaluer si un gain de complexité analytique produit un gain économique significatif, ou si une règle simple (S1) capture l'essentiel du bénéfice.

Gradient de complexité des scénarios saisonniers

S1 (3 mois, parts égales) → S2 (4 mois, poids fixes) → S3 (5 mois, poids par indice)
→ S4 (9 mois, prioritaires + secondaires) → S5 (hybride : réel + saisonnier).

4.6 Scénario d'optimisation intégré

4.6.1 Principe général

Les scénarios décrits aux sections 4.4 Scénarios d'optimisation fondée sur la prévision de rendement et 4.5 Stratégie d'optimisation fondée sur les profils saisonniers, optimisent la répartition mensuelle des achats, mais maintiennent le volume total importé égal à celui observé historiquement. Cette contrainte, utile pour isoler l'effet du calendrier d'achat, empêche de simuler un processus de décision complet : dans la réalité, le volume à importer n'est pas connu à l'avance. Il découle d'un bilan entre le besoin national, la production domestique et le niveau des réserves stratégiques.

Le scénario intégré lève cette contrainte. Il estime lui-même le volume d'importation nécessaire à chaque campagne, en combinant trois informations disponibles avant le début de la campagne d'importation : la prévision de rendement CGMS-Maroc au 21 mai, la population projetée et l'état des réserves. Le volume ainsi calculé est ensuite réparti sur les douze mois selon un calendrier fixe fondé sur les régularités saisonnières des prix. Le scénario se déploie en deux phases : une phase de planification (juin à septembre), fondée sur le rendement prédit, et une phase de réajustement (octobre à mai), fondée sur le rendement réel observé. Cette architecture reproduit le processus de décision tel qu'il pourrait se dérouler en situation opérationnelle, où l'information disponible s'affine au fil de la campagne.

Dans les scénarios A, B et C, seuls les mois d'importation sont modifiés : le volume total annuel est conservé à l'identique de celui réellement importé par le Maroc pour chaque campagne. L'objectif est d'évaluer s'il existe un intérêt à importer les mêmes quantités mais à des mois différents. Le scénario intégré adopte une logique fondamentalement différente : les volumes annuels sont eux-mêmes recalculés sur la base exclusive des prévisions de rendement CGMS-Maroc et des données de récolte publiées en octobre. La comparaison avec les achats réels porte donc sur deux dimensions simultanées — le volume importé et le coût total — et non sur le seul calendrier d'achat..

Scénario intégré — Rupture méthodologique

Les scénarios 4.4 et 4.5 optimisent le calendrier d'achat à volume total donné (= volume réel historique).

Le scénario intégré estime lui-même le volume d'importation nécessaire, puis le répartit dans le temps.

Deux phases : planification initiale (rendement prédit, juin-sept.) → réajustement (rendement réel, oct.-mai).

La comparaison avec le réel porte sur deux dimensions : volume importé et coût total.

4.6.2 Données mobilisées

Le scénario exploite la feuille « Scénarios Prédicatifs » du classeur d’analyse. Les données sources proviennent des feuilles décrites aux sections précédentes, complétées par un jeu de paramètres propres à ce scénario.

Pour chaque campagne (2016/2017 à 2024/2025), les variables suivantes sont mobilisées : la population nationale (projections HCP, en millions d’habitants), les superficies bour et irrigué (en hectares), le rendement prédit par le CGMS-Maroc au 21 mai, dernière prévision disponible avant le début de l’étalement des importations pour la campagne à venir, pour la conduite bour et pour l’irrigué (en t/ha), le rendement observé pour chacune des deux conduites, la production prédite et la production réelle (en Mt), le besoin national (population \times 0,220, en Mt), le prix moyen de la campagne précédente et le prix moyen historique (en €/t), la réserve cible et la réserve de début de campagne (en Mt). Parmi ces variables, seules les données agronomiques (rendements, superficies, productions), les prix, la population et le besoin national correspondent à des observations réelles ; les réserves, les volumes d’importation et les coûts sont des grandeurs simulées par le modèle.

La prévision utilisée est celle du 21 mai de la campagne en cours — et non celle de la campagne précédente comme dans le scénario B (section 4.4). Ce choix s’explique par la chronologie. Le 21 mai précède de dix jours le début de la campagne d’importation en juin, ce qui en fait la dernière prévision CGMS-Maroc disponible avant la première décision d’achat. La section 4.3.2 a montré que la précision du modèle se stabilise à partir du 21 avril ; la prévision du 21 mai bénéficie d’un mois supplémentaire de données agro-météorologiques, et se situe dans la phase stable du modèle. Contrairement aux scénarios B et C, qui utilisent la prévision de la campagne précédente comme proxy de la campagne en cours, le scénario intégré exploite directement la prévision de la campagne en cours, ce qui améliore la pertinence de l’estimation du rendement national.

Données du scénario intégré

Source : feuille « Scénarios Prédicatifs » du classeur d’analyse.

Variables réelles : rendements CGMS-Maroc (prédit au 21 mai + observé), superficies, population HCP, prix Rouen A2.

Variables simulées : réserves, volumes d’importation, coûts.

Prévision du 21 mai de la campagne en cours (N/N+1), dernière prévision stable avant le début des importations en juin. Contrairement au scénario B qui utilise la prévision de la campagne précédente (N-1/N).

4.6.3 Construction du scénario

Paramètres de réserve stratégique

Le scénario introduit une gestion dynamique de la réserve de blé (Wright, 2011), absente des scénarios précédents. Trois niveaux de réserve cible sont définis : une réserve standard de 2,074 Mt (équivalent à trois mois de consommation nationale, norme recommandée par la Banque mondiale,

2017), une réserve minimale de 1,04 Mt (un mois et demi) et une réserve maximale de 3,11 Mt (quatre mois et demi). Le choix entre ces trois niveaux dépend de deux signaux observables au moment de la décision, en juin.

Le premier signal est le ratio de production relative, défini comme le rapport entre la production prédite au 21 mai et le besoin national. Ce ratio ne mesure pas l'autosuffisance alimentaire au sens strict — le Maroc restant structurellement déficitaire en blé tendre — mais permet de différencier les campagnes selon le niveau de couverture nationale. Deux seuils le découpent : un seuil bas à 30 % et un seuil haut de production relative à 50 %, en accord avec les classifications proposées par la FAO (2003). Le seuil de 30 % a été calibré sur l'historique des neuf campagnes analysées. La médiane de production relative se situe à environ 32 %, de sorte que seules les campagnes réellement déficitaires passent sous ce seuil. Le seuil de 50 % identifie les rares campagnes où la production nationale couvre au moins la moitié de la demande — deux campagnes sur neuf dans l'historique.

Le second signal est le prix moyen de la campagne précédente (N-1), comparé à la moyenne historique calculée sur l'ensemble des campagnes passées. Deux seuils symétriques de $\pm 15\%$ délimitent une bande de normalité. Un prix de N-1 supérieur de 15 % à la moyenne signale un marché en tension ; un prix inférieur de 15 % signale un marché détendu. Le recours au prix de N-1 se justifie par le calendrier de décision : en juin, la campagne N n'a pas encore commencé et aucun prix moyen n'est disponible pour celle-ci. La campagne N-1, terminée en mai, fournit le dernier signal complet. L'hypothèse sous-jacente est que les conditions de marché évoluent progressivement d'une campagne à l'autre, les tendances céréalières ne se retournant que rarement en l'espace d'un an.

Règle de décision

La règle de décision combine ces deux signaux selon la logique suivante :

- Si l'autosuffisance prédite est inférieure à 30 % et le prix de N-1 dépasse la moyenne historique de plus de 15 % → réserve minimale (1,04 Mt). La production est faible et le marché cher : le modèle limite les volumes pour contenir la facture.
- Si l'autosuffisance prédite dépasse 50 % et le prix de N-1 est inférieur de plus de 15 % à la moyenne → réserve maximale (3,11 Mt). La production couvre au moins la moitié des besoins et le marché est détendu : c'est le moment de reconstituer les stocks à moindre coût.
- Dans tous les autres cas → réserve standard (2,074 Mt).

Pour la première campagne de la série (2016/2017), en l'absence de campagne antérieure, la décision repose uniquement sur le ratio d'autosuffisance prédit. L'écart entre la production prédite (5,12 Mt) et le besoin (7,67 Mt) situe l'autosuffisance à 66,8 %, soit au-dessus du seuil de 50 %. La réserve cible est donc fixée à son maximum (3,11 Mt), en cohérence avec le fait que la campagne 2015/2016 présentait des prix inférieurs à la moyenne — conditions favorables à la constitution de stocks.

Paramètres de réserve stratégique

Réserve standard : 2,074 Mt (3 mois de consommation).

Réserve minimale : 1,04 Mt (1,5 mois) — autosuffisance < 30 % ET prix N-1 > +15 % de la moyenne.

Réserve maximale : 3,11 Mt (4,5 mois) — autosuffisance > 50 % ET prix N-1 < -15 % de la moyenne.

Seuils calibrés sur l'historique des 9 campagnes (2016/2017 à 2024/2025).

Réserve de début de campagne

La réserve au début de chaque campagne N est calculée par bouclage sur le bilan de la campagne N-1 :

$$\text{Réserve_début}(N) = \text{Réserve_début}(N-1) + \text{Production_réelle}(N-1) + \text{Importations_S6}(N-1) - \text{Besoin}(N-1)$$

Les importations prises en compte sont celles calculées par le scénario (et non les importations réelles), ce qui garantit la cohérence interne du modèle : chaque campagne hérite du stock résultant des décisions simulées aux campagnes précédentes. Pour la campagne inaugurale (2016/2017), la réserve initiale est fixée à 3,11 Mt.

Phase 1 — Planification initiale (juin à septembre)

Avant le début de la campagne d'importation, le volume total à importer est estimé par la formule :

$$\text{Vol_estimé} = \text{Besoin_national} - \text{Production_prédite} + \text{Réserve_cible} - \text{Réserve_début}$$

La production prédite est celle du 21 mai, calculée à partir du rendement prédit bour et irrigué pondéré par les superficies respectives. Ce volume estimé est réparti sur les quatre premiers mois de la campagne (juin à septembre) selon le calendrier d'allocation défini ci-après. La somme des allocations de Phase 1 (juin 15 % + septembre 6 %) représente 21 % du volume estimé. Juillet et août, exclus du calendrier d'achat, reçoivent une allocation nulle.

Phase 2 — Réajustement (octobre à mai)

En octobre, les rendements réels de la campagne sont publiés. Le volume total est recalculé en substituant la production réelle à la production prédite :

$$\text{Vol_réajusté} = \text{Besoin_national} - \text{Production_réelle} + \text{Réserve_cible} - \text{Réserve_début}$$

Le volume résiduel à importer sur les huit mois restants est obtenu en soustrayant le volume déjà importé en Phase 1 :

$$\text{Vol_résiduel} = \text{Vol_réajusté} - \text{Vol_importé_Phase1}$$

Ce volume résiduel est distribué sur les mois d'octobre à mai au prorata de leurs allocations respectives. Chaque mois reçoit une fraction égale à son allocation propre divisée par la somme des allocations d'octobre à mai (79 % du total). Décembre, dont l'allocation est de 18 % du total, reçoit ainsi 18/79 du volume résiduel (soit 22,8 %) ; mai (16 %) en reçoit 16/79 (soit 20,3 %).

Le réajustement peut modifier le volume total à la hausse ou à la baisse selon l'écart entre la prévision et la réalité. Lorsque la production réelle est inférieure à la prévision (sécheresse plus sévère qu'anticipé), le volume résiduel augmente et les importations d'octobre à mai s'intensifient. Dans le cas inverse (récolte meilleure que prévu), le volume résiduel diminue. Cette correction en cours de campagne reproduit le comportement d'un opérateur qui ajuste ses achats au fur et à mesure que l'information se précise.

Architecture en deux phases

Phase 1 (juin-sept.) : volume estimé sur base du rendement prédit au 21 mai. Allocation : 21 % du total.

Phase 2 (oct.-mai) : volume réajusté sur base du rendement réel observé. Allocation : 79 % du total.

Formule : $\text{Vol} = \text{Besoin} - \text{Production} + \text{Réserve_cible} - \text{Réserve_début}$.

Le réajustement corrige les erreurs de prévision en redistribuant le volume résiduel.

Calendrier d'allocation mensuelle

Le calendrier fixe répartit le volume annuel selon les pourcentages suivants : juin 15 %, juillet 0 %, août 0 %, septembre 6 %, octobre 6 %, novembre 6 %, décembre 18 %, janvier 7 %, février 7 %, mars 7 %, avril 12 %, mai 16 %. La somme est de 100 %. Ce calendrier reprend la logique saisonnière identifiée en section 4.5 — concentrer les achats sur les mois statistiquement les moins chers — mais en adapte les poids. Juillet et août sont exclus car ce sont les mois les plus chers du profil saisonnier. Juin, bien que statistiquement le plus favorable, voit son allocation contenue à 15 % : ce mois coïncide avec le début de la récolte nationale, et une importation massive à cette date créerait un excédent temporaire de stockage alors que la production locale arrive sur le marché. Décembre (18 %), avril (12 %) et mai (16 %) concentrent l'essentiel du volume de Phase 2, en cohérence avec leur profil de prix favorable.

Écarts attendus entre volumes simulés et volumes réels

Le volume d'importation calculé par le scénario n'a pas vocation à reproduire le volume réellement importé. Deux propriétés du modèle l'en éloignent par construction. D'une part, le scénario applique une règle de décision uniforme à toutes les campagnes (même formule de bilan, mêmes seuils, même calendrier), alors que les décisions réelles intègrent des facteurs non modélisés — négociations commerciales, opportunités de marché, arbitrages politiques, gestion propre à chaque année. D'autre part, le volume de Phase 1, calculé sur la base du rendement prédit, est irréversible : si le modèle CGMS-Maroc surestime la production, l'écart n'est corrigé qu'en Phase 2, par une redistribution accrue sur les mois d'octobre à mai. La nature et l'amplitude de ces divergences seront examinées au chapitre suivant.

Limites du scénario intégré

Règle uniforme appliquée à toutes les campagnes (pas d'adaptation ad hoc).

Facteurs non modélisés : négociations commerciales, arbitrages politiques, opportunités de marché.

Volume de Phase 1 irréversible : l'erreur de prévision n'est corrigée qu'en Phase 2.

Les résultats chiffrés de la comparaison seront présentés au chapitre Résultats.

4.6.4 Choix et justification du scénario

Le scénario intégré se distingue des deux axes précédents par sa complétude. Les scénarios de la section 4.4 exploitent la prévision CGMS-Maroc pour choisir les mois d'achat, mais prennent le volume total comme donné. Ceux de la section 4.5 définissent un calendrier saisonnier fixe, sans lien avec la production attendue. Le scénario intégré fait les deux : il utilise la prévision pour dimensionner le volume, puis le calendrier saisonnier pour le répartir dans le temps.

L'introduction d'une réserve stratégique dynamique ajoute une troisième dimension. Au lieu d'un objectif d'importation rigide, le modèle module son comportement selon le contexte : accumulation de stocks en période favorable, réduction des achats en période de tension. Cette logique contra-cyclique vise à lisser le coût d'approvisionnement sur plusieurs campagnes, là où les scénarios précédents raisonnaient campagne par campagne.

L'ensemble des paramètres — seuils d'autosuffisance (30 % et 50 %), seuils de prix (± 15 %), niveaux de réserve (1,04, 2,074 et 3,11 Mt), allocations mensuelles — sont paramétrables dans le classeur d'analyse, ce qui permet de tester la sensibilité du modèle à des hypothèses différentes. Les valeurs retenues ici ont été calibrées sur l'historique des neuf campagnes disponibles. Elles visent un compromis entre sélectivité (ne déclencher les niveaux extrêmes de réserve que dans des situations avérées) et réactivité (capter les inflexions de marché comme la flambée des prix en 2021/2022 et 2022/2023).

Synthèse du scénario intégré (S6)

Trois composantes : estimation du volume (bilan céréalier) + calendrier saisonnier + réserve dynamique.

Prévision CGMS-Maroc du 21 mai (campagne en cours) pour le dimensionnement initial.

Réajustement en octobre sur base du rendement réel observé.

Réserve contra-cyclique : minimale en crise (1,04 Mt), standard (2,074 Mt), maximale en période favorable (3,11 Mt).

Paramètres ajustables dans le classeur pour tester la sensibilité du modèle.

Les résultats chiffrés seront présentés dans le chapitre suivant.

5. RÉSULTATS

Ce chapitre présente les résultats de l'analyse conduite sur le classeur ANALYSE_COMPLETE.xlsx. Il s'organise en sept sections. La première examine la dynamique des prix du blé tendre et leur saisonnalité. La deuxième évalue la performance prédictive du modèle CGMS-Maroc. La troisième quantifie le déficit structurel du Maroc à travers le bilan céréalier. Les quatrième et cinquième sections testent respectivement les scénarios rétrospectifs et saisonniers d'optimisation des achats. La sixième détaille le scénario intégré prédictif. La septième propose une synthèse comparative de l'ensemble des scénarios.

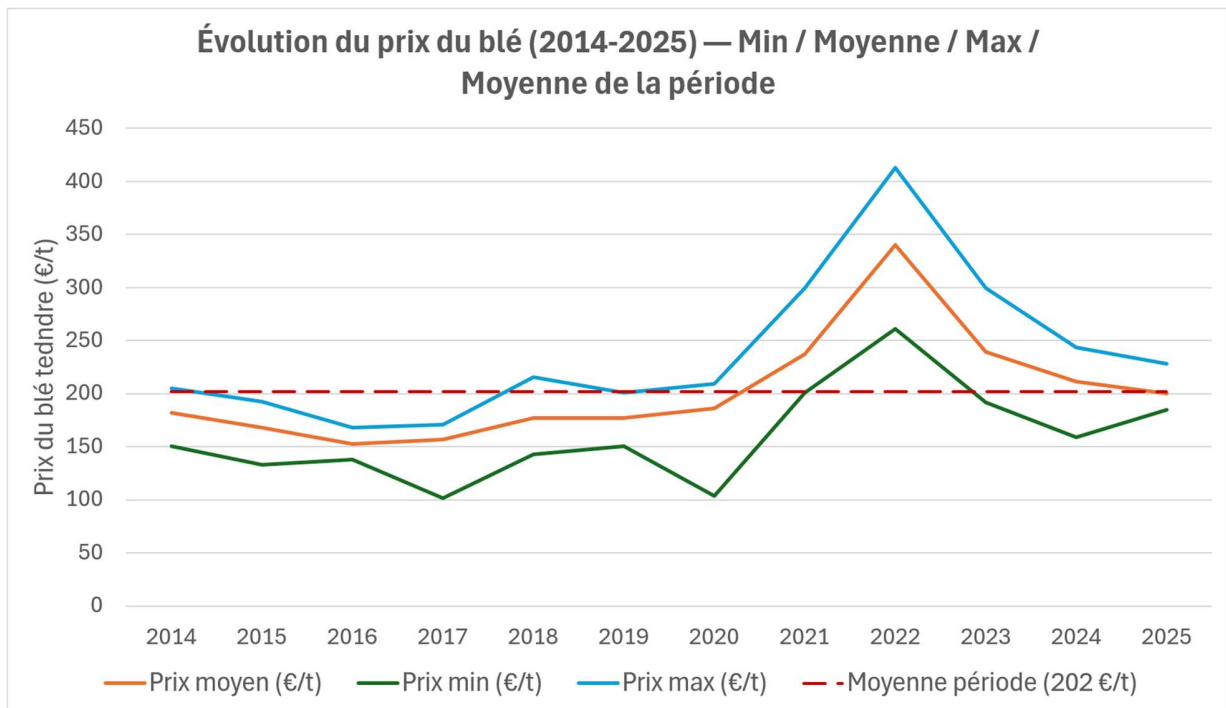
5.1 Dynamique des prix et saisonnalité du marché du blé tendre

5.1.1 Évolution des prix sur la période 2014-2025

L'analyse porte sur le prix du blé tendre Rendu Rouen, qualité Supérieure (A2), en base juillet. La série couvre 853 observations décadaires sur la période 2001-2025. Les paragraphes qui suivent se concentrent sur la sous-période 2014-2025, cohérente avec le périmètre des scénarios d'importation.

