



République Tunisienne

Ministère de l'Economie et de la Planification

Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives

ETUDE

IMPACTS MACROECONOMIQUES ET ENJEUX D'ADAPTATION DU SECTEUR AGRICOLE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

UNE EVALUATION PAR LE MODELE GEMMES-TUNISIE

Auteurs :

Sawsen Ben Nasr - ITCEQ
Sakir Devrim Yilmaz - AFD

MARS 2024

Le présent document est la propriété de l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Études Quantitatives (ITCEQ). Toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, de la présente publication, faite sans l'autorisation écrite de l'ITCEQ, est considérée comme illicite et constitue une contrefaçon.

Les résultats, interprétations et conclusions émis dans cette publication sont ceux de(s) auteur(s) et ne devraient pas être attribués à l'ITCEQ, à sa Direction ou aux autorités de tutelle.

Cette étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de coopération entre l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives (ITCEQ) et l'Agence Française de Développement (AFD). Ont contribué à ce projet : M. **Sakir devrim Yilmaz** (Chef du projet GEMMES-Tunisie, AFD), M. Mme **Sawsen Ben Nasr** (Economiste, ITCEQ), M. **Achilleas Mantes** (Economiste, AFD), M. **Issam Daghari** (Post-Doctorant, ITCEQ), Mme **Nihed Ben Khalifa** (Post-Doctorante, ITCEQ), M. **Antoine Godin** (Responsable Cellule de modélisation GEMMES, AFD), Mme **Thouraya Lakoud** (Economiste, ITCEQ) et Mlle **Mariem Mahmoud** (Doctorante stagiaire ITCEQ).

Les auteurs remercient les membres du Comité technique et du Comité de pilotage du projet composés par les représentants du **Ministère de l'Economie et de la Planification, du Ministère de l'Agriculture, de la Pêche et des Ressources Hydrauliques, du Ministère de l'Environnement, de la Banque Centrale de la Tunisie, de l'Institut National de la Statistique, de l'Institut National de la Météorologie, de l'Observatoire National de l'Agriculture, de l'Agence de Promotion des Investissements Agricoles et des chercheurs universitaires** pour leurs apports et contributions tout au long de ce projet.

Les auteurs remercient également M. **Alaya Becheikh**, M. **Mounir Ben Said** et M. **Abdelaziz Houichi** de l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives de leurs précieux commentaires et conseils pour la réalisation de cette étude.

تلخيص

تشير التنبؤات المستقبلية المتعلقة بآثار تغير المناخ في البلاد التونسية إلى ارتفاع متزايد في درجات الحرارة وتراجع هام في كميات الأمطار مما سيزيد من الضغوط على الموارد المائية والإنتاجية الزراعية. في هذا السياق، يهدف هذا التقرير إلى تقييم تأثيرات تغير المناخ المحتملة على الاقتصاد التونسي والقطاع الزراعي وبحلول سنة 2050 استنادا إلى نموذج اقتصادي كلي: Modèle gemmes-Tunisie. كما يسلط الضوء على مدى نجاعة سياسات التكيف الأكثر ملائمة للقطاع الفلاحي من خلال تقييم تكاليف وعوائد هذه السياسات بما في ذلك الآثار الاجتماعية والاقتصادية المترتبة عنها.

استنادا إلى السيناريوهات المحتملة توصلت الدراسة إلى أن عدم التدخل وتجاهل تغير المناخ من شأنه تعميق الاختلالات المالية والاقتصادية، من خلال زيادة نسبة البطالة وارتفاع مستويات الأسعار وتدهور التوازنات المالية الكبرى.

ولمواجهة الآثار السلبية لتغير المناخ وزيادة قدرة الاقتصاد التونسي على مواجهة الصدمات المختلفة، تؤكد النتائج على أهمية وإلحاح تنفيذ سياسات التكيف التي من شأنها زيادة إنتاجية القطاع الزراعي والاقتصاد بشكل عام لضمان الأمن الغذائي وتجنب أزمة ميزان المدفوعات على المدى الطويل. كما يؤكد على مبدأ الحاجة إلى تصميم وتنفيذ استراتيجية تكيف متكاملة للقطاع الزراعي تحد من القيود الهيكلية التي تحول دون تنميته، ولا سيما تلك المتعلقة بصعوبة النفاذ إلى التمويل وظروف العمل.

Résumé

Le changement climatique en Tunisie présente un défi majeur pour l'économie nationale en général et l'agriculture en particulier, avec une augmentation des températures, une diminution des précipitations et une intensification des phénomènes météorologiques extrêmes. Cet impact est plus perceptible dans un pays dépendant des importations alimentaires et confronté à des difficultés financières. Ce rapport vise à mesurer l'impact macroéconomique et sectoriel du changement climatique et à formuler des politiques d'adaptation pour l'agriculture tunisienne afin d'atténuer ces effets négatifs, soulignant l'importance de renforcer la productivité agricole et économique pour assurer la sécurité alimentaire et éviter les crises financières à long terme. Une stratégie d'adaptation intégrée est nécessaire pour surmonter les obstacles structurels, notamment le financement des politiques d'adaptation.

Abstract

Climate change represents a major challenge for Tunisian agriculture, driven by increasing temperatures, reduced precipitation, and more frequent extreme weather events, exacerbating recurrent droughts. The dependence on agricultural imports, coupled with economic difficulties, can deepen both domestic and external imbalances, affecting public debt and worsening trade and current account deficits. To address these issues, the report aims to develop tailored adaptation policies for the agricultural sector, evaluating the impacts and costs of climate change while assessing adaptation strategies. Emphasizing the need for implementation, these policies aim to improve agricultural productivity, economic resilience, and food security, thus alleviating long-term external payment crises. An integrated adaptation strategy is crucial for overcoming structural constraints, particularly addressing farmers' access to financing.

Table des matières

Résumé analytique	6
Introduction	14
Partie I : Les impacts physiques du changement climatique en Tunisie : Etat actuel et scénarios d'évolution future	16
1. Les dommages et les pertes engendrés par le réchauffement climatique durant les dernières décennies	17
2. Scénarios climatiques à l'horizon 2050	18
3. Vulnérabilité du secteur agricole aux effets néfastes du changement climatique	21
3.1 Importance du secteur agricole sur le plan économique et social	23
3.2 Les fragilités structurelles du secteur agricole diminuent sa capacité d'adaptation au changement climatique	26
3.2.1 Forte dépendance au climat	26
3.2.2 Dominance de l'agriculture familiale caractérisée par son faible niveau d'instruction	27
3.2.3 Hausse de l'endettement des agriculteurs	28
3.2.4 Une situation de stress hydrique qui sera aggravée par le changement climatique	29
Partie II : Evaluation des effets macroéconomiques des changements climatiques et des politiques d'adaptation	31
1. Le modèle GEMMES-Tunisie	33
1.1 Présentation du modèle	33
1.1.1 Production	33
a. Le secteur agricole	33
b. Le secteur non agricole	35
1.1.2 Les prix	39
a. Prix internationaux	39
b. Prix domestiques	40
1.1.3 Financement	43
a. Agriculture	43
b. Secteur non agricole	44
1.1.4 Banques	49
1.1.5 Les administrations publiques	55
1.1.6 La banque centrale	60
1.1.7 Les ménages	61
1.1.8 Dynamique du taux de change et reste du monde	65
1.1.9 Reste du monde et balance des paiements	66
1.2 Fondements théoriques du modèle	67
1.2.1 La rétroaction entre la sphère réelle et la sphère financière	67
1.2.2 Les déséquilibres des marchés	68
1.2.3 Rôle actif de la monnaie	69
1.2.4 Cadre comptable cohérent	70
1.3 Cadre comptable et structure du modèle	71
1.4 Données et calibrage des paramètres	74
1.5 Méthodologie d'évaluation	76
2. Perspectives de l'économie tunisienne à l'horizon 2050 en l'absence des politiques d'adaptation	77
2.1 Impacts du changement climatique sur le secteur agricole	79
2.2 Coûts macroéconomiques de l'inaction face au changement climatique	85
3. Enjeux d'adaptation au changement climatique : Evaluation des coûts et des bénéfices socio-économiques à l'horizon 2050	94
3.1 Politiques d'adaptation du secteur agricole en Tunisie	94
3.2 Scénarios des politiques d'adaptation du secteur agricole simulés	96
3.3 Effets macroéconomiques des politiques d'adaptation au changement climatique	101
Conclusion	109