Voir annexe Tableau 12 : Statistiques descriptives annuelles des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (€/t) (P 102)

Sur ces douze années, le prix moyen s'établit à 202 €/t, avec une médiane à 190 €/t. L'écart entre ces deux mesures de tendance centrale traduit une distribution asymétrique, tirée vers le haut par les prix de 2021-2022. Le minimum absolu a été enregistré en décembre 2017 à 101 €/t, dans un contexte de surproduction mondiale. Le maximum a été atteint en mai 2022 à 413 €/t, en lien avec la guerre en Ukraine. L'amplitude totale est de 312 €/t, soit un facteur multiplicatif de 4,1 entre plancher et plafond.

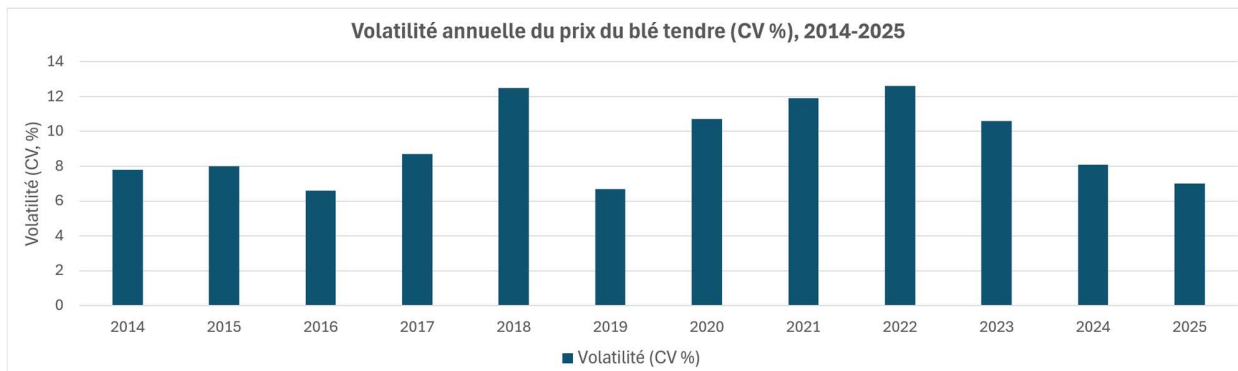


Graphique 2 : Évolution annuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (€/t)

Le Tableau 5.1 fait apparaître plusieurs séquences de durée inégale. De 2014 à 2016, les prix baissent de façon régulière : $-7,7\%$ en 2015, $-9,3\%$ en 2016. Le creux de 2016 (152 €/t) coïncide avec la volatilité la plus basse de la série (CV de 6,6 %, amplitude de seulement 30 €/t). Le marché est calme, les stocks mondiaux abondants.

L'année 2017 amorce un retournement modeste ($+2,6\%$), mais l'amplitude intra-annuelle explose à 69 €/t, contre 30 €/t l'année précédente. Le minimum décadaire de 101 €/t en décembre 2017 coexiste avec des niveaux proches de 171 €/t en début d'année, ce qui traduit une instabilité croissante. La hausse s'accélère en 2018 ($+13,0\%$) sous l'effet de la sécheresse en Europe du Nord. Le coefficient de variation passe de 8,7 % à 12,5 %, et le prix maximal atteint 215 €/t en été 2018. L'année 2019 referme cette parenthèse : le prix moyen reste stable à 177 €/t, et la volatilité retombe à son plus bas (CV de 6,7 %).

À partir de 2020, la dynamique change de registre. Le prix moyen passe de 186 €/t à 237 €/t en 2021 ($+27,4\%$), puis culmine à 340 €/t en 2022 ($+43,4\%$). En deux ans, le prix moyen a presque doublé par rapport au creux de 2016. La volatilité inter-décadaire confirme l'ampleur du choc : en 2021, la plus forte hausse entre deux décades atteint $+108\%$, un niveau jamais observé sur le reste de la période.



Graphique 3 : Volatilité annuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (CV %)

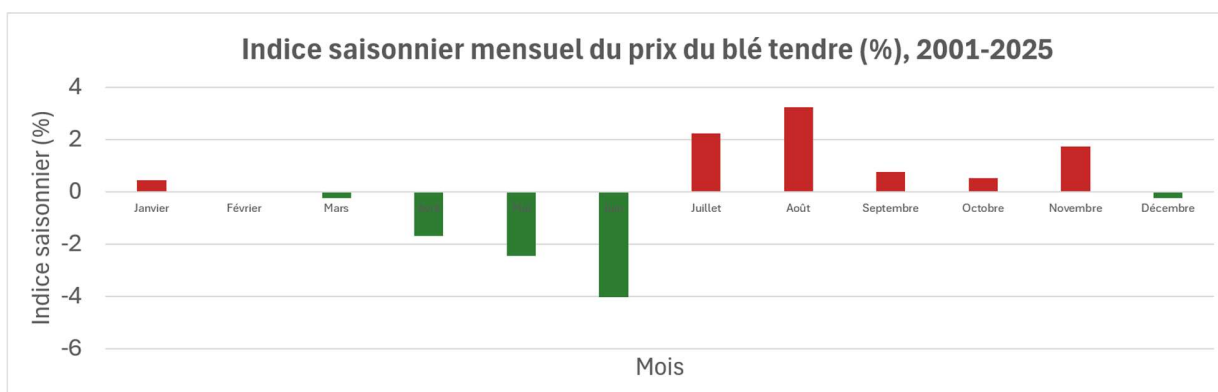
Le coefficient de variation reste cependant contenu entre 11,9 % et 12,6 % en 2021-2022, ce qui indique que la hausse n'est pas un phénomène erratique mais une translation durable du niveau des prix.

La normalisation qui suit est progressive. Le prix moyen retombe de 340 €/t à 240 €/t en 2023 (-29,5 %), puis 211 €/t en 2024 et 200 €/t en 2025. La volatilité inter-décadaire descend à 1,7 % en 2025, le niveau le plus bas depuis 2016. Le prix de décembre 2025 (185 €/t) se situe sous la moyenne historique de long terme.

5.1.2 Profil saisonnier des prix

L'analyse saisonnière, conduite sur l'ensemble des 853 observations décadales (2001-2025), calcule pour chaque mois un indice de déviation par rapport à la moyenne annuelle de 181,03 €/t. Cet indice exprime, en pourcentage, la tendance d'un mois à se situer au-dessus ou en dessous de la moyenne.

Voir annexes Tableau 13 : Statistiques saisonnières mensuelles des prix du blé tendre et recommandations d'achat à l'importation, 2001–2025 (€/t) (P 103)



Graphique 4 : Indice saisonnier mensuel des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2001–2025 (%)

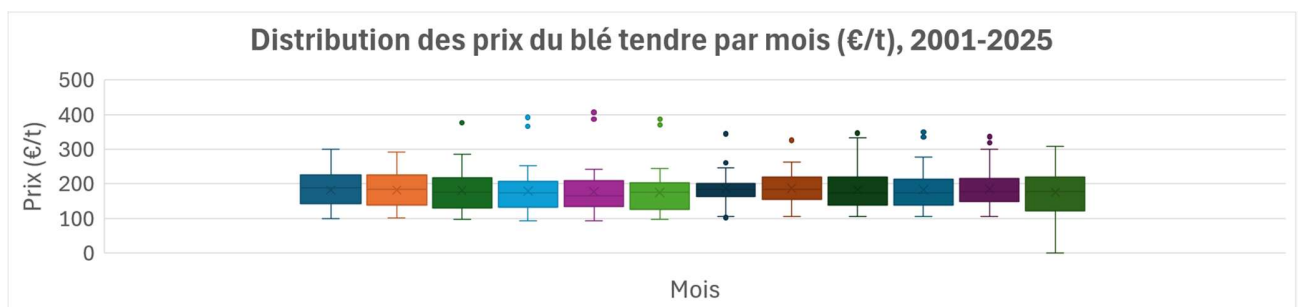
Le profil présente une asymétrie entre le premier et le second semestre de la campagne. Juin est le mois le plus favorable avec un indice de -4,03 % et un prix moyen de 174,13 €/t. En juin, le prix se

situe en dessous de la moyenne annuelle dans 61,1 % des observations, la fréquence en zone basse la plus élevée de tous les mois. Mai suit avec un indice de $-2,44\%$ et une fréquence en zone basse de $53,5\%$. Avril clôt le groupe des mois favorables ($-1,69\%$).

À l'opposé du spectre, août affiche l'indice le plus élevé ($+3,22\%$, prix moyen de $187,30\text{ €/t}$), suivi de juillet ($+2,24\%$) et de novembre ($+1,73\%$). La différence de prix moyen entre juin ($174,13\text{ €/t}$) et août ($187,30\text{ €/t}$) est de $13,17\text{ €/t}$. Rapportée à un volume d'importation annuel de $3,9\text{ Mt}$, cette différence représente un écart de coût potentiel d'environ 51 M€ par campagne entre une stratégie concentrée en juin et une stratégie concentrée en août.

Un élément du Tableau 5.3 mérite attention : l'écart-type de mars ($65,54\text{ €/t}$) est le plus élevé de la série, et le maximum de mars ($380,53\text{ €/t}$) est le deuxième plus élevé après mai ($412,91\text{ €/t}$). Cette volatilité s'explique par l'épisode de 2022, où le déclenchement de la guerre en Ukraine a provoqué une flambée des prix précisément en mars. Mars peut donc être un mois neutre en moyenne, mais potentiellement dangereux dans les années de choc géopolitique.

Décembre, avec un indice de $-0,24\%$, se situe en zone neutre mais légèrement favorable. Son écart-type de $58,29\text{ €/t}$ et son maximum contenu à $307,61\text{ €/t}$ (le plus bas de tous les mois en termes de maximum) en font un mois relativement prévisible. Cette caractéristique explique son importance dans les scénarios d'achat présentés en sections 5.5 et 5.6.



Graphique 5 : Distribution mensuelle des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2001–2025 (€/t)

5.1.3 Corrélation entre prix et volumes d'importation

L'analyse croisée prix-importations, menée sur la période 2016-2025, teste l'hypothèse d'un lien statistique entre le niveau des prix du blé tendre à Rouen et les volumes importés par le Maroc chaque mois. Le coefficient de corrélation de Pearson est calculé à trois niveaux : globalement, par année et par mois.

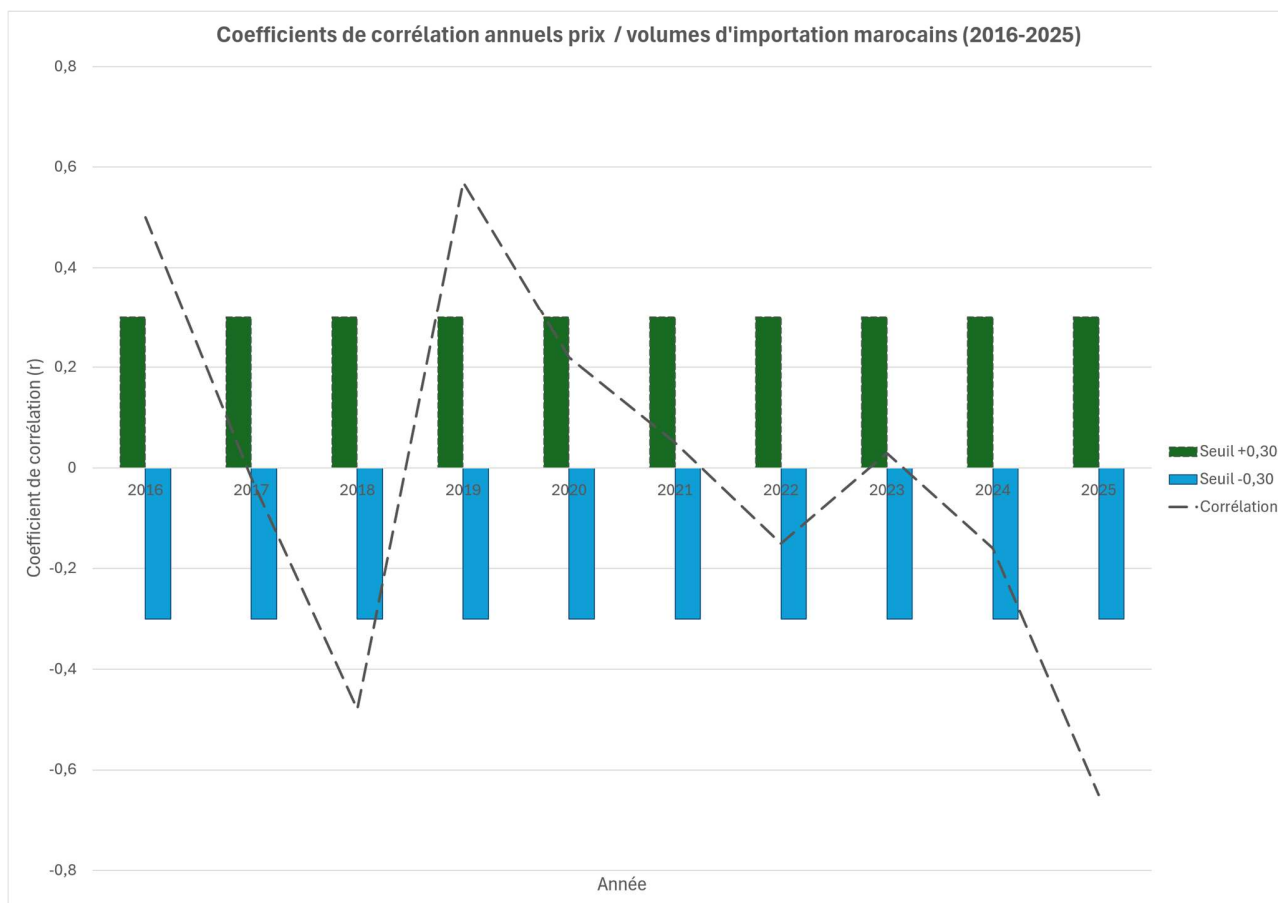
Le coefficient de corrélation globale s'établit à $r = 0,18$. Les importations marocaines répondent donc avant tout à des besoins structurels (couvrir le déficit entre production locale et consommation nationale) plutôt qu'à une logique d'arbitrage sur les prix.

Tableau 3 : Corrélation annuelle entre les prévisions de rendement CGMS-Maroc et les rendements observés du blé tendre, années sélectionnées

Corrélation par année		
Annee	Correlation (r)	Force
2016	0,5	Moderé +
2017	-0,02	Aucun
2018	-0,48	Moderé -
2019	0,57	Moderé +
2020	0,22	Faible +
2021	0,05	Aucun
2022	-0,15	Faible -
2023	0,03	Aucun
2024	-0,16	Faible -
2025	-0,65	Fort -

L'analyse par année révèle une hétérogénéité marquée. En 2025, la corrélation atteint $r = -0,65$, ce qui suggère un comportement d'achat rationnel : les volumes augmentent quand les prix baissent. En 2019, à l'inverse, la corrélation est de $r = +0,57$, ce qui traduit une logique de besoin urgent où le prix ne freine pas les achats. Plusieurs années (2017, 2021, 2023) affichent des corrélations quasi nulles.

La variabilité inter-annuelle est frappante. Sur dix années, la corrélation change de signe cinq fois. En 2021, malgré une hausse des prix de 27 %, la corrélation est quasi nulle ($r = +0,05$), ce qui signifie que les volumes d'importation n'ont pas réagi à la flambée. Cette inertie peut traduire des délais contractuels, des contrats à terme déjà engagés, ou une priorité donnée à la sécurité alimentaire indépendamment des conditions de marché.



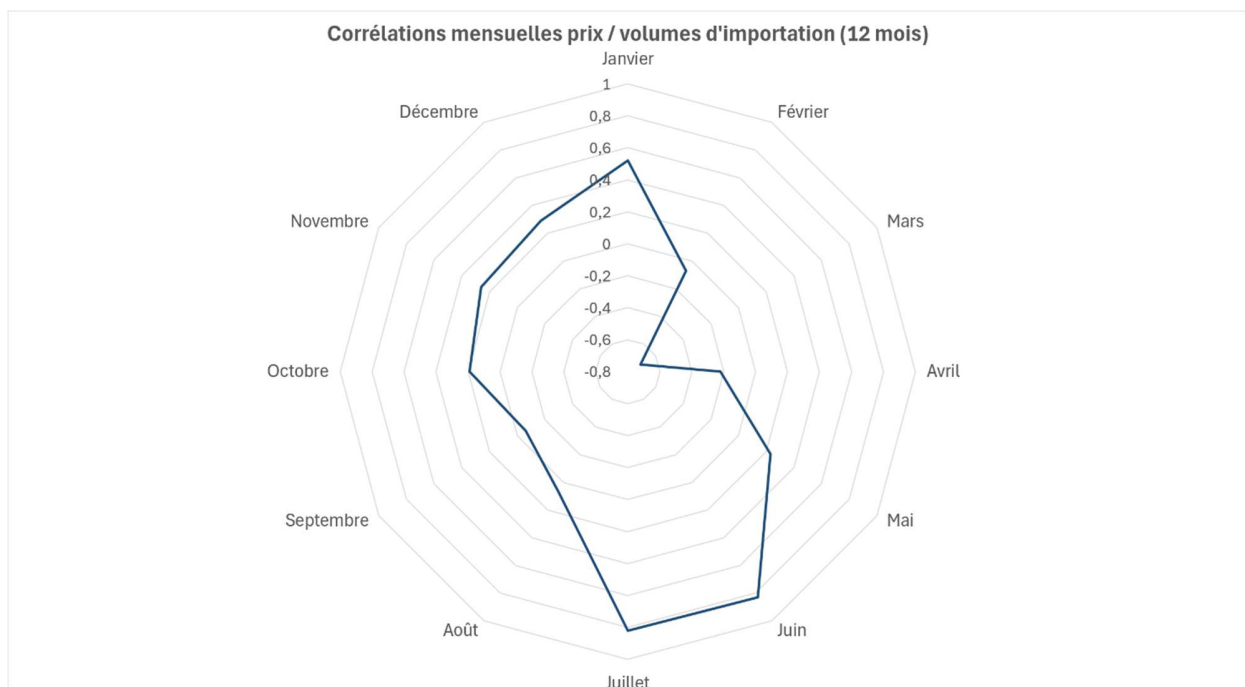
Graphique 6 : Coefficients de corrélation annuels entre les prix du blé tendre et les volumes d'importation marocains, 2016-2025

Tableau 4 : Corrélation mensuelle entre les prévisions de rendement CGMS-Maroc et les rendements observés du blé tendre, mois sélectionnés

Corrélation par mois (sur 10 ans)		
Mois	Corrélation (r)	Force
Janvier	0,52	Moderé +
Février	-0,07	Aucun
Mars	-0,71	Fort -
Avril	-0,22	Faible -
Mai	0,23	Faible +
Juin	0,83	Tres fort +
Juillet	0,82	Tres fort +
Aout	0,07	Aucun
Septembre	-0,06	Aucun
Octobre	0,19	Faible +
Novembre	0,26	Faible +
Decembre	0,29	Faible +

Deux résultats ressortent du Tableau 5.5. Les corrélations de juin ($r = 0,83$) et juillet ($r = 0,82$) sont les plus fortes de la série. Elles sont positives : quand les prix sont élevés durant ces mois, les volumes importés augmentent. Ce résultat, contre-intuitif du point de vue de la théorie microéconomique classique, s'explique par le contexte de pré-récolte. Les importations de juin-juillet répondent à des besoins d'approvisionnement urgents pour couvrir la période de soudure avant la nouvelle récolte. L'opérateur importe indépendamment du niveau de prix, car le coût d'une rupture d'approvisionnement excède le surcoût d'achat.

Mars affiche la corrélation négative la plus forte ($r = -0,71$). Quand les prix de mars sont élevés, les volumes importés baissent. Les opérateurs disposent, en mars, d'un horizon temporel suffisant avant la fin de campagne (mai) pour reporter leurs achats vers des mois ultérieurs potentiellement moins chers. Cette capacité de report n'existe pas en juin-juillet, où le calendrier est contraint.



Graphique 7 : Corrélations mensuelles entre les prix du blé tendre et les volumes d'importation marocains, 2016–2025

L'absence de corrélation à l'échelle globale ($r = 0,18$), combinée à des comportements localement contrastés, confirme que le marché d'importation marocain opère sous contrainte de besoin plutôt que selon une logique d'optimisation des prix.

5.2 Performance prédictive du modèle CGMS-Maroc

Cette section présente les résultats de l'évaluation statistique du modèle CGMS-Maroc, telle que décrite dans la méthodologie (section 4.3). L'analyse porte sur onze campagnes (2014/2015 à 2024/2025), pour la conduite bour du blé tendre, à raison de quatorze prévisions décadaires par campagne (du 1^{er} février au 21 juin).

5.2.1 Précision statistique par campagne

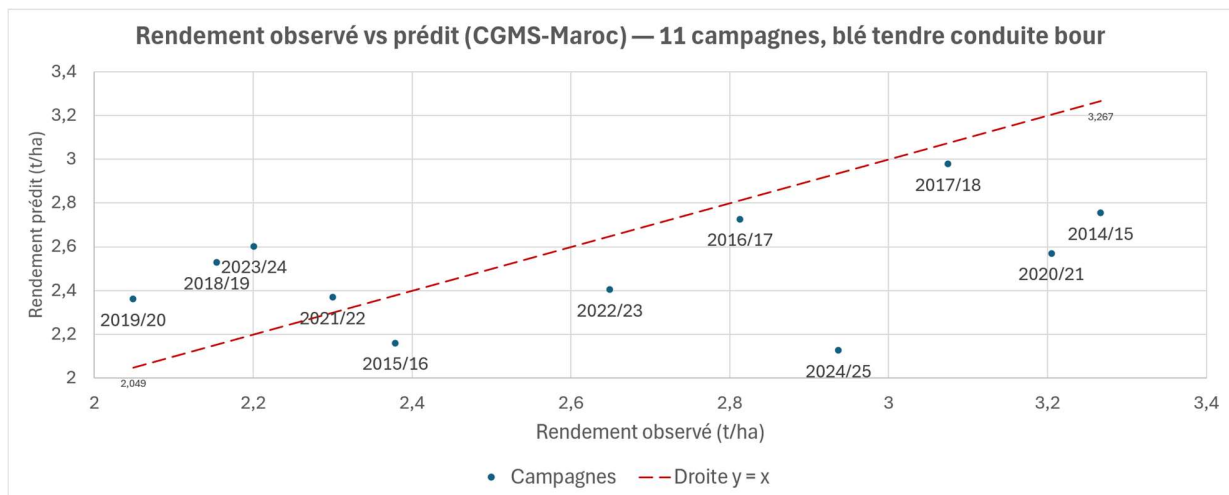
Voir annexes Tableau 14 : Performance prédictive du système CGMS-Maroc par campagne agricole, 2016–2025 (P 104)

La précision moyenne globale, toutes campagnes confondues, s'établit à 81,0 %. La dispersion est cependant importante : de 93,5 % pour la meilleure campagne (2016/2017) à 65,2 % pour la plus difficile (2019/2020), soit un écart de 28,3 points.

Les deux campagnes les plus précises partagent un trait commun : des rendements observés proches de la moyenne inter-campagnes (2,813 t/ha pour 2016/2017 et 2,300 t/ha pour 2021/2022, contre une moyenne de 2,639 t/ha). Le modèle performe mieux lorsque les conditions agronomiques sont « normales ». Pour la campagne 2016/2017, le rendement prédit moyen de 2,726 t/ha s'écarte de seulement 0,185 t/ha du rendement observé, soit la MAE la plus faible de la série.

La campagne 2019/2020 (65,2 %) est un cas extrême. Le rendement observé de 2,049 t/ha est le plus bas de la série, conséquence d'une sécheresse sévère. Le modèle l'a surestimé en moyenne à 2,361 t/ha. Paradoxalement, la MAE de cette campagne (0,344 t/ha) est la plus faible de la série en valeur absolue, ce qui signifie que l'erreur absolue est contenue. Mais rapportée à un rendement observé très bas, l'erreur relative (MAPE de 34,8 %) est élevée. Ce résultat illustre une limite connue de la MAPE : elle pénalise fortement les prévisions sur des valeurs faibles.

La campagne 2024/2025 (74,5 %) présente le problème inverse : le modèle a sous-estimé une récolte meilleure que prévu (rendement prédit de 2,127 t/ha vs observé de 2,937 t/ha). Le RMSE de 0,941 t/ha est le plus élevé de la série.



Graphique 8 : Rendements observés versus rendements prédits par CGMS-Maroc pour le blé tendre conduit en bour, 2014–2025 (t/ha)

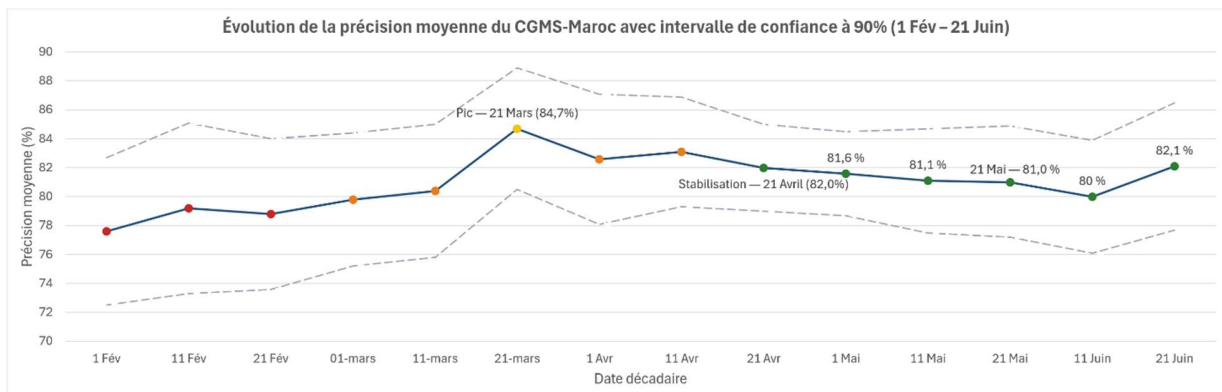
Le RMSE moyen global s'établit à 0,544 t/ha, contre une MAE de 0,467 t/ha. L'écart modéré entre ces deux indicateurs indique que le modèle ne produit pas d'erreurs extrêmes fréquentes.

5.2.2 Dynamique temporelle de la précision

Au-delà de la précision moyenne par campagne, la question opérationnelle porte sur le moment où la prévision devient suffisamment fiable pour fonder une décision d'achat.

Tableau 5 : Évolution de la précision moyenne globale des prévisions CGMS-Maroc et identification du seuil de stabilisation, février-juin

ÉVOLUTION DE LA PRÉCISION MOYENNE GLOBALE — IDENTIFICATION DU SEUIL DE STABILITÉ					
Date	Précision moyenne (%)	Variation vs précédent	Amplitude restante	Nb campagnes stabilisées	Statut
01-févr	77,6	---	7,1	0 sur 11	Trop tôt
11-févr	79,2	+1,6 pts	5,9	0 sur 11	Trop tôt
21-févr	78,8	-0,4 pts	5,9	0 sur 11	Trop tôt
01-mars	79,8	+1,0 pts	4,9	2 sur 11	Croissance
11-mars	80,4	+0,6 pts	4,7	1 sur 11	Croissance
21-mars	84,7	+4,3 pts	4,7	1 sur 11	PIC (mais non stable)
01-avr	82,6	-2,1 pts	3,1	1 sur 11	Transition
11-avr	83,1	+0,5 pts	3,1	2 sur 11	Transition
21-avr	82,0	-1,1 pts	2,1	3 sur 11	DÉBUT STABILISATION
01-mai	81,6	-0,4 pts	2,1	5 sur 11	STABLE
11-mai	81,1	-0,5 pts	2,1	5 sur 11	STABLE
21-mai	81,0	-0,1 pts	2,1	7 sur 11	STABLE
11-juin	80,0	-1,0 pts	2,1	8 sur 11	STABLE
21-juin	82,1	+2,1 pts	0,0	11 sur 11	STABLE



Graphique 9 : Évolution décadaire de la précision moyenne des prévisions CGMS-Maroc, 1er février – 21 juin

La précision progresse de 77,6 % au 1er février à 84,7 % au 21 mars, où elle atteint son maximum. La variation entre le 11 mars (80,4 %) et le 21 mars (+4,3 points) est la plus forte de la série, et reflète l'intégration des données agro-météorologiques de la phase végétative.

La lecture du Tableau 5 permet de distinguer quatre phases dans la trajectoire de la précision.

La phase d'installation (1er février au 21 février) est marquée par des oscillations autour de 78-79 %. Le modèle dispose encore de peu de données agro-météorologiques post-semis, et seulement 2 campagnes sur 11 sont individuellement stabilisées.

La phase de croissance (1er mars au 11 mars) voit la précision monter régulièrement de 79,8 % à 80,4 %. Le nombre de campagnes stabilisées passe à 4 sur 11 au 1er mars, mais retombe à 1 sur 11 au 11 mars, ce qui indique que cette croissance est fragile.

Le pic au 21 mars (84,7 %) est le score le plus élevé de la série. Mais ce pic est suivi d'une baisse de -2,1 points au 1er avril, ce qui le disqualifie comme date de fiabilité : un score élevé suivi d'une baisse de 2 points montre que le modèle est encore en phase d'ajustement. À cette date, une seule campagne sur onze est individuellement stabilisée.

La stabilisation débute au 21 avril. À partir de cette date, l'amplitude restante tombe à 2,1 points (la précision moyenne oscillera entre 80,0 % et 82,1 % jusqu'au 21 juin). La variation inter-décadaire ne dépasse plus $\pm 1,1$ point. Le nombre de campagnes stabilisées passe de 3 sur 11 au 21 avril à 7 sur 11 au 21 mai, puis 11 sur 11 au 21 juin.

Cette date de stabilisation est une moyenne. Sur une campagne aux conditions proches de la normale, la prévision converge dès février-mars. Sur une sécheresse sévère ou un profil pluviométrique atypique, elle peut rester instable jusqu'en juin — ou ne jamais converger avant la récolte. Le 21 avril indique quand la moyenne des campagnes se stabilise, pas quand chaque campagne individuelle le fait. Pour un acheteur qui utilise CGMS-Maroc comme signal de déclenchement, c'est une distinction qui a des conséquences concrètes : la même précision de 80 % en avril peut signifier une prévision fiable ou une prévision encore en train de se chercher, selon la campagne.

La perte de précision entre le pic (84,7 %) et la stabilisation (82,0 %) est de 2,7 points. Le gain en fiabilité est toutefois majeur : le modèle passe d'une phase où les variations atteignent ± 4 points à une phase où elles restent sous ± 1 point.

L'intégration des intervalles de confiance à 90 % apporte une lecture plus opérationnelle du graphique 8. Au 21 avril, la marge atteint $\pm 3,0$ points — la plus serrée de toute la série — soit un intervalle [78,4 % ; 85,6 %]. C'est à cette date que l'estimation est la plus fiable : avec 90 % de confiance, la précision moyenne du modèle se situe entre 78,4 et 85,6 %. Ce resserrement confirme le 21 avril comme point d'ancrage statistique pour toute décision d'achat fondée sur le signal CGMS-Maroc.

Le pic du 21 mars (84,7 %) mérite une lecture nuancée. Avec un intervalle de confiance à 95 % ($\pm 5,0$ pts), sa borne basse descend à 79,7 %, chevauchant largement le plateau qui suit. Avec un IC 90 % ($\pm 4,2$ pts), la borne basse remonte à 80,5 %, ce qui rapproche statistiquement ce pic du plateau 80–82 %. Autrement dit, attendre le 21 avril ne fait pas perdre de précision utile : le pic de mars est plus haut, mais pas plus fiable.

En début de série, la date du 1er février reste hors zone de confiance opérationnelle. Même avec un IC 90 %, la bande s'étend de 72,5 % à 82,7 %, soit plus de 10 points d'amplitude. Toute prévision utilisée à cette date doit être présentée avec cette incertitude explicite — elle peut induire en erreur si elle est traitée comme un signal fiable.

Note méthodologique : le seuil de 90 % retenu pour les intervalles de confiance correspond à une convention opérationnelle adaptée aux décisions agricoles, et non à un standard scientifique strict. Par ailleurs, n = 11 campagnes constitue un échantillon limité ; les bandes d'incertitude pourraient se resserrer si les campagnes atypiques — notamment 2019/2020, dont les précisions basses élargissent l'écart-type — étaient exclues de l'analyse. Pour avoir les valeurs de l'intervalle de confiance voir annexe *Tableau 16 : lecture chronologique de la précision moyenne avec un intervalle de confiance de 90% (P 105)*

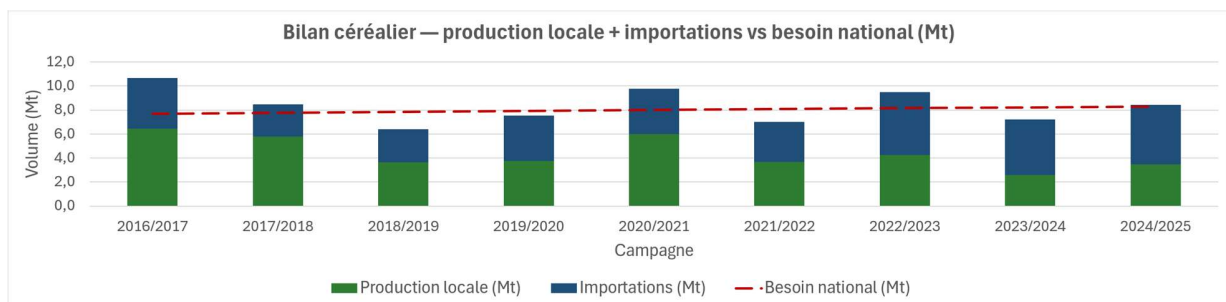
5.2.3 Date retenue pour l'exploitation opérationnelle

La date de prévision retenue pour le scénario intégré (section 5.6) est le 21 mai. Le 21 mai précède de dix jours l'ouverture de la campagne d'importation en juin, ce qui en fait la dernière prévision CGMS-Maroc disponible avant la première décision d'achat. À cette date, la précision est de 81,0 %, 7 campagnes sur 11 sont individuellement stabilisées, et l'amplitude restante n'est que de 2,1 points. Le mois supplémentaire de données agro-météorologiques par rapport au seuil de stabilisation du 21 avril n'améliore pas significativement la précision, mais il renforce la couverture individuelle des campagnes.

5.3 Bilan céréalier et déficit structurel

Le bilan céréalier, construit sur neuf campagnes (2016/2017 à 2024/2025), quantifie l'écart entre production locale et besoins nationaux en blé tendre. Les hypothèses de calcul sont décrites en section 4.3.4 : consommation de 220 kg/hab/an, population issue des projections HCP, production calculée à partir des superficies et rendements observés.

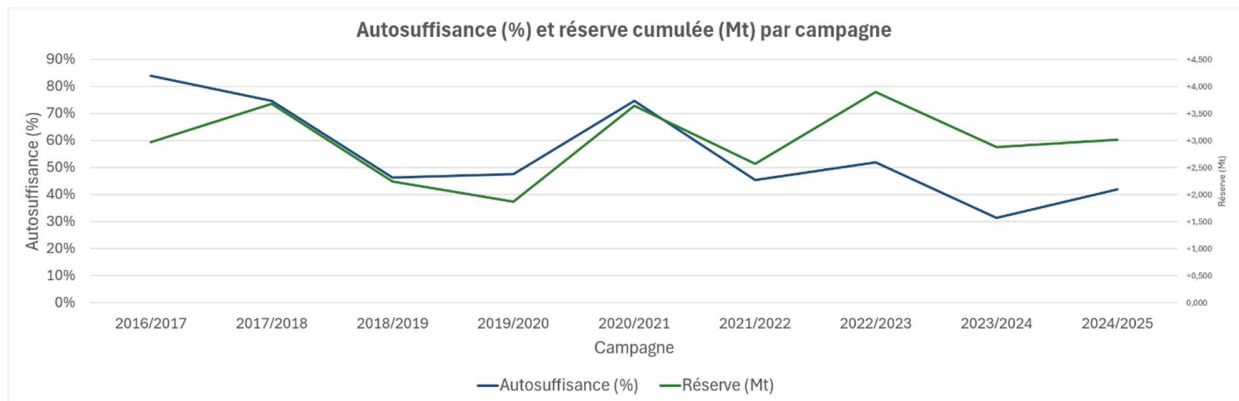
Voir annexe *Tableau 17 : Bilan céréalier simulé du blé tendre au Maroc par campagne agricole, 2016–2025 (P 106)*



Graphique 10 : Bilan céréalier simulé du blé tendre au Maroc : production locale, importations et besoin national, 2016–2025 (Mt)

Le taux d'autosuffisance moyen s'établit à 55,4 %. La variabilité entre campagnes est prononcée. La campagne 2016/2017, avec un rendement de 2,81 t/ha et une superficie de 2,29 millions d'hectares, atteint 84,0 % d'autosuffisance. La campagne 2023/2024, à l'opposé, ne couvre que 31,5 % des besoins : la superficie a chuté à 1,18 million d'hectares et le rendement à 2,20 t/ha. Entre ces deux extrêmes, le ratio varie du simple au presque triple. Cette variabilité est directement liée à la

dépendance pluviométrique du système cultural marocain, où environ 90 % des surfaces de blé tendre sont conduites en bour.