Liste des figures

Figure 1 : Projections de la température de surface moyenne à l'horizon 2050 (Scénarios RCP 8.5 et RCP 4.5).....	19
Figure 2 : Variation des précipitations selon les scénarios	20
Figure 3 : Evolution de l'« Indicateur de vulnérabilité globale de la Tunisie face au changement climatique » et de la composante « capacité technologique du secteur agricole » entre 1995 et 2021 pour la Tunisie.....	22
Figure 4 : Evolution de l'investissement agricole et des subventions des produits agricoles et agro-alimentaires	25
Figure 5 : Taux de croissance de la valeur ajoutée agricole (%) et précipitations annuelles (mm3/an)	27
Figure 6 : Carte de stress hydrique à l'horizon 2040.....	30
Figure 7 : Financement de l'investissement des sociétés non financières.....	70
Figure 8 : Processus d'estimation des paramètres.....	75
Figure 9 : Méthodologie d'évaluation.....	76
Figure 10 : Evolution du nombre de jours de précipitations >40 mm dans les gouvernorats de Béja et Jendouba entre 1999 et 2100	80
Figure 11 : Projections de la production domestique par type d'utilisation.....	82
Figure 12 : Canaux de transmission de la baisse de la production agricole en volume dans le modèle GEMMES-Tunisie	84
Figure 13 : Evolution de la croissance économique à l'horizon 2050 selon les scénarios.....	85
Figure 14 : Evolution de la balance commerciale en % du PIB	86
Figure 15 : Evolution de la balance courante en % du PIB selon les scénarios	87
Figure 16 : Evolution du taux de chômage à moyen et long terme	88
Figure 17 : Evolution du déficit public en % du PIB.....	89
Figure 18 : Evolution de la dette publique extérieure	90
Figure 19 : Evolution du taux de change nominal selon les scénarios simulés.....	91
Figure 20 : Evolution du taux d'inflation	92
Figure 21 : Evolution de l'inflation des produits agricoles	92
Figure 22 : Evolution de l'inflation des produits IAA	92
Figure 23 : Evolution du taux de croissance du PIB selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS	103
Figure 24 : Evolution du taux de chômage selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS	103
Figure 25 : Balance commerciale de la Tunisie.....	104
Figure 26 : Evolution du solde courant en % du PIB selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS.....	105
Figure 27 : Evolution de la dette publique extérieure selon les scénarios d'adaptation en comparaison avec le scénario RCPHI.....	106
Figure 28 : Risque pays selon les scénarios BAU, RCPHI, RTS et WDS.....	107
Figure 29 : Evolution des réserves de change en jours d'importations	107
Figure 30 : Déficit courant en % du PIB, selon les différents scénarios d'adaptation en comparaison avec le scénario RCPHI.....	108

Liste des tableaux

Tableau 1 : Synthèse des dommages et pertes causés par les inondations de Nabeul en 2018....	18
Tableau 2 : Evolution des échanges extérieurs des produits agro-alimentaires	24
Tableau 3 : Part du secteur agricole dans l'emploi totale dans le milieu rural	26
Tableau 4 : Projections des ressources en eau conventionnelles selon le scénario tendanciel	29
Tableau 5 : Sources des données utilisées dans le modèle	72
Tableau 6 : Matrice des transactions Flux du modèle GEMMES-Tunisie	73
Tableau 7 : Hypothèses des scénarios simulés.....	79
Tableau 8 : Evolution de la production agricole en volume (aux prix constants de 2017)	82
Tableau 9 : Evolution des grandeurs macroéconomiques selon les scénarios climatiques (RCPI et RCPLI) en niveau et en écart relatif par rapport au scénario tendanciel BAU	93
Tableau 10 : Hypothèses sous-jacentes des scénarios d'adaptation	99
Tableau 11 : Evolution des indicateurs macroéconomiques selon les scénarios d'adaptation RTS et WDS et en écart relatif par rapport au scénario climatique RCPI	102

Table des abréviations et acronymes

GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
FERDI	Fondation pour les Etudes et Recherches sur le Développement International
SFC	Stock-Flux Cohérent
CNULCD	Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification
CAR/PAP	Centre d'activités régionales pour le Programme d'actions prioritaires
RCP	Representative Concentration Pathway
FAO	Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
IIASA	Institut International pour l'Analyse des Systèmes Appliqués

Résumé analytique

Le changement climatique, caractérisé par une augmentation des températures, une diminution des précipitations et une fréquence accrue des événements extrêmes avec la hausse de l'intensité et de la multiplicité des années de sécheresse au cours des deux dernières décennies, demeure un défi majeur pour l'économie tunisienne et la durabilité de l'activité agricole et son développement.

Ses répercussions économiques, dans un pays à forte dépendance aux importations agroalimentaires et qui connaît une situation économique assez difficile, sont susceptibles d'aggraver les déséquilibres externes et internes du pays, introduisant des risques de non-soutenabilité de la dette extérieure et un creusement du déficit courant.

L'évaluation ex-ante des risques économiques potentiels associés au changement climatique joue un rôle crucial dans la mise en place de mesures préventives et dans la préparation adéquate de l'économie tunisienne face aux futurs défis climatiques.

En outre, elle guide l'élaboration de politiques et de stratégies d'adaptation efficaces, permettant ainsi aux gouvernements de concevoir des politiques économiques et environnementales plus éclairées visant à renforcer la résilience face aux changements climatiques. Cette approche favorise également la prise de décisions d'investissement plus durables, favorisant ainsi le développement d'infrastructures et de technologies adaptées au climat.

L'objectif de cette étude est de répondre aux principales questions suivantes :

- Quels sont les perspectives économiques de la Tunisie sous l'effet du changement climatique ?
- Quels sont les coûts et les bénéfices des politiques d'adaptations et leur capacité à assurer une trajectoire de croissance durable ?

Pour aborder ces interrogations, un modèle macroéconomique a été élaboré afin d'évaluer les implications économiques à moyen et long terme des effets physiques du changement climatique. Ce modèle, appelé "GEMMES-Tunisie" (Yilmaz, Ben Nasr, Mantes, Ben Khalifa, & Daghari, 2023), a été développé par l'Agence Française de Développement en partenariat avec l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Études Quantitatives.

Le modèle, adapté au contexte économique tunisien, se focalise sur l'évaluation économique et financière des impacts futurs du changement climatique, ainsi que sur les coûts et les avantages des politiques d'adaptation les plus appropriées pour y faire face.

Le modèle utilisé est un modèle macroéconomique de type Stock-Flux Cohérent (SFC) avec une dynamique intertemporelle en temps continu, une rétroaction entre la sphère réelle et la sphère monétaire et financière, un déséquilibre des marchés et une cohérence entre les stocks d'une part et les transactions réelles et les flux financiers d'autre part.

L'objectif étant d'apporter un éclairage à la décision publique à travers une analyse des impacts physiques et une évaluation des effets socio-économiques du changement climatique. Quant aux impacts physiques, ils ont été introduits dans le modèle d'une manière exogène à travers des projections combinées de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO, 2018) et celles réalisées dans le cadre de l'étude « Adapt-Action, Volet Sécurité Alimentaire » (Deandres, et al., 2021)¹.