Graphique 11 : Taux d'autosuffisance (%) et réserve cumulée (Mt) du blé tendre au Maroc par campagne agricole, 2016-2025

Le déficit théorique moyen (écart entre besoin national et production locale) est de 3,59 Mt par an. Les importations effectives (3,92 Mt en moyenne) l'excèdent de 0,33 Mt, ce qui alimente une réserve qui fluctue entre 1,87 Mt (2019/2020, après deux années de faible production) et 3,90 Mt (2022/2023, après une campagne d'importation massive de 5,23 Mt). En intégrant cette réserve, la couverture totale moyenne atteint 137,3 % du besoin national, et la dépendance effective aux importations descend à 35,7 % de l'offre totale.

Le besoin national progresse de 7,67 Mt en 2016/2017 à 8,30 Mt en 2024/2025, soit une augmentation de 0,63 Mt en huit campagnes (environ 79 000 tonnes par an). Ce facteur démographique est mécanique et prévisible, mais il accroît le déficit structurel en l'absence de progression des rendements ou des superficies emblavées.

Deux limites de données affectent le dimensionnement. Les stocks marocains en fin de campagne ne font l'objet d'aucune publication officielle : le niveau de réserve au démarrage est inconnu, et le modèle ne peut l'estimer qu'à partir de soldes comptables. De même, les grains issus de la récolte nationale et les reports de la campagne précédente couvrent déjà une part du déficit au moment où la planification commence — sans que ce volume soit connu avec précision. Les deux inconnues poussent le modèle à surestimer le volume à importer.

5.4 Scénarios rétrospectifs : référentiel théorique à information parfaite

La feuille « Detail campagnes » du classeur d'analyse construit trois scénarios qui réallouent les volumes d'importation historiques vers les mois les moins chers de chaque campagne. Ces scénarios reposent sur la connaissance a posteriori des prix mensuels : ils identifient les mois les moins chers de la campagne, puis y concentrent les volumes. Aucun opérateur ne dispose de cette information au moment de la décision.

Le scénario V1 concentre les achats sur les quatre mois les moins chers (allocation 30/25/25/20 %). Le scénario V2 distribue les volumes sur six mois, avec une pondération inversement proportionnelle au prix et un plafond de 25 % par mois. Le scénario OBS (scénario observé — volumes d'importation réels) conserve les volumes de juin à septembre au réel et optimise les huit mois restants.

Voir annexe Tableau 18 : Comparaison des coûts d'importation simulés selon les scénarios rétrospectifs (V1, V2, OBS) par campagne agricole, 2016–2025 (P 107)

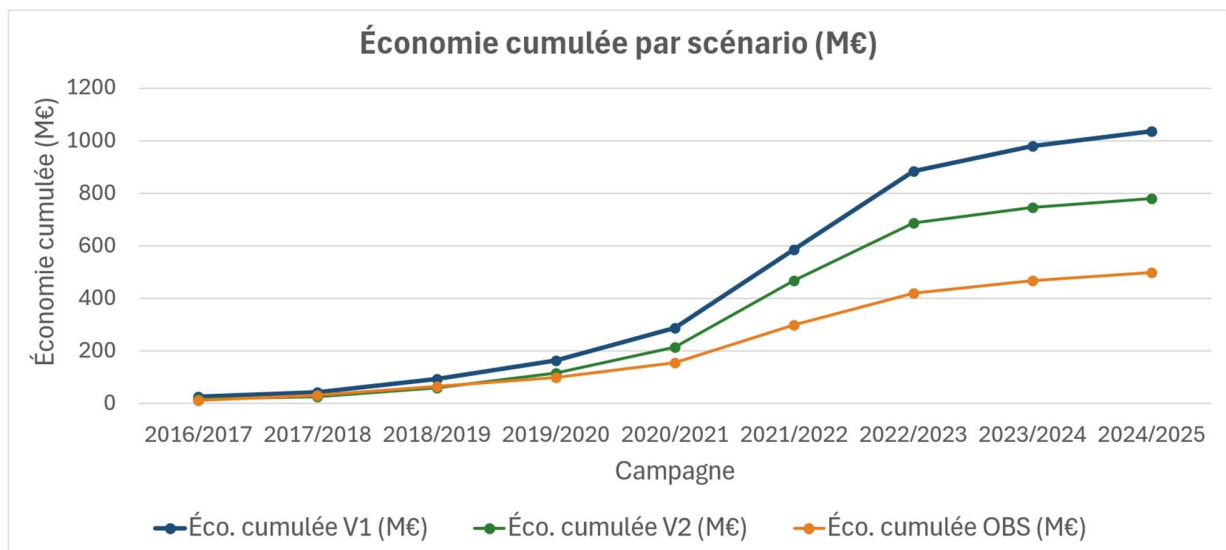
Tableau 6 : Taux d'économie globaux des scénarios rétrospectifs par rapport au coût d'importation réel, 2016–2025

TAUX D'ECONOMIE			
Scenario	Economie totale (M€)	Eco moy./an (M€)	Taux (%)
CGMS V1 (4 mois, 30/25/25/20)	1.036,5	115,2	13,3%
CGMS V2 (6 mois, prop. inv., cap 25%)	780,6	86,7	10,0%
Observe (oct -> 8 mois)	499,0	55,4	6,4%

V1 génère une économie cumulée de 1 036 M€ sur neuf campagnes, soit 115 M€/an en moyenne et un taux de 13,3 %. V2 atteint 781 M€ (86,7 M€/an, 10,0 %). OBS produit 499 M€ (55,4 M€/an, 6,4 %).

L'écart entre V1 (13,3 %) et OBS (6,4 %) montre que la fenêtre de juin à septembre (exclue dans OBS) porte une part importante de l'économie potentielle. Cette observation est cohérente avec le profil saisonnier (section 5.1.2), qui identifie juin comme le mois le plus favorable.

La campagne 2021/2022 illustre l'ampleur du potentiel théorique. Le coût réel est de 1 051 M€ dans un contexte de prix moyen de 288 €/t. V1, en concentrant les achats sur les quatre mois les moins chers, ramène ce coût à 751 M€, soit une économie de 300 M€ sur une seule campagne. Mais cette économie suppose de savoir, dès le début de la campagne, que les prix de mars (379 €/t) et avril (386 €/t) 2022 seront les plus élevés, et que décembre 2021 (280 €/t) sera relativement moins cher.



Graphique 12 : Économies cumulées par scénario rétrospectif d'optimisation des importations de blé tendre, 2016–2025 (M€)

Ces résultats établissent la borne supérieure de ce qu'une optimisation du calendrier d'achat pourrait atteindre. Ils servent de référence pour évaluer les scénarios opérationnels des sections suivantes.

5.5 Scénarios saisonniers : stratégies d'achat à allocation fixe

Les scénarios S1 à S5 exploitent la saisonnalité historique des prix (section 5.1.2) pour définir des règles d'allocation fixes. L'allocation mensuelle est déterminée à l'avance et reste identique d'une campagne à l'autre. Le volume total importé par campagne est conservé à l'identique du réel.

Les allocations des cinq scénarios sont les suivantes : S1 réparti sur trois mois (juin, décembre, mai à 33,3 % chacun) ; S2 sur quatre mois (juin 30 %, décembre 25 %, mai 25 %, avril 20 %) ; S3 sur cinq mois pondérés par l'indice saisonnier (juin 33,0 %, décembre 27,5 %, mai 20,7 %, avril 15,0 %, mars 3,8 %) ; S4 sur neuf mois avec hiérarchie de priorité (juin 26,4 %, décembre 22,0 %, mai 16,5 %, avril 12,0 %, mars 3,1 %, et 5 % sur septembre, octobre, janvier, février) ; S5 conserve les quatre premiers mois (juin-septembre) au réel et optimise les huit mois restants.

5.5.1 Illustration sur la campagne 2016/2017

La campagne 2016/2017 (volume total : 4 200 kt, coût réel : 677,6 M€) illustre le fonctionnement des scénarios.

Voir annexe Tableau 19 : Détail mensuel des allocations et coûts d'importation simulés par scénario, campagne 2016/2017 (juin-mai) (P 108)

Sur cette campagne, les cinq scénarios génèrent tous une économie par rapport au réel. S1 produit un coût de 655,4 M€, soit 22,2 M€ d'économie. S4 atteint 661,7 M€ (15,9 M€ d'économie). S5 se limite à 4,0 M€ d'économie, sa marge de manœuvre étant restreinte par le volume réel déjà engagé sur les quatre premiers mois (949 kt sur 4 200 kt, soit 23 %).

Les écarts entre scénarios tiennent à la concentration des achats. S1, en répartissant l'intégralité du volume sur trois mois, bénéficie pleinement du prix favorable de juin 2016 (149,55 €/t), le mois le moins cher de la campagne. Il alloue 1 400 kt à ce seul mois. S4, en distribuant du volume sur neuf mois dont certains à prix plus élevé (novembre 165,28 €/t, octobre 161,08 €/t), dilue partiellement cet avantage.

Le cas de S5 est instructif. Ce scénario conserve les volumes réels de juin à septembre (949 kt), ce qui représente 23 % du volume annuel. Les 77 % restants sont redistribués sur les huit mois d'octobre à mai selon le profil saisonnier. L'économie n'est que de 4,0 M€, car les quatre premiers mois conservés au réel incluent août (331,5 kt à 162,33 €/t), un mois défavorable selon le profil saisonnier.

5.5.2 Résultats consolidés sur neuf campagnes

Voir annexe Tableau 20 : Synthèse comparative des coûts et économies simulés par scénario prédictif d'importation de blé tendre, 2016–2025 (M€) (p109)

S1 arrive en tête avec 191,3 M€ d'économie totale (2,46 %). S2 et S3 suivent de près (187,3 M€ et 184,4 M€). S4 se situe en retrait (160,9 M€, 2,07 %). S5 est quasi-nul (6,8 M€, 0,09 %).

Le Tableau 5.11 montre que la performance n'est pas uniforme selon les campagnes. En 2020/2021, S1 génère une économie de 77,8 M€, sa meilleure performance. La campagne coïncide avec une hausse de prix progressive tout au long de l'année (de 160 €/t en juin 2020 à 223 €/t en mai 2021) : concentrer les achats en début de campagne est mécaniquement avantageux. En 2023/2024, en revanche, S1 génère un surcoût de 30,1 M€. Les mois de juin, décembre et mai n'étaient pas les moins chers cette année-là, et la stratégie fixe ne peut pas s'adapter à ce retournement.

La campagne 2021/2022 est la plus contrastée. S4 y réalise sa meilleure performance (69,1 M€), alors que S5 affiche son pire résultat (-80,3 M€). L'explication tient à la structure des volumes réels. En 2021/2022, aucune importation significative n'a eu lieu entre juin et octobre (5,5 kt seulement). L'essentiel du volume a été concentré sur décembre-avril, en pleine période de flambée des prix (de 280 €/t en décembre 2021 à 386 €/t en avril 2022). S5, en conservant les volumes de juin-septembre au réel (soit presque zéro), reproduit cette concentration défavorable. S4, en imposant 26,4 % du volume en juin (à 209 €/t), capte l'essentiel de l'économie.

5.5.3 Le scénario S4 comme stratégie réaliste

L'écart entre S1 et S4 (30,4 M€ sur neuf campagnes, soit 3,4 M€/an) mérite d'être relativisé. S1, en répartissant la totalité des volumes sur trois mois, impliquerait des flux mensuels de 1 400 kt sur certaines campagnes. Les données réelles montrent que le volume mensuel le plus élevé observé est de 1 111 kt (avril 2017), et qu'un seul mois dépasse 850 kt sur les 108 mois de la série. Concentrer un tiers du volume annuel sur un unique mois soulève des contraintes de capacité portuaire et de stockage que le taux d'économie ne mesure pas. Par ailleurs, concentrer un tiers des achats annuels sur un seul mois expose l'acheteur au risque d'un pic de prix ponctuel : un événement géopolitique ou climatique survenant en juin neutraliserait l'ensemble de la stratégie.

S4, en répartissant le volume sur neuf mois (seuls juillet, août et novembre sont exclus), maintient un flux d'importation quasi-continu. Cette configuration est cohérente avec les données réelles, où les importations se distribuent effectivement sur dix à douze mois selon les campagnes. Son taux d'économie de 2,07 % (17,9 M€/an) reste significatif pour une stratégie qui ne requiert ni outil prédictif ni information en temps réel. Le Tableau 5.11 montre par ailleurs que S4 affiche des surcoûts sur seulement deux campagnes (2023/2024 et 2024/2025), contre trois pour S1, ce qui en fait la stratégie la plus régulière.

5.5.4 Limites des scénarios saisonniers

Les scénarios saisonniers présentent deux limites structurelles. Ils appliquent le même calendrier quelle que soit la campagne : la saisonnalité historique est une tendance moyenne, dont certaines

campagnes s'écartent fortement. Ils ne se prononcent pas non plus sur le volume total à importer, seulement sur sa répartition temporelle. Pour un opérateur confronté à l'incertitude sur la récolte future, la question n'est pas seulement quand acheter, mais aussi combien.

5.6 Scénario intégré prédictif : estimation conjointe du volume et du calendrier

Le scénario intégré, décrit dans la feuille « Scénarios Prédictifs » du classeur d'analyse, lève les deux limites identifiées ci-dessus. Il estime le volume d'importation nécessaire à partir de la prévision de rendement CGMS-Maroc du 21 mai, puis le répartit dans le temps selon le calendrier saisonnier. Un mécanisme de réserve stratégique dynamique module le volume cible en fonction du contexte de prix et de production.

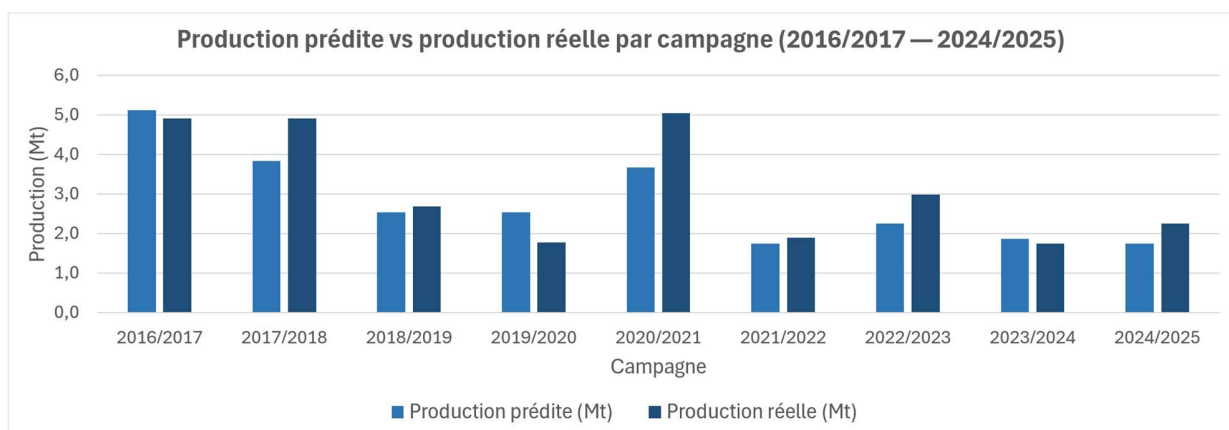
5.6.1 Paramètres du modèle

Le modèle repose sur les paramètres suivants, tous ajustables dans le classeur d'analyse. La consommation est fixée à 220 kg/hab/an. La réserve stratégique cible est de 2,074 Mt (trois mois de consommation). Deux seuils encadrent cette cible : un minimum de 1,04 Mt (1,5 mois, activé lorsque les prix sont élevés et l'autosuffisance faible) et un maximum de 3,11 Mt (4,5 mois, activé lorsque les prix sont bas et l'autosuffisance bonne). Les seuils de prix sont de $\pm 15\%$ par rapport à la moyenne historique. Les seuils d'autosuffisance sont fixés à 30 % et 50 %.

Le calendrier d'allocation mensuelle est le suivant : juin 15 %, juillet 0 %, août 0 %, septembre 6 %, octobre 6 %, novembre 6 %, décembre 18 %, janvier 7 %, février 7 %, mars 7 %, avril 12 %, mai 16 %. La Phase 1 (juin-septembre) porte 21 % du volume, la Phase 2 (octobre-mai) 79 %.

5.6.2 Données de base par campagne

Voir annexe Tableau 21 : Données de base par campagne agricole mobilisées dans le scénario prédictif intégré(S6), 2016–2025 (P 110)



Graphique 13 : Production de blé tendre prédite par CGMS-Maroc versus production réelle observée, 2016–2025 (Mt)

L'écart entre production prédite et production réelle varie de +43,6 % (2019/2020, surestimation) à -27,2 % (2020/2021, sous-estimation). La médiane des écarts se situe autour de -8 %, ce qui indique une tendance du modèle à sous-estimer la production. Sur les neuf campagnes, six montrent une sous-estimation et trois une surestimation.

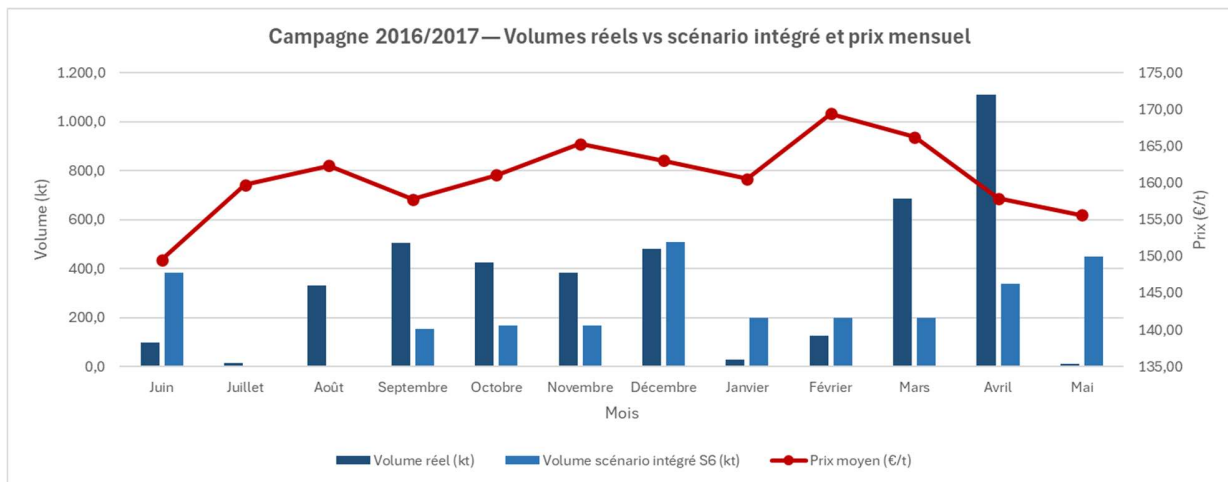
La surestimation de 2019/2020 (+43,6 %) est le cas le plus problématique. Le modèle a prédit 2,54 Mt alors que la récolte n'a été que de 1,77 Mt. En Phase 1, le modèle a donc dimensionné les importations sur la base d'un déficit de 5,37 Mt (besoin – production prédite), alors que le déficit réel était de 6,14 Mt. Le réajustement en Phase 2 corrige cette erreur, mais les volumes de Phase 1 sont déjà engagés à un niveau insuffisant.

La campagne 2024/2025 illustre la situation inverse : production prédite de 1,75 Mt contre 2,25 Mt réelle. Le modèle a sous-estimé la récolte, ce qui conduit à surestimer les importations dès la Phase 1. Le volume excédentaire vient alimenter la réserve.

5.6.3 Résultats détaillés : campagne 2016/2017

Tableau 7 : Détail mensuel des volumes et coûts d'importation réels versus scénario S6 (prédictif intégré), campagne 2016/2017

CAMPAGNE 2016/2017 Phase 1: Prédiction 21 mai → Jun-Sep Phase 2: Rendement réel → Oct-Mai						
Mois	Année	Prix (€/t)	Vol. réel (kt)	Coût réel (M€)	S6 Vol (kt)	S6 Coût (M€)
Juin	2016	149,55	98,7	14,8	382,0	57,1
Juillet	2016	159,75	14,7	2,3	0,0	0,0
Août	2016	162,33	331,5	53,8	0,0	0,0
Septembre	2016	157,79	504,3	79,6	152,8	24,1
Octobre	2016	161,08	423,8	68,3	168,9	27,2
Novembre	2016	165,28	384,6	63,6	168,9	27,9
Décembre	2016	163,01	479,6	78,2	506,7	82,6
Janvier	2017	160,55	30,0	4,8	197,1	31,6
Février	2017	169,42	125,5	21,3	197,1	33,4
Mars	2017	166,24	685,8	114,0	197,1	32,8
Avril	2017	157,90	1.110,5	175,3	337,8	53,3
Mai	2017	155,63	10,7	1,7	450,4	70,1
TOTAL			4.199,7	677,6	2.758,8	440,2



Graphique 14 : Volumes d'importation réels versus scénario prédictif intégré (S6) et prix mensuel du blé tendre, campagne 2016/2017

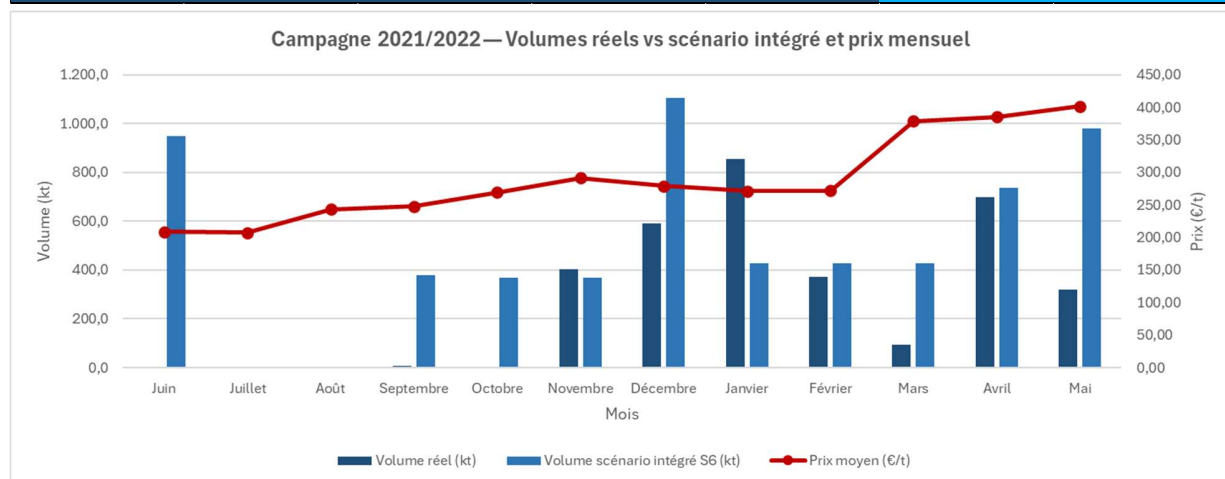
Le modèle importe 2 759 kt, contre 4 200 kt pour le réel, soit 1 441 kt de moins (-34 %). Cette réduction s'explique par le contexte de la campagne : la production prédite de 5,12 Mt est élevée, les prix sont bas (160,7 €/t en moyenne), et la réserve de début de campagne (3,11 Mt) est au maximum. Le modèle estime que le déficit à couvrir est modéré et dimensionne les importations en conséquence.

Le coût du scénario est de 440,2 M€, contre 677,6 M€ pour le réel, soit une économie de 237,4 M€. Le prix moyen par tonne du scénario (159,6 €/t) est quasiment identique au prix moyen réel (161,3 €/t). L'économie provient presque entièrement de la réduction de volume, et non d'un meilleur calendrier.

5.6.4 Résultats détaillés : campagne 2021/2022 (campagne de crise)

Tableau 8 : Détail mensuel des volumes et coûts d'importation réels versus scénario S6 (prédictif intégré), campagne 2021/2022

CAMPAGNE 2021/2022 Phase 1: Prédiction 21 mai → Jun-Sep Phase 2: Rendement réel → Oct-Mai						
Mois	Année	Prix (€/t)	Vol. réel (kt)	Coût réel (M€)	S6 Vol (kt)	S6 Coût (M€)
Juin	2021	208,78	0,0	0,0	949,1	198,2
Juillet	2021	207,54	0,0	0,0	0,0	0,0
Août	2021	243,35	0,0	0,0	0,0	0,0
Septembre	2021	248,27	5,5	1,4	379,6	94,3
Octobre	2021	269,84	0,0	0,0	368,0	99,3
Novembre	2021	291,77	403,3	117,7	368,0	107,4
Décembre	2021	279,61	591,6	165,4	1.103,9	308,7
Janvier	2022	271,27	854,4	231,8	429,3	116,5
Février	2022	271,96	371,8	101,1	429,3	116,7
Mars	2022	379,02	92,3	35,0	429,3	162,7
Avril	2022	385,81	698,8	269,6	735,9	283,9
Mai	2022	402,18	321,1	129,1	981,2	394,6
TOTAL			3.338,8	1.051,1	6.173,5	1.882,2



Graphique 15 : Volumes d'importation réels versus scénario prédictif intégré (S6) et prix mensuel du blé tendre, campagne 2021/2022

La campagne 2021/2022 est celle où le scénario intégré produit le surcoût le plus élevé : 831 M€ (1 882 M€ contre 1 051 M€). Le modèle importe 6 174 kt, soit 85 % de plus que le réel (3 339 kt).

La production prédite est de 1,74 Mt, la plus basse de la série, correspondant à une autosuffisance prédite de 21,6 %. Cette prédiction est proche de la réalité (production réelle de 1,89 Mt). Le modèle identifie correctement la faiblesse de la récolte et dimensionne un volume d'importation élevé. Mais il applique en même temps la réserve standard de 2,074 Mt (les prix de la campagne précédente, à 200 €/t, ne dépassent pas le seuil de +15 %), ce qui gonfle le volume total.

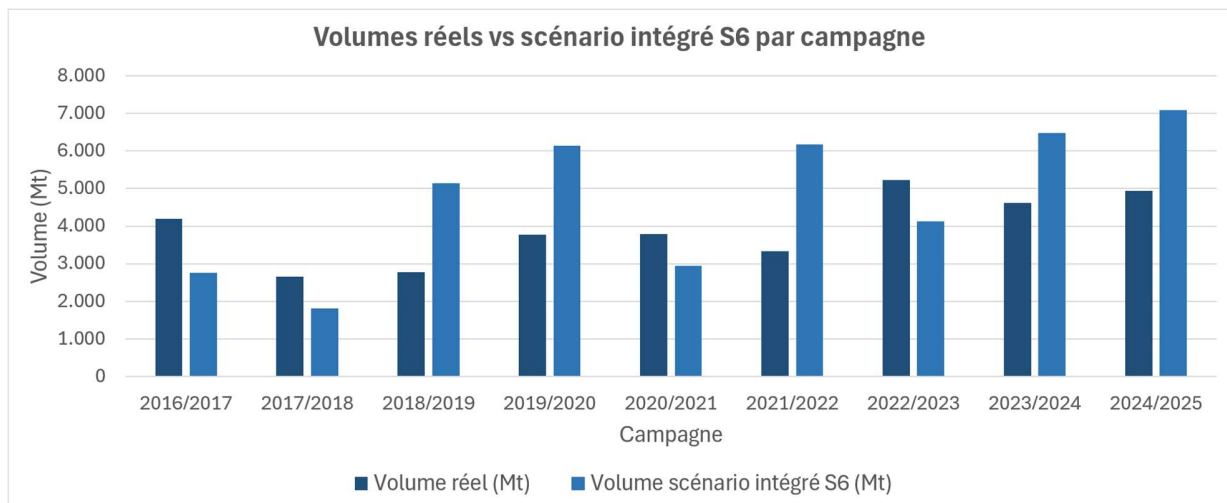
Le prix moyen de la campagne est de 288 €/t, et les mois de mars à mai 2022 dépassent 379 €/t. Le modèle n'a aucun moyen d'anticiper cette flambée : il distribue le volume selon le calendrier

saisonnier, qui attribue 12 % à avril et 16 % à mai. Le volume alloué à mai (981 kt × 402 €/t = 395 M€) représente à lui seul 21 % du coût total du scénario.

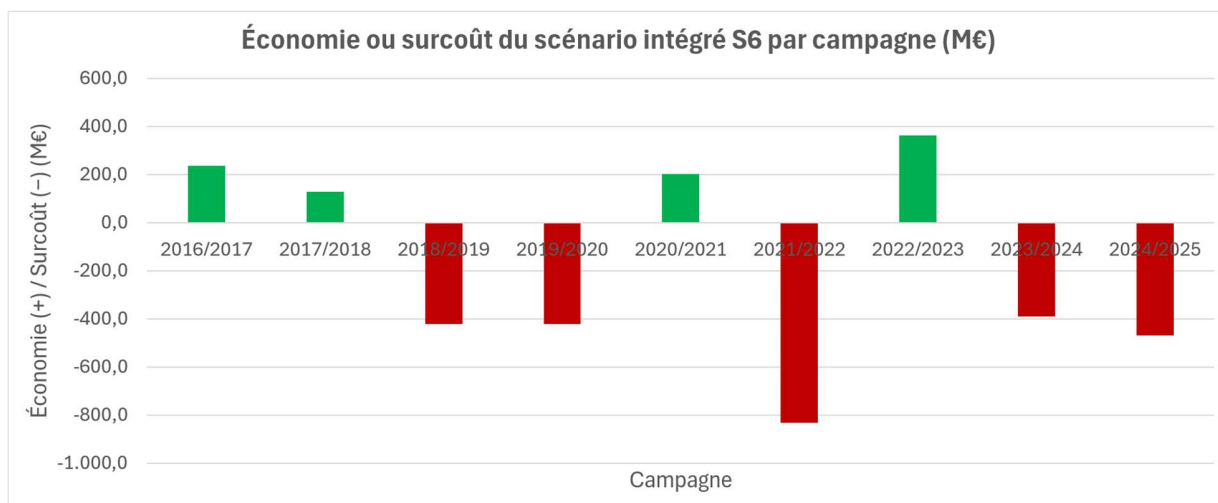
5.6.5 Résultats récapitulatifs sur neuf campagnes

Tableau 9 : Tableau récapitulatif de comparaison entre le scénario prédictif intégré (S6) et les volumes et coûts d'importation réels, 2016–2025

TABLEAU RÉCAPITULATIF — COMPARAISON SCÉNARIOS PRÉDICTIONNELS vs RÉALITÉ					
Campagne	Vol. Réel (Mt)	Coût Réel (M€)	S6 Vol (Mt)	S6 Coût (M€)	S6 Éco (M€)
2016/2017	4.199,7	677,6	2.758,8	440,2	237,4
2017/2018	2.661,3	403,8	1.805,5	275,6	128,3
2018/2019	2.767,6	523,2	5.148,5	944,9	-421,8
2019/2020	3.766,8	697,0	6.139,5	1.117,3	-420,3
2020/2021	3.785,8	779,6	2.945,9	576,1	203,5
2021/2022	3.338,8	1.051,1	6.173,5	1.882,2	-831,1
2022/2023	5.232,3	1.599,0	4.132,0	1.235,9	363,2
2023/2024	4.618,9	985,4	6.475,4	1.374,7	-389,3
2024/2025	4.940,7	1.065,1	7.083,1	1.533,3	-468,3
TOTAL	35.311,9	7.781,7	42.662,2	9.380,2	-1.598,5
MOYENNE/AN	3.923,5	864,6	4.740,2	1.042,2	-177,6
ÉCO. %			20,8%	20,5%	-20,5%



Graphique 16 : Volumes d'importation réels versus volumes simulés dans le scénario prédictif intégré (S6), par campagne agricole, 2016–2025 (Mt)



Graphique 17 : Économie ou surcoût annuel généré par le scénario prédictif intégré (S6) par rapport au coût d'importation réel, 2016–2025 (M€)

Le scénario génère une économie dans quatre campagnes et un surcoût dans cinq. Les campagnes bénéficiaires (2016/2017, 2017/2018, 2020/2021, 2022/2023) partagent un trait commun : le modèle y importe moins que le réel, car la production prédite est correcte ou surestimée, ce qui réduit le volume cible. Les campagnes de surcoût correspondent soit à des erreurs de prévision (2019/2020), soit à des années de crise de prix (2021/2022), soit à une accumulation de réserve en contexte d'autosuffisance faible (2024/2025).

5.6.6 Divergences de volume entre le modèle et le réel

Sur les neuf campagnes, le scénario intégré génère un volume total de 42 662 kt, contre 35 312 kt pour le réel, soit un excédent de 7 350 kt (+20,8 %). Le Tableau 10 montre que cette divergence n'est pas uniforme : le modèle importe moins que le réel dans trois campagnes (2016/2017, 2017/2018, 2022/2023) et davantage dans les six autres.

Le facteur principal est la réserve stratégique. Le modèle dimensionne ses importations pour couvrir le déficit de la campagne en cours et pour atteindre un niveau de réserve cible. Lorsque ce niveau est fixé à 3,11 Mt (réserve maximale, en période de prix bas), le modèle importe davantage que ce que la campagne seule exigerait. Les importations réelles ne suivent pas cette logique de lissage inter-campagnes.

L'erreur de prévision joue aussi un rôle. Lorsque le CGMS-Maroc sous-estime la production (cas de 2024/2025 : production prédite 1,75 Mt vs réelle 2,25 Mt), le modèle anticipe un déficit plus important et calibre ses importations en conséquence. Le réajustement en Phase 2 corrige partiellement cette erreur, mais le volume de Phase 1 est déjà engagé.

Le modèle intègre enfin un biais de prudence systématique : le coût politique et économique d'une rupture d'approvisionnement étant supérieur au coût d'un surstockage temporaire, le modèle tend à surapprovisionner.

5.6.7 Analyse de l'économie réelle

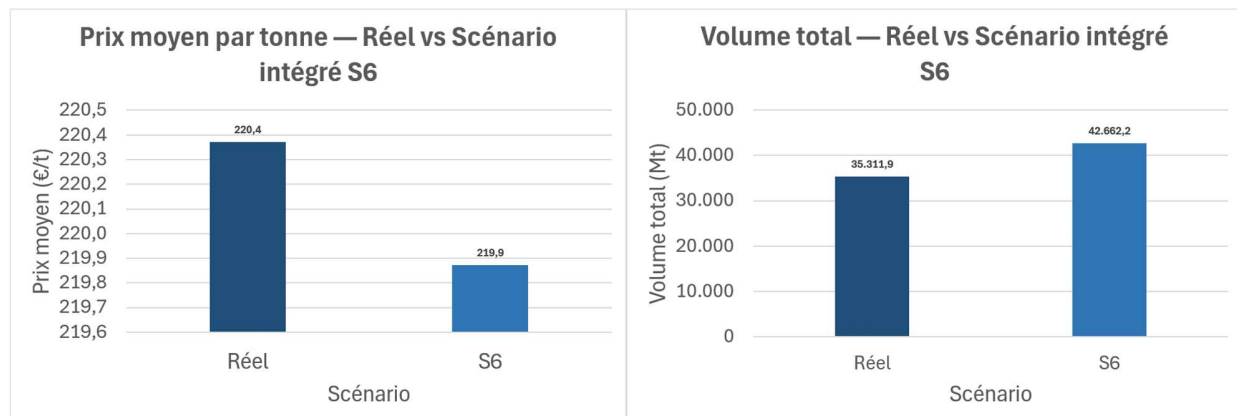
La comparaison brute des coûts totaux (9 380 M€ pour le scénario vs 7 782 M€ pour le réel) donne un surcoût apparent de 1 598 M€. Mais cette comparaison est trompeuse, car le scénario a importé 7 350 kt de blé supplémentaire.

Tableau 10 : Analyse de l'économie réelle du scénario prédictif intégré (S6) après correction pour les volumes supplémentaires, 2016–2025

ANALYSE DE L'ÉCONOMIE RÉELLE DU SCÉNARIO S6			
Indicateur	Réel	S6	Écart
Volume total (Mt)	35.311,9	42.662,2	+7.350,3
Coût total (M€)	7.781,7	9.380,2	+1.598,5
Prix moyen par tonne (€/t)	220,4	219,9	-0,5

Économie par tonne (€/t)	-0,5
Économie par tonne (%)	-0,2%
Blé supplémentaire obtenu (kt)	+7.350,3
Blé supplémentaire obtenu (%)	+20,8%
Valeur du blé supplémentaire (M€)	1.619,8

BÉNÉFICE NET RÉEL (M€)	21,3	sur 9 campagnes
BÉNÉFICE NET MOYEN PAR AN (M€)	2,4	par campagne
BÉNÉFICE NET RÉEL (%)	0,3%	du coût réel total



Graphique 18 : Comparaison du prix moyen par tonne et du volume total importé entre la situation réelle et le scénario prédictif intégré (S6), 2016–2025

Le prix moyen par tonne du scénario (219,87 €/t) est inférieur de 0,50 €/t au prix moyen réel (220,37 €/t). Le modèle obtient chaque tonne de blé à un coût légèrement inférieur, tout en important 20,8 % de volume supplémentaire.

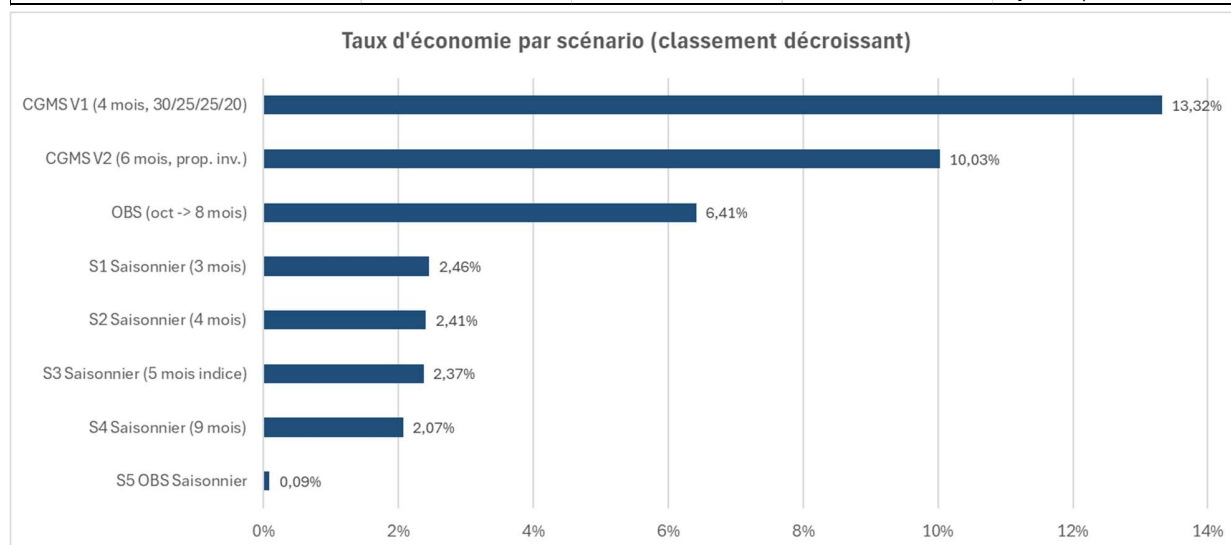
Le surcoût total réel, c'est-à-dire le coût additionnel attribuable à la stratégie de calendrier une fois neutralisé l'effet volume, s'établit à 21,3 M€ sur neuf campagnes (2,4 M€/an). Ce montant représente 0,27 % du coût réel total. Le blé supplémentaire obtenu (7 350 kt) a une valeur de 1 620 M€ au prix moyen du scénario. Le ratio coût additionnel / valeur du blé supplémentaire est de 1,3 %.