Ces projections ont été utilisées par la suite comme intrant dans le modèle GEMMES-Tunisie afin d'évaluer le coût macroéconomique de l'inaction face au changement climatique, et ce à travers des simulations de scénarios. Le scénario Business as Usual (BAU) ou scénario tendanciel prolonge les tendances passées de la production agricole, supposant ainsi une évolution de la production équivalente à celle observée durant les deux dernières décennies, soit un taux d'accroissement annuel moyen de l'ordre de 1.2% sur toute la période de la projection. Ensuite, deux variantes du scénario climatique (RCP 8.5²) ont été simulées. Dans la première variante (Scénario RCPLI³), le taux d'inflation mondiale des produits agricoles et celles des industries agroalimentaires serait à un niveau de 3%. Dans la deuxième variante (Scénario

¹ Cette étude fait partie de la facilité Adapt 'Action. Il correspond à la première activité « Appui à la formulation du Plan National d'Adaptation / Volet Sécurité alimentaire » du premier axe « Appui à la déclinaison des Contributions Déterminées Nationales en politiques publiques sectorielles, principalement dans le domaine de l'adaptation au changement climatique ».

² RCP (Representative Concentration Pathways) sont des scénarios de trajectoire du forçage radiatif établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur la base des hypothèses relatives à la quantité des émissions émises des gaz à effet de serre sur la période 2000-2100.

³ RCPLI : Climate Change Scenario with Low Inflation : Scénario RCP 8.5 avec inflation mondiale des denrées alimentaires modérée.

RCPHI⁴), l'hypothèse retenue est une inflation des prix internationaux des denrées alimentaires plus élevée, soit 5.5%. Quant à la croissance mondiale, le PIB s'accroîtrait à 3% dans les deux scénarios considérés.

Les résultats mettent en évidence les impacts significatifs du changement climatique sur les différentes grandeurs macroéconomiques à défaut d'action. Ces effets seraient substantiellement plus marqués sous l'hypothèse d'une inflation mondiale des denrées alimentaires plus élevée. Cela reflète la vulnérabilité de l'économie tunisienne face aux chocs climatiques, ainsi qu'à la volatilité des prix internationaux des produits alimentaires à l'instar du choc macroéconomique à la suite de la guerre Russo-Ukrainienne.

Par rapport au scénario BAU, les résultats montrent une perte du PIB nominal, comprise entre -4% et -11% du PIB en 2050 selon le scénario et une baisse annuelle de la production agricole de -0.5% jusqu'à 2050.

Sur le marché du travail, les pertes d'emplois dans le secteur agricole s'accroîtraient en lien avec la forte contraction prévue de l'activité agricole. Les scénarios climatiques prévoient la destruction de 216 000 emplois agricoles d'ici 2050. Cela peut entraîner une accentuation de la migration vers les zones urbaines et causer ainsi une urbanisation plus rapide.

Le taux de chômage devrait ainsi se stabiliser à un niveau supérieur à 15% selon le scénario RCPLI, dépassant même 17% dans le cadre du scénario RCPHI. Avec la forte augmentation du chômage, la dette publique atteindrait des niveaux alarmants en raison de la baisse des recettes fiscales et de l'augmentation des transferts sociaux.

En outre, suite à la baisse de la production des principaux produits exportés (les dattes et les olives), les exportations alimentaires connaîtraient une baisse significative, ralentissant ainsi la dynamique des exportations totales jusqu'à 2050. En parallèle, la demande intérieure, tirée principalement par la consommation finale des ménages due à l'accroissement démographique, continueraient à s'accroître. Ainsi, pour combler l'écart grandissant entre la demande intérieure et la production nationale en baisse, les importations augmenteraient à un rythme supérieur aux exportations. Cela engendrerait un creusement de plus en plus croissant du déficit commercial, qui

⁴ RCPHI : Climate Change Scenario with High Inflation : Scénario RCP 8.5 avec inflation mondiale des denrées alimentaires élevée.

enregistrerait entre 10.4% (scénario RCPLI) et 13.7% (scénario RCPHI) du PIB contre seulement 8.9% du PIB dans le scénario BAU en 2050.

Par ailleurs, les emprunts de l'Etat en monnaie étrangère augmenteraient, ce qui conduirait à une insuffisance de financement du déficit courant et à une dévaluation rapide de la monnaie, et par conséquent à une accélération de l'inflation.

La balance courante devrait se dégrader et pourrait avoisiner -7.3% selon le scénario RCPLI et -11% du PIB selon le scénario RCPHI en 2050.

Les simulations réalisées permettent aussi de quantifier les bénéfices de l'ensemble des mesures d'adaptation sur l'économie tunisienne, ainsi que leurs retombées macroéconomiques négatives résultantes des coûts d'investissements élevés nécessaires pour leur mise en œuvre

Nous simulons dans cette étude un ensemble de politiques d'adaptation à long terme envisagé dans le cadre de la « Stratégie Eau 2050 ». Le coût des investissements hydrauliques prévus, consistant principalement en la construction des stations de dessalement et le traitement des eaux usées, est estimé à 1,1 % du PIB par an. Concernant le financement climatique, l'hypothèse retenue dans cet exercice suppose un financement public-privé avec un taux d'intérêt modéré.

Les résultats montrent que les bénéfices tirés des grands investissements hydrauliques, destinés à réduire le déficit hydrique dû au changement climatique d'ici 2050, combinés à une croissance limitée du secteur agricole et une amélioration de la productivité de l'eau dans ce secteur, resteraient négligeables.

En effet, les déficits prévus au niveau de la balance commerciale, de la balance des paiements ainsi que la dette publique extérieure pourraient atteindre des niveaux quasi-similaires au scénario du changement climatique avec une inflation moyenne. Bien que la mise en œuvre de ces politiques s'avère importante sur le plan social tant pour le chômage et la sécurité alimentaire, les risques au niveau macroéconomique restent préoccupants.

Le RTS, en revanche, dessine un tableau très différent. Bien que les effets multiplicateurs positifs des politiques d'adaptation publiques et privées réduisent le chômage en dessous du niveau enregistré dans le scénario BAU, la monnaie se déprécie fortement par rapport à tous les autres scénarios, maintenant l'inflation générale, alimentaire et des produits transformés à proximité du scénario d'inflation

élevée. Associé à un déficit du compte de revenus en expansion, le déficit du compte courant atteint 11% du PIB et les réserves de change en pourcentage des importations tombent en dessous des niveaux RCPHI à long terme. Le risque pays explose également à des niveaux supérieurs à ceux de RCPHI, faisant apparaître une probabilité beaucoup plus élevée de rationnement des emprunts publics en devises étrangères. En raison du faible taux de croissance de l'économie, l'investissement public d'adaptation exerce une forte pression sur le déficit budgétaire et la dette publique, car la dette totale dépasse d'abord le niveau du scénario d'inflation élevée et se stabilise à long terme à environ le même niveau, avec une dette extérieure excessive alimentant l'augmentation. La croissance du revenu par habitant ralentit également pour atteindre les niveaux de RCPHI, aggravée par la dépréciation rapide du taux de change nominal.

Néanmoins, ces mesures d'adaptation, toutes choses égales par ailleurs, auraient un impact négatif sur la balance commerciale et la balance courante, tout autant que le déficit budgétaire et la dette extérieure résultant des coûts élevés des investissements qui grèvent le budget de l'État, sont censés être financés par des ressources extérieures.

En effet, selon ce scénario, le déficit courant se creuserait à 11% du PIB, tandis que la dette publique extérieure s'aggraverait à 85.5% du PIB en 2050.

Ainsi, bien que la mise en œuvre des politiques d'adaptation dans le secteur de l'eau soit cruciale sur le plan social, tant pour le chômage que pour la sécurité alimentaire, les risques sur le plan macroéconomique restent préoccupants.

Quant au scénario « Eau et développement », intégrant des politiques d'économies d'eau dans tous les secteurs via une tarification de l'eau ainsi qu'une gestion optimale de la demande, les résultats révèlent une stabilisation des déséquilibres vers des niveaux relativement bas.