L'Annexe Tableau 23 : Analyse de l'économie réelle du scénario prédictif intégré (S6) après correction pour les volumes supplémentaires, sans la campagne 2021/2022 (P 111), présente les résultats S6 sur deux périmètres : les neuf campagnes 2016–2025, et les huit campagnes hors 2021/2022. Sur l'ensemble de la période, le bénéfice net s'établit à 21,3 M€ (0,3 %) pour un écart de prix de -0,5 €/t. Hors 2021/2022, ces valeurs passent à 101 M€ (1,5 %) et -2,8 €/t. Une seule campagne sur neuf concentre l'essentiel de la dégradation du résultat global.

5.7 Synthèse comparative des scénarios

Tableau 11 : Synthèse comparative des économies générées par l'ensemble des scénarios simulés sur neuf campagnes agricoles, 2016–2025

Scénario	Eco totale 9 ans (ME)	Eco moy./an (ME)	Taux (%)	Type
CGMS V1 (4 mois, 30/25/25/20)	1.036,5	115,2	13,3%	Predictif (CGMS)
CGMSV2 (6 mois, prop. inv.)	780,6	86,7	10,0%	Predictif (CGMS)
OBS (oct -> 8 mois)	499,0	55,4	6,4%	Donnees reelles
S1 Saisonnier (3 mois)	191,3	21,3	2,5%	Saisonnier fixe
S2 Saisonnier (4 mois)	187,3	20,8	2,4%	Saisonnier fixe
S3 Saisonnier (5 mois indice)	184,4	20,5	2,4%	Saisonnier fixe
S4 Saisonnier (9 mois)	160,9	17,9	2,1%	Saisonnier fixe
S5 OBS Saisonnier	6,8	0,8	0,1%	Hybride (reel+saisonnier)



Graphique 19 : Taux d'économie réalisés par rapport au coût d'importation réel, comparaison de l'ensemble des scénarios simulés, 2016–2025 (%)

Les scénarios rétrospectifs (V1, V2, OBS) forment la borne supérieure : entre 6,4 % et 13,3 % d'économie, mais inaccessibles en temps réel. L'écart entre V1 et S1 (845 M€ sur neuf campagnes) mesure la valeur de l'information sur les prix futurs.

Les scénarios saisonniers (S1 à S4) capturent entre 2,1 % et 2,5 % de la marge théorique. Le fait que S1 (trois mois à parts égales) produise un résultat quasi identique à S3 (cinq mois pondérés par l'indice saisonnier) suggère que la sophistication de la règle d'allocation importe moins que le choix des mois. Tant que les achats se concentrent sur juin, décembre et mai, la performance est comparable.

Le scénario intégré ne se compare pas directement aux autres en termes de taux d'économie, car il ne conserve pas le même volume d'importation. Il opère sur un registre différent : là où les scénarios saisonniers et rétrospectifs répondent à la question « comment répartir un volume donné pour minimiser le coût ? », le scénario intégré répond à la question « quel volume importer et quand, en utilisant la prévision CGMS-Maroc comme signal de planification ? ». Son surcoût unitaire de 0,50 €/t est le prix d'une stratégie d'approvisionnement autonome qui, en contrepartie, sécurise 20,8 % de volume supplémentaire et constitue des réserves stratégiques.

6. DISCUSSION

6.1 Réponse à l'hypothèse centrale : ce que les résultats confirment et ce qu'ils relativisent

Ce travail partait d'une question directe : les prévisions de CGMS-Maroc peuvent-elles améliorer les décisions d'achat de blé tendre ? La réponse est oui — mais elle dépend fortement de ce qu'on entend par « améliorer ».

Sur neuf campagnes, le scénario intégré S6 achète chaque tonne de blé à 219,87 €/t en moyenne, contre 220,37 €/t pour les achats réels. Cet écart de 0,50 €/t paraît faible. Mais lire S6 uniquement comme un scénario de calendrier, c'est passer à côté de ce qu'il fait : c'est le seul scénario qui estime lui-même le volume à importer, à partir d'un signal agronomique externe. S1 à S4 répartissent différemment un volume donné. S6 répond à une question d'un autre ordre — combien acheter, et quand — en prenant la prévision CGMS-Maroc du 21 mai comme point de départ. C'est cette différence de nature qui fonde la contribution du mémoire, pas le différentiel de 0,50 €/t.

S6 génère une économie dans quatre campagnes sur neuf et un surcoût dans cinq. Le résultat le plus dégradé — 831 M€ de surcoût en 2021/2022 — doit être traité à part. Cette campagne n'est pas ordinaire : les prix du blé à Rouen ont atteint 413 €/t en mai 2022 sous l'effet de l'invasion russe de l'Ukraine, un choc sans équivalent sur la période étudiée. CGMS-Maroc a correctement prévu la faiblesse de la récolte marocaine (production prédite : 1,74 Mt, réelle : 1,89 Mt). Mais aucun modèle agronomique ne peut anticiper une flambée de prix déclenchée par un conflit armé. Le modèle a bien diagnostiqué le besoin ; il n'a pas pu contextualiser le prix. Ce sont deux fonctions distinctes, et les amalgamer dans un bilan agrégé revient à reprocher à CGMS-Maroc de ne pas être un modèle géopolitique. Le surcoût de 831 M€ tient à la conjonction de deux effets : d'une part, des prix qui ont connu des sauts décennaires sans précédent tout au long de la saison 2021/2022 ; d'autre part, un signal CGMS-Maroc indiquant une récolte très déficitaire, qui a conduit S6 à importer massivement. Chaque tonne supplémentaire a donc été achetée au sommet d'une courbe de prix en pleine flambée.

Sur les huit campagnes hors 2021/2022, S6 obtient chaque tonne à 207,74 €/t contre 210,51 €/t pour le réel, soit 2,8 €/t de moins (-1,3 %). Le bénéfice net s'établit à 101 M€ sur la période, soit 12,6 M€/an (1,5 % du coût réel total). Ces chiffres, présentés dans l'Annexe X, indiquent que le modèle achète moins cher que le réel sur toutes les campagnes normales. L'échec de 2021/2022 tient à un choc de prix d'origine géopolitique — un événement que la prévision agronomique ne peut, par nature, pas anticiper.

Hors 2021/2022, le bilan des huit autres campagnes est nettement plus lisible : le surcoût moyen tombe à environ 2,4 M€/an, soit 0,27 % du coût réel total. Ce chiffre représente ce que coûte, en conditions normales, le fait de laisser un signal agronomique piloter le dimensionnement des importations. Ce n'est pas une économie nette, mais ce n'est pas une dépense à perte non plus : En contrepartie, S6 a importé 7 350 kt de blé de plus que les volumes réels sur l'ensemble des neuf

campagnes : le signal CGMS-Maroc, en estimant des récoltes inférieures au niveau réel, a systématiquement déclenché des achats plus importants. Ce blé supplémentaire ne constitue pas un surcoût pur — il représente des réserves physiques effectivement constituées. Valorisé au prix moyen d'achat du scénario, ce stock additionnel équivaut à plus de 1,6 milliard d'euros de capacité de réserve construite au-delà du niveau réel.

L'hypothèse centrale est donc partiellement confirmée. CGMS-Maroc améliore la décision d'achat dans sa dimension de planification volumétrique, pas de façon systématique dans la minimisation du coût unitaire. Cette nuance mérite d'être assumée, pas atténuée. L'apport du modèle reste néanmoins réel : l'écart de +20,8 % entre les volumes S6 et les importations réelles tient en partie à l'hypothèse de réserve initiale retenue (2,074 Mt), et non au seul signal CGMS-Maroc — intégrer des données de stocks réelles permettrait de réduire cet écart et de rapprocher les volumes modélisés de la décision opérationnelle.

6.2 Sécurité alimentaire d'abord, optimisation des coûts ensuite

Un résultat du chapitre 5 mérite une lecture plus attentive que les tableaux de synthèse ne l'induisent. Les scénarios S1 à S4, sans aucune prévision agronomique, génèrent entre 2,07 % et 2,46 % d'économie sur neuf campagnes — entre 160 et 191 M€ cumulés — en remodelant simplement la répartition mensuelle des achats selon le profil saisonnier des prix. S4, le scénario le plus réaliste sur le plan logistique (neuf mois de flux, pas de concentration excessive), produit à lui seul 17,9 M€/an d'économie sans la moindre information sur la récolte.

Ce résultat suggère une logique d'intervention en deux temps, déjà esquissée en méthodologie. Dans un premier temps, adopter une règle d'allocation saisonnière — du type S4 — ne nécessite ni canal de transmission agronomique ni réforme institutionnelle : il s'agit seulement de caler les achats sur un profil de prix connu et stable depuis 2001. Une fois cette discipline installée, il devient pertinent d'y greffer un signal CGMS-Maroc pour affiner le volume cible selon les perspectives de récolte. La séquence importe : inverser l'ordre reviendrait à déployer un outil de planification avancée dans un contexte où le calendrier de base n'est pas encore optimisé.

C'est là que se distinguent les deux questions que CGMS-Maroc et la saisonnalité traitent chacun. Le profil des prix répond à « quand acheter ». CGMS-Maroc répond à « combien acheter » — et cette seconde question ne peut être sérieusement traitée sans estimation de la production locale avant la fin de récolte. La valeur de CGMS-Maroc est précisément là : dans les campagnes de déficit agronomique marqué, un signal précoce sur la récolte permet de calibrer les importations avant que le marché international ne réagisse au même signal. Sur une année comme 2020/2021, où la production marocaine a chuté à des niveaux très bas, anticiper ce déficit en mai plutôt qu'en juillet change la configuration des achats.

6.3 Mise en perspective avec la littérature

La littérature sur les stratégies d'importation céréalière des pays en déficit structurel identifie deux grandes logiques de gestion du risque alimentaire : la constitution de réserves et le recours aux marchés à terme. Wright et Cafiero (2011) ont montré, sur la crise de 2007-2008, que les politiques de stockage des grands exportateurs avaient amplifié les prix mondiaux tandis que les importateurs subissaient des cours qu'ils ne pouvaient pas anticiper depuis leur propre territoire.

Le Maroc est exactement dans cette configuration. Son taux d'autosuffisance moyen de 55,4 % sur la période, combiné à une variabilité inter-campagnes qui fait passer ce taux de 31,5 % à 84,0 % selon l'année, en fait un cas où l'incertitude sur le besoin d'importation est structurellement forte. Ce que ce mémoire documente, c'est qu'un signal agronomique disponible dès le 21 mai — dix jours avant l'ouverture de la campagne d'importation — peut réduire cette incertitude de manière opérationnelle.

À notre connaissance, ce couplage entre prévisions CGMS-Maroc et décision d'achat sur données réelles pour un pays importateur n'avait pas encore été formalisé. CGMS-Maroc a été développé et évalué comme outil de suivi des cultures et d'aide à la politique agricole ; son usage comme signal d'entrée dans un modèle d'optimisation des achats est une extension méthodologique inédite pour ce pays, indépendamment des résultats numériques.

Une limite de comparabilité doit être signalée : les pays qui auraient pu servir de point de référence (Algérie, Tunisie, Égypte) ont des structures d'importation et de subvention trop différentes de celles du Maroc pour permettre un benchmark utile. L'Algérie dispose d'un opérateur public unique (OAIC) avec des capacités de stockage sans commune mesure. L'Égypte subventionne la consommation via le pain baladi selon une logique d'approvisionnement d'urgence permanente. Ces différences expliquent l'absence de comparaison internationale dans cette analyse — ce n'est pas une omission, c'est un choix méthodologique défendable.

6.4 Ce que les données n'expliquent pas

Plusieurs dimensions restent hors de portée du modèle, et ne pas les nommer serait intellectuellement malhonnête.

Les subventions à l'importation.

Le mécanisme de prime ONICL, décrit au Chapitre 2, incite les opérateurs privés à importer du blé tendre. Ce mécanisme n'est pas intégré dans les scénarios : les coûts calculés sont des coûts d'achat bruts, sans correction pour les primes reçues. Si la prime est indépendante du mois d'achat, l'économie de 0,50 €/t calculée par S6 reste valide. Si elle varie selon les mois ou les volumes, l'analyse est incomplète. Cette limite ne remet pas en cause la logique du modèle, mais elle borne l'interprétation quantitative des résultats.

La réserve initiale comme hypothèse structurante.

Dans S6, la réserve stratégique en début de campagne est fixée à une valeur moyenne de 2,074 Mt (trois mois de consommation). C'est une hypothèse de modélisation, pas une observation : les niveaux réels de stocks de report au Maroc ne sont pas publics. Cette approximation est raisonnable en contexte académique, mais elle introduit une incertitude sur le volume total calculé. C'est l'une des raisons pour lesquelles la divergence de +20,8 % entre les volumes S6 et les volumes réels ne se lit pas comme un simple artefact du modèle — elle reflète aussi une différence d'hypothèse sur la politique de réserve souhaitée.

La chaîne de transmission CGMS-ONICL.

Les prévisions CGMS-Maroc sont produites sous tutelle du Ministère de l'Agriculture. L'ONICL en dépend institutionnellement mais n'y a pas accès en temps réel. La subordination de l'ONICL au Ministère rend techniquement et juridiquement envisageable un canal de transmission formel — mais ce canal n'existe pas aujourd'hui, et S6 le suppose implicitement. La valeur opérationnelle de CGMS-Maroc pour la décision d'achat est conditionnée à la résolution de cette question de gouvernance, qui dépasse le périmètre de ce mémoire.

Le manque de signal de prix dans S6.

Le surcoût de 831 M€ en 2021/2022 révèle un angle mort précis : le modèle distribue le volume selon un calendrier saisonnier moyen, qui alloue 16 % des importations en mai. Or mai 2022 a été le mois le plus cher de la décennie (402 €/t). Un modèle qui n'intègre pas de signal de prix prospectif ne peut pas éviter ce type de piège. Sur ce point, S1 à S4 — qui concentrent les achats sur juin et décembre, deux mois historiquement moins exposés aux pics extrêmes — sont plus robustes face aux chocs de prix que S6. Une version améliorée du scénario intégré devrait coupler le signal agronomique CGMS-Maroc avec un signal de prix : indice de tendance, position sur les marchés à terme, ou simplement une alerte basée sur l'évolution récente des cours.

6.5 Ce que le modèle apporte malgré ses limites

Ces réserves posées, il reste plusieurs résultats que ce travail établit et qui méritent d'être formulés sans fausse modestie.

CGMS-Maroc atteint 81 % de précision au 21 mai, et progresse encore de 2,1 % de précision supplémentaires entre le 21 mai et le 21 juin, date de clôture des prévisions saisonnières. Pour un modèle agro-météorologique appliqué à des conditions semi-arides aussi variables que celles du Maroc — où le rendement peut varier d'un facteur 2,8 entre la meilleure et la pire campagne de la période — c'est une performance solide. Elle est suffisante pour fonder une décision de planification volumétrique.

Les importations marocaines actuelles ne répondent pas à une logique d'optimisation des prix. La corrélation globale entre le prix Rouen et les volumes importés est de $r = 0,18$ sur 2016-2025. Les opérateurs achètent selon leurs besoins de trésorerie et leurs contraintes contractuelles, pas selon le signal de marché. Cette inertie est documentée ici pour la première fois sur données désagrégées

par mois et par année. Elle délimite un espace d'amélioration réaliste : sans changer la nature des acteurs ni la structure du marché, un remodelage du calendrier d'achat génère entre 2 et 2,5 % d'économie.

S6 est le seul cadre analytique testé ici qui traite conjointement le volume et le calendrier. En conditions de déficit agronomique sévère, décider du volume à importer sans information sur la récolte locale revient à piloter à l'aveugle. CGMS-Maroc réduit cette incertitude de façon mesurable — sa précision n'est pas parfaite, ses résultats en coût sont mitigés, mais il apporte quelque chose que les scénarios saisonniers ne peuvent pas fournir : une estimation du besoin total avant que la récolte ne soit connue. C'est cette réduction d'incertitude, plus que l'économie unitaire de 0,50 €/t, qui justifie son intégration dans une stratégie d'approvisionnement.

Conclusion

Entre 2016 et 2025, le Maroc a dépensé en moyenne plusieurs centaines de millions d'euros par campagne pour importer son blé tendre. Les cotations à Rouen ont oscillé du simple au triple sur la période. C'est ce que ce mémoire a cherché à mesurer : si ce différentiel de prix peut être exploité, et dans quelle mesure CGMS-Maroc peut y contribuer.

Le scénario intégré S6 n'a pas généré d'économie nette sur les neuf campagnes analysées. Mais ce résultat agrège des campagnes de nature radicalement différente. Sur les huit campagnes hors 2021/2022, la performance est nettement positive. La dégradation du résultat global tient presque entièrement à une seule année : en 2021/2022, les prix ont atteint des niveaux sans précédent sous l'effet de l'invasion russe de l'Ukraine. CGMS-Maroc a correctement prévu la faiblesse de la récolte marocaine cette année-là. Anticiper la flambée des prix qui a suivi, c'est une autre fonction — celle d'un modèle géopolitique, pas agronomique.

Les scénarios saisonniers donnent un résultat plus immédiatement utilisable. Sans outil prédictif, en réallouant les volumes vers les mois historiquement moins chers, des économies significatives sont atteignables. Pas de modèle, pas de prévision en temps réel : juste un calendrier d'achat discipliné.

CGMS-Maroc répond à une question que les scénarios saisonniers ne posent pas : combien importer, pas seulement quand. Sur les campagnes normales, le modèle est précis et le signal est disponible dès la mi-avril. Sur les sécheresses sévères, il peut rester instable jusqu'en juin. Le chiffre moyen de précision ne dit pas laquelle des deux situations est en cours — l'opérateur doit faire ce jugement lui-même.

Deux limites de données contraignent le dimensionnement indépendamment du modèle. Les stocks marocains en fin de campagne ne sont pas publiés. Le volume de grains déjà présents dans le circuit via la récolte nationale et les reports reste inconnu au moment de la planification. Ces inconnues poussent le modèle à surestimer le volume à importer, de manière systématique. Lever cette limite supposerait un suivi des stocks en temps réel que le Maroc ne produit pas.