La hausse progressive de la productivité du travail, stimulée par l'investissement public, et la croissance rapide de la production agricole ont des effets positifs et significatifs sur la dynamique macroéconomique, malgré le coût élevé de l'investissement d'adaptation et la propension élevée à l'importation selon le scénario WDS.

Le chômage diminuerait régulièrement pour atteindre 6% d'ici 2050 et l'inflation générale des prix à la consommation serait ramenée en dessous des niveaux du BAU, autour de 4%. De même, le déficit de la balance commerciale se réduirait à environ 7% du PIB. Le compte de revenus s'améliorerait également légèrement, conduisant à un déficit du compte courant légèrement inférieur, soit 7% en 2050. Malgré l'augmentation des prêts en devises étrangères pour financer l'investissement d'adaptation, la dette en devises étrangères en pourcentage du PIB total suivrait une trajectoire décroissante après une hausse initiale, tombant en dessous des niveaux BAU pour atteindre un peu moins de 60% à long terme, réduisant ainsi le risque pays et les taux d'intérêt sur l'emprunt public en devises étrangères et éliminant l'accumulation insoutenable de la dette étrangère dans les scénarios du changement climatique.

En plus, les recettes fiscales élevées et le faible chômage entraîneraient une baisse soutenue du déficit du secteur public à 3,5% et du ratio dette publique / PIB à 70% à long terme. Le revenu par habitant, mesuré aux prix constants de 2017(en euros), augmenterait rapidement pour atteindre 9000 euros d'ici 2050, les importations alimentaires représentant moins de 2% du PIB, rapprochant ainsi la Tunisie d'une sécurité alimentaire quasi totale.

Ces résultats sont conditionnés par un taux de croissance macro-économique beaucoup plus important, soit 4.5%. Dans ce cas, la croissance de la productivité du travail devrait augmenter à 3%, via des investissements publics importants dans les domaines de la recherche et développement, de l'éducation et de l'infrastructure qui devraient être engagés afin de remédier aux fragilités structurelles qui entravent l'accroissement de la productivité du travail en Tunisie.

Eu égard à ces résultats, nombre de recommandations sont mises en avant pour répondre aux effets néfastes du changement climatique et améliorer la résilience de l'économie tunisienne à moyen et long terme. Ces recommandations issues des diverses stratégies élaborées en Tunisie⁵ sont centrées sur quatre axes de politiques économiques.

⁵ *Stratégie Bas Carbone et Résiliente au Changement Climatique* (HEAT GmbH, ACTERRA Environnement, Climat, 2022), *Plan National de Gestion de la Sécheresse - Tunisie* (CNULCD, 2020), *Stratégie Eau 2050* (STUDI INTERNATIONAL & GWK, Décembre 2020).

Premièrement, il s'agit de stimuler les investissements dans le secteur hydraulique, dont notamment la construction des stations de dessalement et des stations d'épuration des eaux usées et la modernisation et l'entretien des infrastructures hydrauliques telles que les barrages, les canaux et les réseaux d'irrigation pour réduire les pertes d'eau. Les exploitants agricoles devraient adopter des techniques d'irrigation plus efficaces telles que le goutte-à-goutte, l'irrigation par aspersion ou l'irrigation de précision. Ces méthodes permettent une utilisation plus efficace de l'eau, réduisant les pertes par évaporation et ruissellement.

Deuxièmement, pour surmonter les défis liés au financement des projets d'investissement et mobiliser les besoins de financement nécessaires pour la mise en œuvre des politiques d'adaptations, il est opportun de diversifier les sources de financement. Cela inclut le recours à des partenariats public-privé (PPP) afin de partager les risques et les coûts entre le secteur public et privé et à des marchés financiers internationaux. Cela peut impliquer la souscription d'obligations à caractère écologique (obligations vertes), le recours au marché carbone ou solliciter des financements auprès des institutions financières internationales établies dans le cadre de la Convention-Cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), comme le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) et le Fonds vert pour le climat (FVC), le Fonds spécial pour les changements climatiques (SCCF), le Fonds pour les pays les moins avancés (LDCF) et le Fonds d'adaptation (FA) . Le « Blended finance » qui associe le financement public concessionnel et le financement privé non concessionnel peut contribuer aussi à combler le gap de financement des politiques d'adaptation en Tunisie.

Troisièmement, la promotion de l'innovation, de la recherche et développement et de la technologie peut stimuler la productivité du travail et améliorer les processus de production, notamment dans le secteur de l'eau, telles que les turbines plus efficaces, les systèmes de stockage d'énergie hydraulique ou les techniques de gestion des ressources en eau. Technologies de gestion de l'eau : Utiliser des technologies telles que les capteurs de sol, les drones et les systèmes d'information géographique pour surveiller et gérer de manière plus efficace les ressources en eau permet une gestion plus efficace de l'irrigation et de la distribution de l'eau.

Quatrièmement, le renforcement des capacités locales et la sensibilisation des agriculteurs, des entreprises et des ménages à l'importance de la gestion efficace de

l'eau et leur formation sur les techniques d'irrigation efficaces et les pratiques agricoles durables peuvent jouer un rôle crucial dans l'amélioration de la productivité de l'eau.

Il est important aussi de renforcer le système éducatif et d'offrir des programmes de formation professionnelle qui fournissent aux exploitants agricoles les compétences nécessaires pour réussir ces politiques d'adaptation.

Enfin, pour que ces politiques réussissent, il est essentiel de mettre en place des mécanismes de gestion appropriés, tels que des assurances contre les risques climatiques et environnementaux, ainsi que des systèmes de tarification de l'eau qui reflètent fidèlement sa valeur économique et encouragent une utilisation plus efficiente. Ces systèmes pourraient comprendre des tarifs progressifs qui sanctionnent les utilisations excessives ou inefficaces de l'eau.

La mise en œuvre d'une stratégie d'adaptation intégrée qui s'articule autour des différents axes comme mentionnés précédemment, permet à la fois d'améliorer significativement la productivité de l'eau, de pérenniser et développer l'activité agricole et de rehausser la productivité du travail au niveau macroéconomique. Ce processus peut stimuler la croissance économique à moyen et long terme et favoriser une trajectoire de développement durable pour la Tunisie.

Introduction

Selon le dernier rapport du GIEC, « *l'urgence climatique est déclarée dans toutes les régions du monde, notamment dans les pays de la Méditerranée où le dérèglement climatique s'intensifie et s'accélère de plus de 20% par rapport au reste du monde* ».

Caractérisée par un climat aride à semi-aride au plus de 80% de son territoire et une pénurie croissante des ressources en eau, la Tunisie demeure particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique et figure au 34^{ème} rang selon l'Indice de Vulnérabilité Physique au Changement Climatique (IPVCC)⁶ parmi 192 pays du monde (FERDI, 2019).

En effet, le degré élevé de la vulnérabilité provient essentiellement de l'indice d'aridité, au regard duquel, la Tunisie est considérée comme le cinquième pays au monde le plus vulnérable au risque accru de sécheresses et de déficit hydrique. Elle a connu sur la dernière décennie seulement, six années de sécheresse.

Sur le plan sectoriel, les secteurs les plus vulnérables sont l'agriculture, avec un score de vulnérabilité élevé résultant de la faible capacité d'adaptation du secteur agricole, suivi par le secteur de l'eau, dont le taux élevé de prélèvement des ressources en eau douce et la faible capacité des barrages constituent les principaux facteurs de vulnérabilité (University of Notre Dame, 2023).

Ces facteurs de vulnérabilité sectoriels pourraient entraver le développement économique et social de la Tunisie. Ainsi, la planification économique à moyen et long terme doit prendre en considération la réalité des changements climatiques et la nécessité de renforcer les mesures d'adaptation qui demeurent urgentes et primordiales pour réduire les effets néfastes du changement climatique sur une économie qui est fortement dépendante des exportations agricoles et des importations des céréales.