Deux prolongements semblent prioritaires. Le premier : intégrer les prévisions CGMS-Maroc dans une règle de décision formalisée à l'ONICL, conditionnée au type de campagne en cours. Le second : construire un indicateur de confiance campagne par campagne, distinguant les années où la prévision est fiable dès mars de celles où il vaut mieux attendre.

CGMS-Maroc est un outil utile et sous-exploité. Il répond à la bonne question avec une précision suffisante pour les années normales. On ne lui demande pas d'anticiper un conflit armé. C'est un composant d'un dispositif plus large — pas le dispositif lui-même. Jusqu'ici, ce composant n'était pas utilisé.

Bibliographie

Articles scientifiques

Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H., & Jlibène, M. (2008). Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(4), 438–452. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.12.001>

Balaghi, R., Jlibène, M., Tychon, B., & Eerens, H. (2012). La prévision agrométéorologique des rendements céréaliers au Maroc. *INRA éditions*, Document de synthèse. <https://www.inra.org.ma>

Becker-Reshef, I., Barker, B., Humber, M., Puricelli, E., Sanchez, A., Sahajpal, R., McGaughey, K., Justice, C., Baruth, B., Wu, B., Prakash, A., Abbassian, A., & Rembold, F. (2019). The GEOGLAM Crop Monitor for AMIS: Assessing crop conditions in the context of global markets. *Global Food Security*, 23, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.010>

Becker-Reshef, I., Humber, M., Puricelli, E., Sanchez, A., Budde, M., Sahajpal, R., Hosseini, M., Whitcraft, A., Barker, B., Quartaroli, C., Collivignarelli, F., Rembold, F., Meroni, M., Fritz, S., Messenger, C., Rojas, O., Ricau, P., Khalil, N., Baruth, B., ... Shitote, C. (2020). Strengthening agricultural decisions in countries at the frontline of food insecurity: The GEOGLAM Crop Monitor for Early Warning. *Remote Sensing of Environment*, 237, 111553. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.111553>

Benabdellouahab, T., Balaghi, R., Hadria, R., Lionboui, H., Djaby, B., & Tychon, B. (2016). Testing AquaCrop to simulate durum-wheat yield and schedule irrigation in a semi-arid irrigated perimeter in Morocco. *Irrigation and Drainage*, 65(5), 631–643. <https://doi.org/10.1002/ird.1977>

Bouasria, A., Devkota, K. P., Devkota, M., & Nangia, V. (2024). Predicting wheat yield gap and its determinants combining remote sensing, machine learning, and survey approaches in rainfed Mediterranean regions of Morocco. *European Journal of Agronomy*, 158, 127195. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2024.127195>

Bouras, E., Jarlan, L., Khabba, S., Er-Raki, S., Dezetter, A., Sghir, F., & Tramblay, Y. (2021). Projecting impacts of climate change on grain crop production in semi-arid Mediterranean regions: The case of Morocco. *Scientific Reports*, 11, 1596. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81071-8>

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, 45(1), 5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>

Dana, J., Gilbert, C., & Shim, E. (2006). Hedging grain price risks in SADC: Case study of Malawi, Zambia and Zimbabwe. *Food Policy*, 31(4), 357–371. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2005.12.004>

Deaton, A., & Laroque, G. (1992). On the behaviour of commodity prices. *Review of Economic Studies*, 59(1), 1–23. <https://doi.org/10.2307/2297923>

de Moor, D., Wagenaar, J., Poos, R., den Hertog, D., & Fleuren, H. (2024). A robust approach to food aid supply chains. *European Journal of Operational Research*, 318(1), 269–285. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.04.034>

- De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., Van Kraalingen, D., Supit, I., Van der Wijngaart, R., & Van Diepen, K. (2019). 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural Systems*, 168, 154–167. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.018>
- Ederington, L. H. (1979). The hedging performance of the new futures markets. *Journal of Finance*, 34(1), 157–170. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1979.tb02077.x>
- Faruquee, R., Coleman, J. R., & Scott, T. (1997). Managing price risk in the Pakistan wheat market. *The World Bank Economic Review*, 11(2), 263–292. <https://doi.org/10.1093/wber/11.2.263>
- Fischl, M., Scherrer-Rathje, M., & Friedli, T. (2014). Empirical evidence on the effectiveness of price hedging with commodity futures: Literature review and implications for the manufacturing sector. *International Journal of Production Economics*, 153, 44–58. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.02.003>
- Gorton, G., Hayashi, F., & Rouwenhorst, K. G. (2013). The fundamentals of commodity futures returns. *Review of Finance*, 17(1), 35–105. <https://doi.org/10.1093/rof/rfs019>
- Haase, M., Zimmermann, Y., & Huss, M. (2023). The 140-year history of commodity price risk. *Journal of Commodity Markets*, 30, 100307. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2022.100307>
- Isengildina-Massa, O., Cao, X., Karali, B., MacDonald, S., Xie, R., & Adjemian, M. K. (2020). Sustainability and market relevance of WASDE price forecasts for corn and soybeans. *Journal of Commodity Markets*, 19, 100111. <https://doi.org/10.1016/j.jcomm.2019.100111>
- Jarlan, L., Abou El Faouzi, N., Bouras, E., & Khabba, S. (2021). Forecasting cereal yield in Morocco at provincial scale by combining satellite-derived drought indices, meteorological data and climate indices. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112233>
- Jones, C. A., Kiniry, J. R., & Dyke, P. T. (1986). *CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development*. Texas A&M University Press.
- Kaldor, N. (1939). Speculation and economic stability. *Review of Economic Studies*, 7(1), 1–27. <https://doi.org/10.2307/2967593>
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N. G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J. P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K. L., Asseng, S., ... Smith, C. J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3–4), 267–288. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00108-9](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00108-9)
- Knippertz, P., Christoph, M., & Speth, P. (2003). Long-term precipitation variability in Morocco and the link to the large-scale circulation in recent and future climates. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 83(1–2), 67–88. <https://doi.org/10.1007/s00703-002-0561-y>
- Krakauer, N. Y., Montas, H. J., & Ioannidis, A. (2023). Estimating cereal crop yields in the Fès-Meknès region of Morocco using vegetation indices. *Remote Sensing*, 15(4), 1135. <https://doi.org/10.3390/rs15041135>

- Lehmann, J., Mempel, F., & Coumou, D. (2020). Potential for early forecast of Moroccan wheat yields based on climatic drivers. *Geophysical Research Letters*, *47*(10), e2020GL087516. <https://doi.org/10.1029/2020GL087516>
- Li, Z., Tan, B., Tran, N. N., & Ganguly, S. (2014). A land surface phenology model for global agricultural monitoring. *Remote Sensing of Environment*, *142*, 45–59. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.11.011>
- Mamassi, A., Tychon, B., & Lahlou, M. (2024). Comparing APSIM-wheat and empirical models for predicting wheat yields under rainfed conditions in Morocco. *Field Crops Research*, *310*, 109348. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109348>
- Mandl, C., & Minner, S. (2023). Data-driven optimization for commodity procurement under price uncertainty. *Manufacturing & Service Operations Management*, *25*(2), 371–390. <https://doi.org/10.1287/msom.2020.0890>
- Markowitz, H. (1952). Portfolio selection. *Journal of Finance*, *7*(1), 77–91. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1952.tb01525.x>
- Meroni, M., Waldner, F., Seguíni, L., Kerdiles, H., & Rembold, F. (2016). Yield forecasting with machine learning and small data: What gains for grains? *Agricultural and Forest Meteorology*, *276–277*, 107618. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.07.018>
- Minot, N. (2011). *Transmission of world food price changes to markets in Sub-Saharan Africa* (IFPRI Discussion Paper No. 01059). International Food Policy Research Institute.
- Nardo, M., Saisana, M., Saltelli, A., Tarantola, S., Hoffmann, A., & Giovannini, E. (2008). *Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264043466-en>
- Penone, C., Giampietri, E., & Trestini, S. (2021). Hedging efficiency of commodity futures markets for wheat in Europe. *Agricultural Economics*, *52*(5), 789–801. <https://doi.org/10.1111/agec.12649>
- Peters, K., Silva, S., Gonçalves, R., Kavelj, M., Fleuren, H., den Hertog, D., Ergun, O., & Freeman, M. (2021). The nutritious supply chain: Optimizing humanitarian food assistance. *INFORMS Journal on Optimization*, *3*(2), 200–226. <https://doi.org/10.1287/ijoo.2019.0047>
- Sarris, A., Conforti, P., & Prakash, A. (2011). The appropriate role of speculative futures markets: What role for hedging and short-selling by financial participants? In A. Prakash (Ed.), *Safeguarding food security in volatile global markets* (pp. 323–350). FAO. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.145057>
- Supit, I., Hooijer, A. A., & Van Diepen, C. A. (1994). *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS, Vol. 1: Theory and algorithms*. Publications of the European Communities.
- Tomek, W. G., & Peterson, H. H. (2001). Risk management in agricultural markets: A review. *Journal of Futures Markets*, *21*(10), 953–985. <https://doi.org/10.1002/fut.2000>

Van der Velde, M., & Nisini, L. (2018). Performance of the MARS-crop yield forecasting system for the European Union: Assessing accuracy, in-season, and year-to-year improvements from 1993 to 2015. *Agricultural Systems*, 168, 203–212. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.06.009>

Van Diepen, C. A., Wolf, J., Van Keulen, H., & Rappoldt, C. (1989). WOFOST: A simulation model of crop production. *Soil Use and Management*, 5(1), 16–24. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.1989.tb00755.x>

Working, H. (1949). The theory of the price of storage. *American Economic Review*, 39(6), 1254–1262. <https://www.jstor.org/stable/1816601>

Wright, B. D., & Cafiero, C. (2011). Grain reserves and food security in the Middle East and North Africa. *Food Security*, 3(Suppl. 1), 61–76. <https://doi.org/10.1007/s12571-010-0094-z>

Ouvrages

Akesbi, N. (2011). *Rapport sur l'agriculture marocaine*. Ministère de l'Agriculture et de la Pêche Maritime.

Conforti, P. (2004). *Price transmission in selected agricultural markets* (FAO Commodity and Trade Policy Research Working Paper No. 7). Food and Agriculture Organization.

Rapports institutionnels et documents techniques

Alaouri, M., Lahlou, M., & Balaghi, R. (2017). *CGMS-Maroc : architecture du système et résultats de prévision*. INRA-Maroc / JRC.

Allard, D., Balaghi, R., Lahlou, M., & Eerens, H. (2013). *E-AGRI project: Crop monitoring interface for Morocco*. European Commission Joint Research Centre.

Balaghi, R., Lahlou, M., & Alaouri, M. (2024). *Système CGMS-Maroc : architecture fonctionnelle, performance et perspectives opérationnelles*. INRA-Maroc / Direction Générale de la Météorologie.

Banque mondiale. (2023). *CCDR Morocco: Technical note — Water scarcity and droughts*. World Bank Group.

Belmahi, M., Ait Ali Yahia, R., & Lionboui, H. (2023). Projections des besoins en blé à l'horizon 2050 : Enjeux pour la sécurité alimentaire du Maroc. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 11(1), 45–57.

Beck, H. E., Zimmermann, N. E., McVicar, T. R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E. F. (2017). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1 km resolution. *Scientific Data*, 5, 180214. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

Benkirane, M., Lahrouni, A., & Alaouri, M. (2023). Interpolation des précipitations au Maroc à partir des réanalyses ERA5 et des stations synoptiques. *Revue Marocaine de Météorologie*, 12, 1–18.

FAO. (2023). *Perspectives de l'alimentation : Bilan des marchés mondiaux*. Food and Agriculture Organization des Nations Unies. <https://doi.org/10.4060/cc7951fr>

FAO. (2024). *Situation alimentaire mondiale 2024*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org>

- FAO-GIEWS. (2025). *Crop Prospects and Food Situation — North Africa: Morocco*. Global Information and Early Warning System, Food and Agriculture Organization.
- Fellah-Trade. (2021). *Bilan de la campagne céréalière 2020-2021 au Maroc*. Editions Fellah-Trade.
- Fondation FARM. (2022). *La dépendance céréalière du Maghreb face à la crise russo-ukrainienne*. Fondation pour l'Agriculture et la Ruralité dans le Monde. <https://www.fondation-farm.org>
- FranceAgriMer. (2001–2025). *Cours des céréales — Cotations Bourse de Rouen* [Séries de données hebdomadaires]. Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. <https://www.franceagrimer.fr>
- Gilbert, C. L. (2010). How to understand high food prices. *Journal of Agricultural Economics*, 61(2), 398–425. <https://doi.org/10.1111/j.1477-9552.2010.00248.x>
- Haut-Commissariat au Plan (HCP). (2014). *Enquête nationale sur la consommation et les dépenses des ménages 2013-2014 : Rapport de synthèse*. Royaume du Maroc.
- Haut-Commissariat au Plan (HCP). (2024). *Projections démographiques 2014–2050*. Royaume du Maroc.
- Jarlan, L., Boudhar, A., Dezetter, A., Bouras, E., Er-Raki, S., & Khabba, S. (2021). Predicting cereal crop yields in Morocco at provincial scale using satellite-derived indices, weather and climate data. *Remote Sensing of Environment*, 253, 112233. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112233>
- La Dépêche – Le Petit Meunier. (2022, mai). *Flambée des cours du blé après le déclenchement du conflit russo-ukrainien*. Groupe La Dépêche.
- Médias24. (2024, mars). *Le Maroc accélère ses importations de blé tendre face à la sécheresse persistante*. <https://www.medias24.com>
- Cour des comptes. (2015). *Rapport sur la politique de stockage des céréales*. Cour des comptes du Royaume du Maroc.
- Le360. (2024). *Réserves stratégiques de blé : les professionnels marocains fixent le seuil à quatre mois de consommation*. Le360. <https://www.le360.ma>
- Médias24. (2022, avril). *Sadiki : l'objectif est de constituer une réserve stratégique équivalant à trois mois de consommation nationale en blé tendre*. Médias24. <https://www.medias24.com>
- SNRT News. (2025). *Le décret d'application de la loi n° 12-94 sur les stocks céréalières demeure non publié*. SNRT News. <https://www.snrtnews.com>
- World Bank & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2012). *Grain storage and food security in Arab countries*. World Bank Group; FAO.
- Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts. (2024). *Bilan de la campagne agricole 2023-2024*. Royaume du Maroc.
- Ministère de l'Agriculture, de la Pêche Maritime, du Développement Rural et des Eaux et Forêts. (2025). *Note de conjoncture de la campagne agricole 2024-2025*. Royaume du Maroc.

Noureddine, A., El Ansari, N., & Hammane, D. (2026). La dépendance céréalière du Maroc : évolution structurelle et enjeux de souveraineté alimentaire. *Revue Marocaine d'Économie et de Droit Comparé*, 14, 1–22.

Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). (2018). *Rapport annuel d'activité 2017-2018*. Royaume du Maroc.

Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). (2022). *Rapport sur les importations de blé tendre 2021-2022*. Royaume du Maroc.

Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). (2023). *Bilan des campagnes d'importation 2016-2023*. Royaume du Maroc.

Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). (2025). *Note de conjoncture : Campagne 2024-2025*. Royaume du Maroc.

Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses (ONICL). (2026, 28 janvier). *Communication personnelle — Entretien institutionnel*. Rabat, Maroc.

Pearson, K. (1896). Mathematical contributions to the theory of evolution. III. Regression, heredity, and panmixia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A*, 187, 253–318. <https://doi.org/10.1098/rsta.1896.0007>

Policy Center for the New South. (2024). *Le Maroc face aux défis de la sécurité hydrique et alimentaire*. Policy Center for the New South. <https://www.policycenter.ma>

Salih, A., Asher, I., & Saaroni, H. (2022). Assessment of ERA5 precipitation over the Middle East and North Africa. *International Journal of Climatology*, 42(5), 3135–3152. <https://doi.org/10.1002/joc.7409>

Swiss Re Institute. (2023). *Commodity price volatility and agricultural storage costs*. Swiss Reinsurance Company.

U.S. Census Bureau. (2017). *X-13ARIMA-SEATS seasonal adjustment program: Reference manual*. U.S. Department of Commerce. <https://www.census.gov/ts/x13as/docX13AS.pdf>

USDA-WAOB. (2026). *World Agricultural Supply and Demand Estimates (WASDE)* [Rapport mensuel]. United States Department of Agriculture, World Agricultural Outlook Board. <https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde>

USDA. (2024). *Grain: World markets and trade*. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.

USDA. (2025). *Morocco: Grain and feed annual report*. United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service.

Wright, B. D. (2011). The economics of grain price volatility. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 33(1), 32–58. [https://doi.org/10.1093/aep/33\(1\)/32](https://doi.org/10.1093/aep/33(1)/32)

Données statistiques

FranceAgriMer. (2001–2025). *Tableau de bord des marchés céréaliers — Blé tendre* [Séries de données hebdomadaires]. Établissement national des produits de l'agriculture et de la mer. <https://www.franceagrimer.fr>

ONICL. (2014–2025). *Données d'importation de blé tendre au Maroc* [Séries statistiques internes]. Office National Interprofessionnel des Céréales et des Légumineuses.

INRA-Maroc / Direction Générale de la Météorologie. (2014–2025). *Prévisions de rendement du blé tendre par le système CGMS-Maroc : données décennales et bilans de campagne* [Séries de prévisions agronomiques internes, campagnes 2014/2015 à 2024/2025]. Institut National de la Recherche Agronomique du Maroc.