Dans ce cadre, l'évaluation des conséquences macroéconomiques du réchauffement climatique et de la pertinence des stratégies d'adaptation doivent être systématiquement prises en compte en amont de toute décision économique.

⁶ Cet indice est calculé par la FERDI sur la base des sous indices relatifs à l'évolution progressive et continue de la submersion et de l'aridité, d'une part, et de l'intensification de la fréquence et de l'ampleur des chocs récurrents et des événements extrêmes d'autre part, et ce sur la période 1950-2016.

Ce rapport s'attache à quantifier l'impact du changement climatique sur le plan macroéconomique, et mettre en relief les enjeux majeurs liés à la mise en place de politiques d'adaptation appropriées.

Il se propose d'analyser, dans une première partie, les impacts physiques du changement climatique. Cette partie couvre essentiellement les aspects suivants :

- La situation actuelle et future du changement climatique en Tunisie, ainsi que les dommages et les risques liés à son évolution durant les deux dernières décennies.
- Les scénarios climatiques futurs pour la Tunisie
- L'importance du secteur agricole dans le développement économique du pays et ses fragilités structurelles susceptibles de limiter sa capacité d'adaptation et son développement à moyen et long terme.

La deuxième partie se divise en trois sections. Dans un premier temps, elle examine les résultats des simulations portant sur les effets du changement climatique, tout en présentant la structure et les principales caractéristiques du modèle utilisé. Cette analyse se penche sur les différents scénarios envisagés pour l'évolution de l'économie tunisienne sous l'influence du changement climatique.

Dans un deuxième temps, cette partie explore d'abord les diverses stratégies et politiques d'adaptation envisagées pour la Tunisie. Puis, à partir d'une évaluation des coûts d'investissement requis et des bénéfices potentiels en termes de production agricole associés à un ensemble de politiques hydrauliques, nous procédons ensuite à l'évaluation des avantages et des coûts économiques de ces politiques d'adaptation à l'horizon 2050.



Partie I

**Les impacts physiques du changement
climatique en Tunisie :
Etat actuel et scénarios d'évolution future**

La Tunisie est soumise à l'influence de deux climats, l'un méditerranéen au nord et à l'est et l'autre saharien au sud et sud-ouest, qui sont à l'origine d'une variabilité spatio-temporelle des paramètres climatiques, aussi bien de la pluie que de la température (CNULCD, 2020)

Les conséquences physiques du changement climatique en Tunisie se sont traduites par une augmentation tant en fréquence qu'en intensité des événements extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations (Ministère de l'environnement, Octobre 2021). Cette situation a entraîné d'importants dommages matériels, des pertes agricoles significatives et des pertes de revenus dans les secteurs touchés.

1. Les dommages et les pertes engendrés par le réchauffement climatique durant les dernières décennies

Durant les dernières décennies, la variabilité interannuelle du climat a été très importante avec une forte oscillation entre les saisons humides et sèches et une intensification des événements extrêmes.

Selon le Plan National de la Gestion de la Sécheresse (CNULCD, 2020), qui s'appuie sur une analyse des catastrophes survenues entre 1980 et 2013, les sécheresses se positionnent en tête des événements ayant affecté la Tunisie. Elles ont occasionné plus de 18% des pertes économiques et ont touché 741 milles hectares. En revanche, les inondations ont engendré plus de 60% des dommages, bien qu'elles soient moins fréquentes.

Les dommages et les pertes causées par les inondations qui ont frappé en 2018 le gouvernorat de Nabeul, situé au nord-est de la Tunisie, ont été estimés à près de 299 millions de Dinars affectant considérablement les secteurs de transport, du logement et de l'agriculture (Banque Mondiale, 2019).

S'agissant du secteur agricole, les sinistres ont été estimés à près de 50.8 millions de Dinars, soit 26,6 millions DT de dommages et 24,2 millions DT de pertes. Les sous-secteurs de l'arboriculture, du maraîchage, de l'élevage et de la pêche, ainsi que des infrastructures hydro-agricoles ont été touchés.

Tableau 1 : Synthèse des dommages et pertes causés par les inondations de Nabeul en 2018

Colonne1	Dommages (MDT)	Pertes MDT)	Total effets (MDT)
Arboriculture	3,8	16,6	20,4
Maraichage	1,7	6,1	7,8
Elevage	3,6	1,0	4,6
Pêche	0,0	0,5	0,5
Infrastructures hydro-agricoles	17,5	0,0	17,5
Total	26,6	24,2	50,8

Source : Rapport « Tunisie - Analyse des Besoins - 31-10-18 - FINAL » (Banque Mondiale, 2019)

En outre, ces inondations ont induit une perte de 215 mille jours de travail, soit 3 millions de dinars en termes de revenu agricole, dont 1,8 millions de dinars perdus par les femmes.

En plus des événements extrêmes, la température moyenne a également augmenté en moyenne de 2.1°C sur la période 1987-2012 et a enregistré une valeur record au mois de juillet 2021 à Kairouan, où elle a dépassé 50°C.

La hausse significative de la température a été suivie des périodes de canicules répétées, ainsi que des incendies et des sécheresses qui se sont multipliées ces dernières années, notamment entre 2015-2017 et 2019-2022.

La superficie cumulée brûlée, suite aux 45 incendies des forêts enregistrés au mois d'Août 2021, représente 4.6 fois la moyenne de la superficie brûlée pendant la période 2008-2020 estimée à 5789 ha (ONAGRI, 2021).

Il est probable que les dommages actuellement enregistrés s'aggravent au fil des décennies à venir. Par conséquent, il est crucial d'examiner les évolutions potentielles du climat en Tunisie dans le futur afin d'évaluer les répercussions éventuelles sur les écosystèmes et l'économie.

2. Scénarios climatiques à l'horizon 2050

Selon le quatrième rapport du GIEC, quatre scénarios climatiques ont été définis sur la base d'hypothèses relatives à la croissance démographique, au développement économique et à la technologie, chacun déterminant un niveau de forçage radiatif à

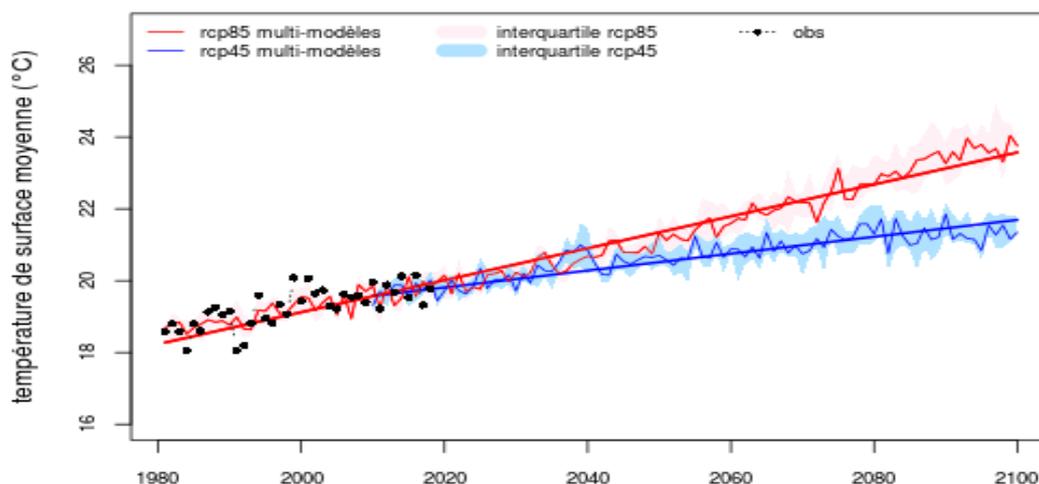
l'horizon 2100 appelé scénario RCP⁷. Le scénario RCP 8.5 est le scénario le plus pessimiste dans lequel les émissions des gaz à effet de serre continuent à évoluer selon le rythme actuel entraînant une hausse de la température de l'ordre de 4.5°C à l'horizon 2100.

Les scénarios RCP 4.5 et RCP 6.0 sont deux scénarios de forçage radiatif moyen à l'horizon 2100. Dans le premier scénario RCP 4.5, les émissions des gaz à effet de serre se stabiliseraient à un niveau faible avant la fin du 21^{ème} siècle, la température moyenne serait de 2°C en 2100. Pour le deuxième scénario RCP 8.5, ils connaîtraient une stagnation à un niveau moyen durant la même période, engendrant une hausse de la température de 2.5°C en 2100. Ces deux scénarios sont conditionnés par la mise en œuvre des politiques climatiques d'atténuation au niveau mondial.

Concernant le scénario le plus optimiste relatif au scénario RCP 2.6, la température moyenne mondiale augmenterait de 1°C à l'horizon 2100.

Pour le cas de la Tunisie, les dernières projections de l'Institut National de la Météorologie (INM, 2020), la température annuelle moyenne augmenterait de 1.8°C à l'horizon 2050 selon le scénario RCP 4.5, et ce par rapport à la température moyenne enregistrée sur la période 1981-2010.

Figure 1 : Projections de la température de surface moyenne à l'horizon 2050 (Scénarios RCP 8.5 et RCP 4.5)



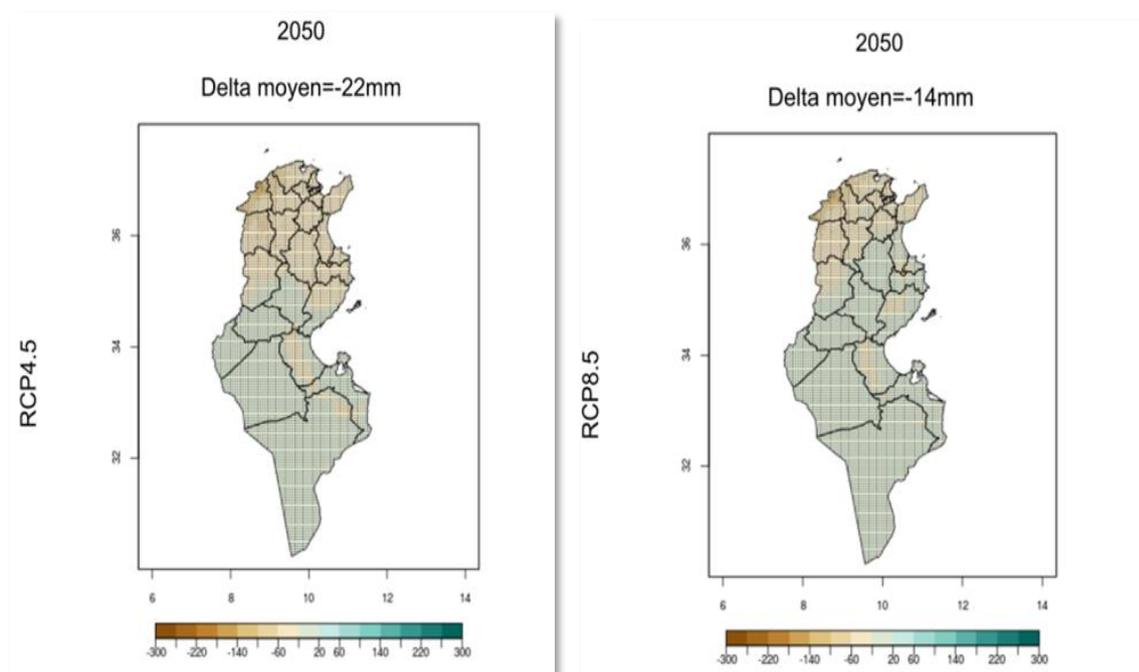
Source : Institut National de la Météorologie

⁷ Les scénarios « Representative Concentration Pathway (RCP) » sont des scénarios d'évolution de concentration des Gaz à Effet de Serre (GES) établis par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC).

Pour le RCP 8.5, cette élévation de température serait encore plus accélérée, atteignant 2,3°C à l'horizon 2050. Au niveau régional, le réchauffement climatique serait plus important à l'Ouest et au Sud du pays, avec une hausse de la température comprise entre 2°C et 2.5°C. Quant aux régions situées à l'Est et au Nord du pays, la température moyenne augmenterait entre 1.5 et 2°C. En plus, les régions arides de l'intérieur connaîtraient d'importantes vagues de chaleur qui menaceraient les agrosystèmes déjà fragilisés (Ministère de l'environnement, 2022).

Concernant les précipitations, les projections climatiques de l'Institut National de la Météorologie montrent une diminution des précipitations selon les deux scénarios (RCP 4.5 et RCP 8.5), respectivement de -14 mm et de -22 mm à l'horizon 2050. Cette diminution représente 6% (RCP 4.5) et 9% (RCP 8.5) des précipitations moyennes enregistrées sur la période 1981-2010.

Figure 2 : Variation des précipitations selon les scénarios



Source : Institut National de la Météorologie (INM)

Les projections saisonnières du climat montrent une variabilité interannuelle de plus en plus importante avec une forte oscillation entre les saisons humides et sèches. À l'instar de la variabilité temporelle des précipitations, leur variabilité spatiale serait également considérable. En effet, la diminution des cumuls des précipitations serait

plus importante aux étages bioclimatiques arides. La diminution des précipitations au Centre-Ouest et au Sud du pays varie entre -20mm et -60mm par rapport à la période de référence. Néanmoins, les régions du Nord du pays, caractérisées par des étages humides, enregistreraient une diminution beaucoup moins importante, allant de -20 à 0 mm.

Concernant les événements climatiques extrêmes, la Tunisie connaîtrait une augmentation du nombre de jours maximum consécutifs secs estimée entre +9.3 jours/an selon le RCP 4.5 et + 17.1 jours/ an selon le RCP 8.5, soit une hausse de +11% et +19% respectivement à l'horizon 2050 (INM, 2020).

Les scénarios climatiques prévoiraient aussi une hausse importante des extrêmes climatiques à l'horizon 2050 indiquant une fréquence et une durée plus longue des canicules et une augmentation des sécheresses et des inondations.

En se basant sur le scénario RCP 8.5, l'élévation du niveau de la mer est prévue entre 30 et 50 cm d'ici 2050, à même d'induire une intrusion marine dans les nappes phréatiques côtières, une dégradation des infrastructures hôtelières, portuaires et affecterait négativement la biodiversité marine (CAR/PAP, 2017).

L'ensemble de ces conséquences exercerait des influences néfastes sur la productivité du secteur agricole, confronté à des contraintes résultant à la fois de la perte significative de ses ressources naturelles, illustrée par la dégradation des réserves d'eau, l'érosion des sols et la déforestation, ainsi que d'autres facteurs structurels augmentant sa vulnérabilité aux changements climatiques.