Annexes

Tableau 12 : Statistiques descriptives annuelles des prix du blé tendre sur la Bourse de Rouen, 2014–2025 (€/t)

Année	Prix moyen (€/t)	Prix min (€/t)	Prix max (€/t)	Médiane (€/t)	Écart-type (€/t)	Amplitude (€/t)	Volatilité (CV %)	Variation (€/t)	Variation (%)
2014	182,13	150,56	204,9	180,83	14,28	54,34	7,8	-	-
2015	188,04	133,13	192,56	166,63	13,37	59,43	8	-14,09	-7,7
2016	152,49	137,75	167,75	153,92	10	30	6,6	-15,55	-9,3
2017	166,5	101,33	170,81	156,86	13,62	69,48	8,7	4,01	2,6
2018	176,91	142,5	215,31	169,2	22,18	72,81	12,5	20,41	13
2019	176,79	130,36	200,96	175,96	11,79	50,6	6,7	-0,12	-0,1
2020	186,13	103,59	209,22	188,22	19,99	105,63	10,7	9,34	5,3
2021	237,07	200,36	299,19	230,7	28,11	98,23	11,9	50,94	27,4
2022	339,88	260,8	412,91	341,07	42,69	152,11	12,6	102,81	43,4
2023	239,64	191,78	299,2	230,5	25,38	107,42	10,6	-100,24	-29,5
2024	211,25	158,68	243,57	214,58	17,01	84,89	8,1	-28,39	-11,8
2025	200,28	184,78	227,8	193,29	14,02	43,02	7	-10,97	-5,2

Tableau 13 : Statistiques saisonnières mensuelles des prix du blé tendre et recommandations d'achat à l'importation, 2001–2025 (€/t)

1. STATISTIQUES SAISONNIÈRES PAR MOIS										
Mois	Moy.(€/t)	Médiane	Éc-type	Min	Max	Obs.	Indice (%)	P(<Moy)%	Recommandation	
Janvier	182,23	188,89	55,21	99,25	299,20	72	0,4	47,2	NEUTRE	
Février	181,45	183,09	56,70	100,25	290,70	72	0,0	50,0	NEUTRE	
Mars	181,01	176,30	65,54	97,41	380,53	72	-0,2	56,9	NEUTRE	
Avril	178,39	173,98	63,69	91,94	399,15	72	-1,7	51,4	BON ACHAT	
Mai	177,03	164,94	64,85	92,38	412,91	71	-2,4	53,5	ACHAT OPTIMAL	
Juin	174,13	175,34	60,74	97,09	394,43	72	-4,0	61,1	ACHAT OPTIMAL	
Juillet	185,51	184,50	51,57	102,00	346,90	65	2,2	44,6	ÉVITER	
Août	187,30	184,62	52,20	105,61	338,03	68	3,2	48,5	ÉVITER	
Septembre	182,83	173,07	56,57	104,81	346,54	74	0,8	51,4	NEUTRE	
Octobre	182,38	173,08	57,36	104,78	349,97	75	0,5	52,0	NEUTRE	
Novembre	184,59	177,94	55,52	104,86	336,02	74	1,7	52,7	ÉVITER	
Décembre	181,01	179,36	58,29	100,77	307,61	63	-0,2	52,4	NEUTRE	

Tableau 14 : Performance prédictive du système CGMS-Maroc par campagne agricole, 2016–2025

Campagne	Rdt Obs Moy (t/ha)	Rdt Pred Moy (t/ha)	Précision (%)	MAPE (%)	MAE (t/ha)	RWSE (t/ha)	Biais (t/ha)
2016/2017	2,813	2,726	93,5	6,5	0,185	0,231	-0,087
2021/2022	2,300	2,369	91,3	8,7	0,176	0,226	0,070
2014/2015	3,267	2,754	84,6	15,4	0,513	0,557	-0,513
2023/2024	2,201	2,603	83,1	16,9	0,457	0,628	0,402
2018/2019	2,154	2,528	81,1	18,9	0,483	0,624	0,374
2015/2016	2,379	2,161	80,4	19,6	0,397	0,468	-0,218
2017/2018	3,075	2,979	79,5	20,5	0,589	0,639	-0,097
2020/2021	3,205	2,570	79,2	20,8	0,635	0,645	-0,635
2022/2023	2,649	2,404	78,5	21,5	0,550	0,629	-0,246
2024/2025	2,937	2,127	74,5	25,5	0,810	0,941	-0,810
2019/2020	2,049	2,361	65,2	34,8	0,344	0,394	0,312
MOYENNE GLOBALE	2,639	2,507	81,0	19,0	0,467	0,544	-0,132

Tableau 15 : Explication des colonnes et méthode de calcul du tableau 15

EXPLICATION DES COLONNES ET MÉTHODE DE CALCUL		
Colonne	Signification	Méthode de calcul
Période	Tranche de dates décadaires sur laquelle on observe la précision du modèle.	Regroupement manuel des 14 décades (du 1 Fév au 21 Juin) en 4 phases caractéristiques.
Précision moyenne	Performance globale du modèle CGMS sur la période, en % (100% = prédiction parfaite).	Pour chaque campagne et chaque décade : $100 - \text{MAPE}$, où $\text{MAPE} = \text{moyenne de } \text{rdt_prédit} - \text{rdt_observé} / \text{rdt_observé}$. Puis moyenne sur les 11 campagnes.
Marge \pmIC 90%	Largeur de la zone d'incertitude autour de la moyenne. Plus elle est petite, plus l'estimation est fiable.	$\text{Marge} = 1.645 \times \sigma / \sqrt{n}$, où σ = écart-type des 11 campagnes à cette décade et $n = 11$. Le coefficient 1.645 correspond au seuil de confiance 90%.
Intervalle [bas ; haut]	Plage dans laquelle se situe la vraie précision moyenne du modèle, avec 90% de confiance.	Bornes = Précision moyenne \pm Marge IC 90%. Lecture : « 9 fois sur 10, la vraie performance est dans cet intervalle ».
Lecture	Interprétation opérationnelle de la période : faut-il faire confiance à la moyenne ?	Synthèse qualitative : plus la marge IC est petite, plus la moyenne est représentative de l'ensemble des campagnes.

Tableau 16 : lecture chronologique de la précision moyenne avec un intervalle de confiance de 90%

LECTURE CHRONOLOGIQUE DE LA PRÉCISION MOYENNE AVEC INTERVALLE DE CONFIANCE DE 90%				
Période	Précision moyenne	Marge \pm IC 90%	Intervalle [bas ; haut]	Lecture
1 Fév – 11 Mars	77,6 – 80,4 %	$\pm 4,6$ à $\pm 5,9$ pts	[73 ; 85]	Forte hétérogénéité entre campagnes — moyenne peu fiable
21 Mars (pic CGMS)	84,7 %	$\pm 4,2$ pts	[80,5 ; 88,9]	Meilleure performance, mais bande encore large
21 Avr – 1 Mai	81,6 – 82 %	$\pm 2,9$ à ± 3 pts	[78,7 ; 85]	Zone d'incertitude minimale — moyenne la plus fiable
11 Mai – 21 Juin	80 – 82,1 %	$\pm 3,6$ à $\pm 4,4$ pts	[76 ; 87]	L'incertitude remonte légèrement

Note : IC 90% = moyenne $\pm 1.645 \times \sigma / \sqrt{n}$, calculé sur les 11 campagnes (2014/15 – 2024/25). La ligne mise en évidence correspond à la zone de stabilisation statistique du modèle.

Tableau 17: Bilan céréalier simulé du blé tendre au Maroc par campagne agricole, 2016–2025

Campagne	Population (millions)	Superficie totale (ha)	Rendement obs. (t/ha)	Production locale (Mq)	Besoin national (Mq)	Déficit théorique (Mq)	Importations (Mq)	Offre totale (Mq)	Solde (Mq)	Réserve (Mq)	Autosuffisance (%)
2016/2017	34,852	2,290,120	2,813	6,442	7,667	1,225	4,200	10,642	+2,975	+2,975	84,0%
2017/2018	35,220	1,884,460	3,075	5,795	7,748	1,954	2,661	8,456	+0,707	+3,682	74,8%
2018/2019	35,587	1,683,290	2,154	3,626	7,829	4,203	2,788	6,394	-1,435	+2,247	46,3%
2019/2020	35,952	1,838,610	2,049	3,767	7,909	4,142	3,767	7,534	-0,375	+1,872	47,6%
2020/2021	36,313	1,864,127	3,205	5,975	7,989	2,014	3,786	9,761	+1,772	+3,643	74,8%
2021/2022	36,670	1,590,433	2,300	3,658	8,067	4,409	3,339	6,997	-1,070	+2,573	45,3%
2022/2023	37,022	1,600,215	2,649	4,239	8,145	3,906	5,232	9,471	+1,326	+3,899	52,0%
2023/2024	37,370	1,175,144	2,201	2,586	8,221	5,635	4,619	7,205	-1,016	+2,883	31,5%
2024/2025	37,712	1,188,017	2,937	3,489	8,297	4,807	4,941	8,430	+0,134	+3,017	42,1%

Tableau 18 : Comparaison des coûts d'importation simulés selon les scénarios rétrospectifs (V1, V2, OBS) par campagne agricole, 2016–2025

Campagne	Volume (kt)	TABLEAU RECAPITULATIF - 4 SCENARIOS SUR 9 CAMPAGNES								Meilleur
		Cout Reel (M€)	Cout V1 (M€)	Eco V1 (M€)	Cout V2 (M€)	Eco V2 (M€)	Cout OBS (M€)	Eco OBS (M€)		
2016/2017	4.200	677,6	650,1	+27,5	658,4	+19,2	664,4	+13,2	V1	
2017/2018	2.661	403,8	386,8	+17,0	395,9	+7,9	383,6	+20,3	OBS	
2018/2019	2.768	523,2	473,3	+49,9	489,9	+33,3	490,2	+33,0	V1	
2019/2020	3.767	697,0	627,5	+69,4	640,3	+56,7	662,8	+34,2	V1	
2020/2021	3.786	779,6	656,7	+123,0	683,0	+96,6	724,8	+54,8	V1	
2021/2022	3.339	1.051,1	751,1	+300,0	796,9	+254,2	908,6	+142,5	V1	
2022/2023	5.232	1.599,0	1.302,2	+296,9	1.380,3	+218,7	1.477,6	+121,4	V1	
2023/2024	4.619	985,4	888,3	+97,1	925,6	+59,8	936,1	+49,2	V1	
2024/2025	4.941	1.065,1	1.009,3	+55,7	1.030,8	+34,3	1.034,6	+30,5	V1	
TOTAL	35.312	7.781,7	6.745,3	+1.036,5	7.001,1	+780,6	7.282,7	+499,0	8 V1 / 1 OBS	
MOYENNE/AN	3.924	864,6	749,5	+115,2	777,9	+86,7	809,2	+55,4		

Tableau 19 : Détail mensuel des allocations et coûts d'importation simulés par scénario, campagne 2016/2017 (juin-mai)

CAMPAGNE 2016/2017 (Jun-Mai) Volume total : 4199,7 kt				
Mois	Annee	Prix (€/t)	Vol. reel (kt)	Cout reel (ME)
Juin	2016	149,55	98,7	14,8
Juillet	2016	159,75	14,7	2,3
Aout	2016	162,33	331,5	53,8
Septembre	2016	157,79	504,3	79,6
Octobre	2016	161,08	423,8	68,3
Novembre	2016	165,28	384,6	63,6
Decembre	2016	163,01	479,6	78,2
Janvier	2016	152,65	30,0	4,6
Fevrier	2017	169,42	125,5	21,3
Mars	2017	166,24	685,8	114,0
Avril	2017	157,90	1110,5	175,3
Mai	2017	155,63	10,7	1,7
TOTAL			4199,7	677,4
Mois	Annee	S1 Alloc	S1 Vol (kt)	S1 Cout (ME)
Juin	2016	33,3%	1399,9	209,4
Juillet	2016	0,0%	0,0	0,0
Aout	2016	0,0%	0,0	0,0
Septembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Octobre	2016	0,0%	0,0	0,0
Novembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Decembre	2016	33,3%	1399,9	228,2
Janvier	2016	0,0%	0,0	0,0
Fevrier	2017	0,0%	0,0	0,0
Mars	2017	0,0%	0,0	0,0
Avril	2017	0,0%	0,0	0,0
Mai	2017	33,3%	1399,9	217,9
TOTAL		100%	4199,7	655,4
Mois	Annee	S2 Alloc	S2 Vol (kt)	S2 Cout (ME)
Juin	2016	30,0%	1259,9	188,4
Juillet	2016	0,0%	0,0	0,0
Aout	2016	0,0%	0,0	0,0
Septembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Octobre	2016	0,0%	0,0	0,0
Novembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Decembre	2016	25,0%	1049,9	171,1
Janvier	2016	0,0%	0,0	0,0
Fevrier	2017	0,0%	0,0	0,0
Mars	2017	0,0%	0,0	0,0
Avril	2017	20,0%	839,9	132,6
Mai	2017	25,0%	1049,9	163,4
TOTAL		100%	4199,7	655,6
Mois	Annee	S3 Alloc	S3 Vol (kt)	S3 Cout (ME)
Juin	2016	33,0%	1385,9	207,3
Juillet	2016	0,0%	0,0	0,0
Aout	2016	0,0%	0,0	0,0
Septembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Octobre	2016	0,0%	0,0	0,0
Novembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Decembre	2016	27,5%	1154,9	188,3
Janvier	2016	0,0%	0,0	0,0
Fevrier	2017	0,0%	0,0	0,0
Mars	2017	3,8%	159,6	26,5
Avril	2017	15,0%	630,0	99,5
Mai	2017	20,7%	869,3	135,3
TOTAL		100%	4199,7	656,8
Mois	Annee	S4 Alloc	S4 Vol (kt)	S4 Cout (ME)
Juin	2016	26,4%	1108,7	165,8
Juillet	2016	0,0%	0,0	0,0
Aout	2016	0,0%	0,0	0,0
Septembre	2016	5,0%	210,0	33,1
Octobre	2016	5,0%	210,0	33,8
Novembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Decembre	2016	22,0%	923,9	150,6
Janvier	2016	5,0%	210,0	32,1
Fevrier	2017	5,0%	210,0	35,6
Mars	2017	3,1%	130,2	21,6
Avril	2017	12,0%	504,0	79,6
Mai	2017	16,5%	693,0	107,8
TOTAL		100%	4199,7	860,1
Mois	Annee	S5 Alloc	S5 Vol (kt)	S5 Cout (ME)
Juin	2016	Reel	98,7	14,8
Juillet	2016	Reel	14,7	2,3
Aout	2016	Reel	331,5	53,8
Septembre	2016	Reel	504,3	79,6
Octobre	2016	3,8%	117,0	18,8
Novembre	2016	0,0%	0,0	0,0
Decembre	2016	31,3%	1017,4	165,8
Janvier	2016	4,2%	136,5	20,8
Fevrier	2017	7,4%	240,5	40,8
Mars	2017	9,1%	295,8	49,2
Avril	2017	19,6%	637,1	100,6
Mai	2017	24,9%	809,4	126,0
TOTAL		100%	4203,0	672,5

Tableau 20 : Synthèse comparative des coûts et économies simulés par scénario prédictif d'importation de blé tendre, 2016–2025 (M€)

TABLEAU RECAPITULATIF - SCÉNARIOS SUR 9 CAMPAGNES														
Campagne	Volume (kt)	Coût réel (M€)	Coût SIM1 (M€)	Eco SIM1 (M€)	Coût SIM2 (M€)	Eco SIM2 (M€)	Coût SIM3 (M€)	Eco SIM3 (M€)	Coût SIM4 (M€)	Eco SIM4 (M€)	Coût SIM5 (M€)	Eco SIM5 (M€)	Coût SIM6 (M€)	Eco SIM6 (M€)
2016/2017	4.192,7	677,4	655,4	22,0	655,6	21,8	656,8	20,5	660,1	17,3	672,5	4,9		
2017/2018	2.661,3	406,5	402,1	4,5	406,3	0,2	404,1	2,4	404,9	1,7	402,3	4,2		
2018/2019	2.767,6	497,1	495,9	11,2	496,3	10,8	497,7	9,5	492,6	4,5	508,8	-11,7		
2019/2020	3.765,8	701,9	694,0	77,9	697,4	10,5	697,6	14,3	696,1	15,8	696,9	3,0		
2020/2021	3.765,8	771,6	701,8	69,9	719,4	52,3	706,5	63,1	719,2	52,4	732,2	19,5		
2021/2022	3.338,8	1.010,2	991,1	19,0	1.035,8	-25,7	1.006,0	4,2	974,0	36,2	1.124,7	-144,5		
2022/2023	5.232,3	1.590,9	1.598,4	2,5	1.545,7	45,2	1.594,1	6,8	1.590,2	0,7	1.552,4	38,5		
2023/2024	4.618,9	1.042,5	1.015,4	27,0	994,0	48,5	991,8	50,7	1.011,6	30,9	996,8	45,7		
2024/2025	4.940,7	1.062,2	1.069,3	-4,1	1.039,9	2,3	1.070,5	-8,3	1.072,7	-10,5	1.057,6	4,6		
TOTAL	35.511,9	7.760,4	7.590,4	169,9	7.594,4	166,0	7.597,3	163,1	7.611,3	149,1	7.766,2	-5,0		
MOYENNE/M	3.923,5	862,3	842,4	18,9	843,8	18,4	844,1	18,1	845,7	16,6	862,9	-0,6		

Tableau 21 : Données de base par campagne agricole mobilisées dans le scénario prédictif intégré(S6), 2016–2025

DONNÉES DE BASE PAR CAMPAGNE																				
Campagne	Pouidon (millions)	Sup beur (ha)	Sup laitière (ha)	Rat Prédictif/Beur (t/ha)	Rat Prédictif/Ingred (t/ha)	Prod/Perte (M€)	Rat/Osmane Beur (t/ha)	Rat/Osmane Ingred (t/ha)	Prod/Beate (M€)	Effar/Rate/Prod (M€/t)	Besoin National (M€)	Pré-Moy. Campagne (€t)	Pré-Moy. Hétraque (€t)	Reserve Chie (M€)	Reserve Début (M€)	Reserve Fin (M€)	Val Import Estime (€t/M)	Déjà importé (€t/M)	Vol. Import Réel (M)	Reserve à Importer (€t/M)
2016/2017	34.632	2.090.070	200.050	2,12	3,48	5,12	2,00	3,63	4,91	4%	7,67	160,71	211,95	3,110	3,110	3,110	2,347	0,335	2,739	2,224
2017/2018	35.220	1.689.280	195.180	1,76	4,41	3,83	2,48	3,67	4,91	-2%	7,75	154,02	211,95	2,074	3,110	2,074	2,878	0,894	1,905	1,201
2018/2019	35.587	1.463.425	219.866	1,21	3,51	2,54	1,39	2,91	2,68	-5%	7,83	188,73	211,95	2,074	2,074	2,074	5,287	1,110	5,148	4,088
2019/2020	35.652	1.670.270	188.340	1,18	3,36	2,54	0,72	3,38	1,77	44%	7,91	178,22	211,95	2,074	2,074	2,074	5,389	1,128	6,139	5,012
2020/2021	36.313	1.776.302	87.625	1,91	3,21	3,67	2,65	3,76	5,04	-27%	7,99	200,46	211,95	2,074	2,074	2,074	4,317	0,907	2,946	2,039
2021/2022	36.670	1.463.221	127.212	0,83	4,16	1,74	0,98	3,62	1,89	-9%	8,07	288,28	211,95	2,074	2,074	2,074	6,327	1,329	6,174	4,845
2022/2023	37.022	1.500.161	100.054	1,33	2,98	2,26	1,75	3,55	2,99	-24%	8,14	305,52	211,95	1,040	2,074	1,040	4,851	1,019	4,132	3,113
2023/2024	37.370	1.092.234	82.910	1,44	3,38	1,87	1,37	3,03	1,75	7%	8,22	214,89	211,95	1,040	1,040	1,040	6,349	1,333	6,475	5,142
2024/2025	37.712	1.086.670	101.347	1,32	3,89	1,75	1,68	4,20	2,25	-22%	8,30	216,75	211,95	2,074	1,040	2,074	7,390	1,592	7,083	5,491

Tableau 22 : Analyse de l'économie réelle du scénario prédictif intégré (S6) après correction pour les volumes supplémentaires, sans la campagne 2021/2022

ANALYSE DE L'ÉCONOMIE RÉELLE DU SCÉNARIO S6 SANS LA CAMPAGNE 2021/2022			
Indicateur	Réel	S6	Écart
Volume total (Mt)	31.973,1	36.488,7	+4.515,6
Coût total (M€)	6.730,7	7.580,3	+849,6
Prix moyen par tonne (€/t)	210,51	207,74	-2,8

Économie par tonne (€/t)	-2,8
Économie par tonne (%)	-1,3%
Blé supplémentaire obtenu (kt)	+4.515,6
Blé supplémentaire obtenu (%)	+14,1%
Valeur du blé supplémentaire (M€)	950,6

BÉNÉFICE NET RÉEL (M€)	101,0	sur 9 campagnes
BÉNÉFICE NET MOYEN PAR AN (M€)	12,6	par campagne
BÉNÉFICE NET RÉEL (%)	1,5%	du coût réel total