3. Vulnérabilité du secteur agricole aux effets néfastes du changement climatique

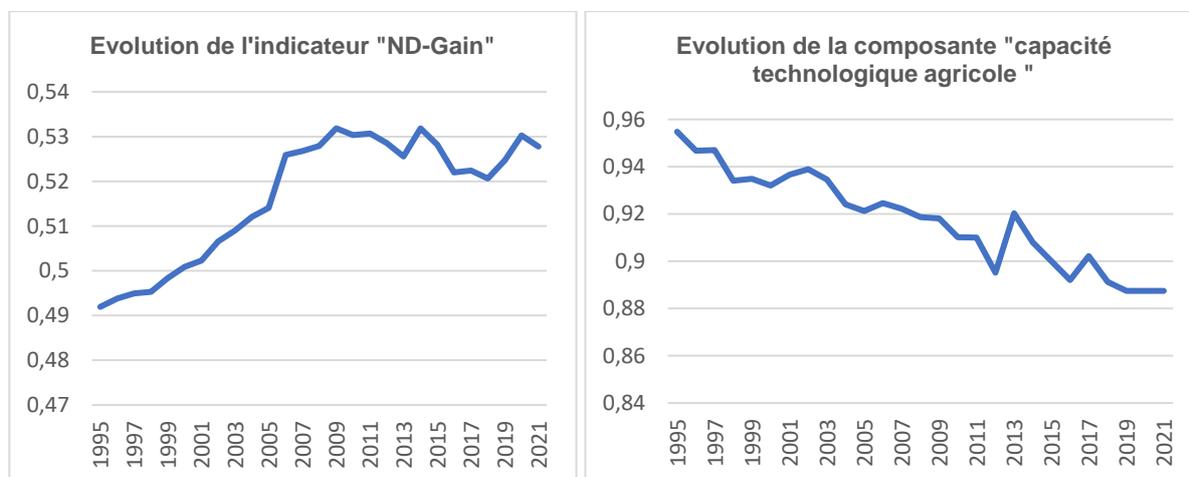
La vulnérabilité globale au changement climatique est définie selon le troisième rapport du GIEC comme « *le degré auquel un système est sensible et incapable de faire face aux effets néfastes du réchauffement climatique, y compris dans la variabilité et les extrêmes climatiques. La vulnérabilité peut être principalement divisée en deux grandes catégories, la vulnérabilité économique, basée sur des facteurs socio-économiques, et la vulnérabilité géographique.* » (GIEC, 2007).

Divers indicateurs ont été développés pour évaluer le niveau de vulnérabilité des pays face au changement climatique, ainsi que leur aptitude à s'adapter. Parmi ces

indicateurs, le ND-Gain⁸ classe les pays en fonction de deux sous-composantes intégrant à la fois la vulnérabilité et la capacité d'adaptation. Selon cet indicateur, la Tunisie est classée au 119^{ème} rang parmi les pays les plus vulnérables et au 86^{ème} rang parmi les pays les mieux prémunis. Il indique ainsi que les défis d'adaptation existent toujours, mais la Tunisie est bien placée pour s'adapter (University of Notre Dame, 2023).

L'évolution de cet indice, qui mesure la vulnérabilité dans six secteurs clés, à savoir l'alimentation, l'eau, la santé, les services écosystémiques, le logement et les infrastructures, montre une amélioration du niveau de vulnérabilité entre 1995 et 2011, passant de 0.38 à 0.366, avant de se dégrader au cours de la dernière décennie pour remonter à 0.38 en 2021. Parmi les composantes formant cet indicateur, « la capacité technologique du secteur agricole⁹ » représente le deuxième score de vulnérabilité le plus élevé après celui de la composante « Capacité totale cumulée de stockage des barrages par habitant ».

Figure 3 : Evolution de l'« Indicateur de vulnérabilité globale de la Tunisie face au changement climatique » et de la composante « capacité technologique du secteur agricole » entre 1995 et 2021 pour la Tunisie



Source : (University of Notre Dame, 2023)

⁸ Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN) : C'est un indicateur de vulnérabilité calculé par « University of Notre Dame » et compris entre 0 et 1. Plus, il se rapproche de 1, plus la vulnérabilité du pays est forte.

⁹ Mesure de la capacité technologique agricole intégrant la quantité d'engrais utilisée, la quantité de pesticides utilisés, la capacité d'équiper la zone agricole avec l'irrigation, et la fréquence d'utilisation des tracteurs. L'indicateur reflète la capacité d'un pays à acquérir et à déployer des technologies agricoles.

Cette situation tient à plusieurs facteurs structurels qui entravent le développement de l'agriculture tunisienne, malgré son rôle particulièrement important dans le développement socio-économique du pays.

3.1 Importance du secteur agricole sur le plan économique et social

L'agriculture représente en moyenne 10.2% du PIB sur la période 2011-2020. Dans cette lignée, le secteur de l'industrie agro-alimentaire (IAA) contribue à 3.2% du PIB. La contribution totale de ces deux secteurs s'élève à 13.4% du PIB, soit l'équivalent de la contribution totale du secteur des industries manufacturières hors IAA sur la période 2011-2020.

La production du secteur agricole comprend trois grands sous-secteurs : la production végétale, la production animale et la production de la pêche et de l'aquaculture. La production végétale représente 64% de la production agricole totale. Le reste est partagé entre la production animale et la production de la pêche avec une moyenne de 28% et 8% respectivement.

Les taux de satisfaction des besoins nationaux par la production nationale sont estimés à près de 50% pour les céréales, 100% pour les produits de l'élevage et plus de 80% pour les huiles (ONAGRI, 2020).

Au niveau du commerce extérieur, la balance alimentaire représente 12% de la balance commerciale globale de la Tunisie entre 2011 et 2020. La part des produits agricoles et ceux des industries agro-alimentaires représente 11.1% des importations et 11.3% des exportations. Les principaux produits importés sont le blé dur, le blé tendre, le Maïs et les tourteaux de soja. Les importations de blé représentent, à elles seules, plus de 51% des importations alimentaires du pays.

Quant aux exportations, les produits agro-alimentaires exportés sont essentiellement l'huile d'olives, les dattes et les produits de la pêche.

Tableau 2 : Evolution des échanges extérieurs des produits agro-alimentaires

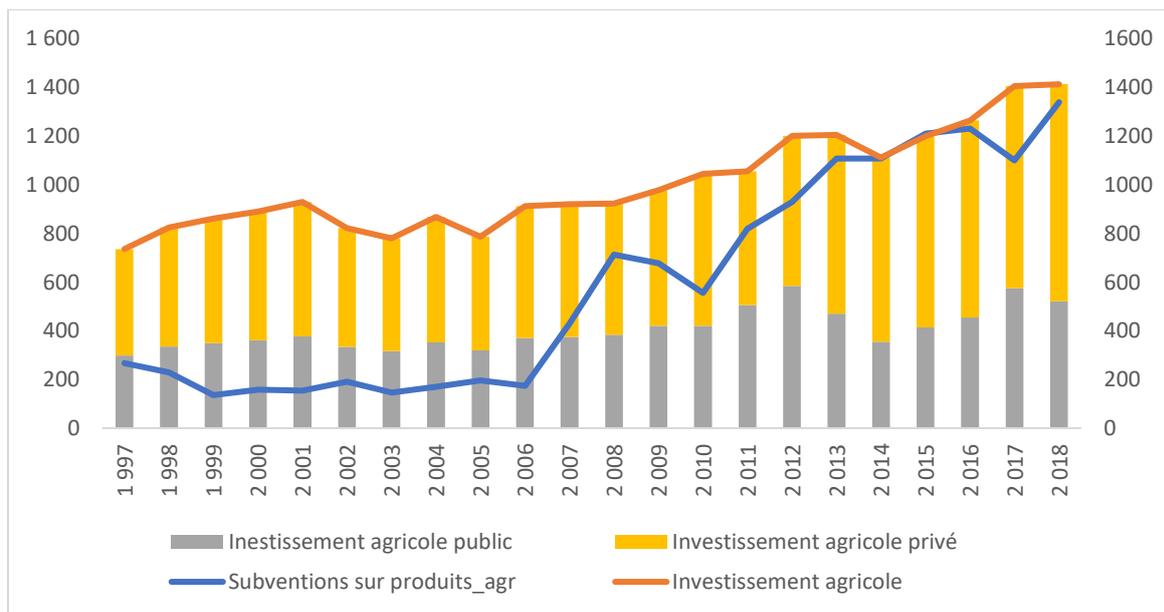
	2001-2010		2011-2020	
	Valeur moyenne (en MDT)	Taux d'accroissement annuel moyen (en %)	Valeur moyenne (en MDT)	Taux d'accroissement annuel moyen (en %)
Exportations des produits agricoles et industries agro-alimentaires	1479,1	9,1	3641,9	7,4
Dont : Huile d'olive	482,3	0,1	1189,2	19,0
Poissons, crustacés	182,4	0,0	314,1	4,8
Dattes	159,5	0,1	515,6	9,4
Agrumes	16,4	0,1	21,4	-0,7
Importations des produits agricoles et industries agro-alimentaires	2047,6	0,1	5209,2	5,8
Dont : Blé dur	192,7	0,1	485,6	9,3
Blé tendre	260,9	0,1	598,9	5,9
Orge	113,2	0,0	291,8	19,1
Mais	165,6	0,1	446,5	4,1
Pomme de terre	29,1	0,0	41,0	3,5
Viande	25,9	27,3	122,4	0,1
Laits et dérivés	20,9	0,1	24,9	8,3
Huiles végétales	16,8	0,2	37,3	-3,0
Sucre	46,1	0,1	97,5	-2,3
Tourteaux de Soja	266,4	-0,1	500,7	21,4
Balance agro-alimentaire	-568,6	0,1	-1567,3	2,0

Source : Institut National de la Statistique (INS)

De plus, la proportion des investissements dans le secteur agricole par rapport à l'investissement total a diminué, passant de 12% en 2001 à 7% en 2021. Cette diminution s'accompagne d'une contribution croissante du secteur privé aux dépens du secteur public. (INRAT, ONAGRI, 2020).

En revanche, les subventions allouées aux produits alimentaires ont augmenté, atteignant même des niveaux équivalents à ceux de l'investissement total.

Figure 4 : Evolution de l'investissement agricole et des subventions des produits agricoles et agro-alimentaires



Source : ONAGRI, INS

Sur le plan social, l'activité agricole aide à stabiliser les populations rurales et générer des revenus et des emplois, en particulier pour les jeunes et les femmes en milieu rural.

En termes d'emploi, le secteur agricole représente 14.5% de la population active occupée totale et demeure l'un des secteurs les plus intensifs en main-d'œuvre. Cette part s'élève à 29% en milieu rural avec 27% pour les hommes et 32% pour les femmes. En outre, il demeure le premier pourvoyeur d'emploi dans certaines régions du pays. Ce fût le cas des gouvernorats de Béja et El Kef au Nord-Ouest du pays, caractérisés par une proportion importante des emplois dans le secteur agricole estimée à plus de 37%.

Tableau 3 : Part du secteur agricole dans l'emploi totale dans le milieu rural

RGPH 2014	Part de l'emploi agricole par genre
Femmes	32%
Hommes	27%
Total	29%

Source : Recensement Général de la Population et de l'Emploi RGPH 2014 (INS)

3.2 Les fragilités structurelles du secteur agricole diminuent sa capacité d'adaptation au changement climatique

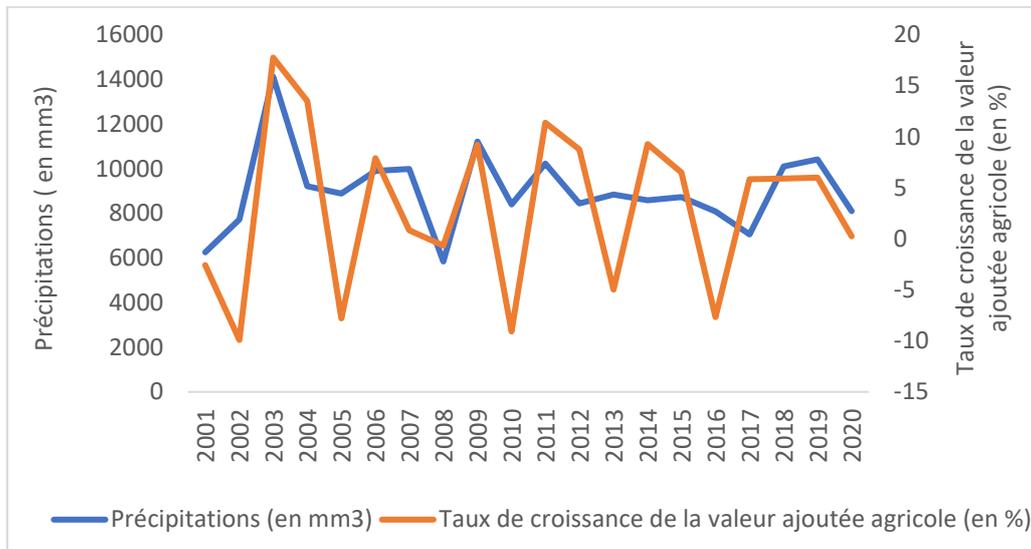
En dépit de sa contribution dans le développement économique et social, l'agriculture tunisienne souffre de multiples fragilités structurelles qui, combinée aux impacts négatifs du changement climatique, accentuent d'une manière significative la vulnérabilité à la fois de l'activité et de la population rurale qui en dépend.

3.2.1 Forte dépendance au climat

Le taux de croissance de la valeur ajoutée agricole au cours des vingt dernières années est très fluctuant. Ce secteur, essentiellement basé sur la production végétale majoritairement dominé par l'agriculture pluviale, demeure très dépendant aux précipitations annuelles.

En termes de superficie cultivée, l'agriculture irriguée ne représente en effet que 4.5% de la superficie agricole totale et contribue à hauteur de 37% de la valeur ajoutée agricole (INS, 2021). La forte variabilité du climat, notamment des précipitations annuelles, explique la volatilité de la croissance de la valeur ajoutée agricole.

Figure 5 : Taux de croissance de la valeur ajoutée agricole (%) et précipitations annuelles (mm3/an)



Source : Institut National de la Statistique, Institut National de la Météorologie

Cette forte variabilité de la production agricole a réduit la stabilité des revenus des exploitants et des employés agricoles, ce qui les a encouragés à quitter le secteur agricole et se déplacer vers le secteur tertiaire et a entraîné par là des destructions de l'emploi agricole au cours de la dernière décennie.

Ainsi, la pauvreté en milieu rural, bien qu'elle ait nettement diminué, elle est restée supérieure au milieu communal. En effet, sur la période 2000-2021, le taux de pauvreté dans le milieu communal est passé de 16.6% à 12.7%. Dans le milieu rural, ce taux est passé de 40.4% à 24.8% sur la même période (INS, 2021).

Ce taux élevé de la pauvreté en milieu rural met en exergue la vulnérabilité de la population rurale en Tunisie. Les ménages, notamment les femmes et les jeunes, doivent requérir ainsi une attention particulière, en ce sens qu'ils subissent d'une manière disproportionnée les effets négatifs du changement climatique.

3.2.2 *Dominance de l'agriculture familiale caractérisée par son faible niveau d'instruction*

L'agriculture tunisienne se caractérise par une prépondérance du travail familial avec une moyenne de 82% en raison de la prédominance de petits et moyens exploitants, et elle offre un emploi saisonnier important (13,6%). Il est à noter que dans la petite agriculture domestique, les femmes rurales représentent une sorte d'aide à domicile permanente peu ou souvent non rémunérée (ADVI, 2018).

L'emploi dans le secteur agricole se caractérise aussi par le vieillissement des exploitants et leur niveau d'instruction bas. En ce sens, 44 % des exploitants sont analphabètes, 39% ont un niveau d'instruction primaire et seulement 2,5% ont une formation supérieure (Chebbi, Pellissier, Khechimi, & Rolland, 2019).

Le secteur agricole joue ainsi un rôle social très important, notamment pour stabiliser les populations rurales et générer des revenus et des emplois, en particulier pour les jeunes. Cependant, certains problèmes ont besoin d'être résolus, notamment, les bas salaires, les conditions de travail difficiles et parfois la quasi-absence de droits sociaux (MARHP, AVFA, 2016).

3.2.3 *Hausse de l'endettement des agriculteurs*

La question de financement constitue une contrainte majeure au développement du secteur agricole, caractérisé par un faible accès au crédit bancaire et un taux d'endettement élevé. Le risque d'endettement élevé des exploitants est à mettre aussi en relation avec la faiblesse et le caractère aléatoire du rendement agricole et du revenu des exploitants disposant, pour la plupart, d'un faible potentiel foncier et dont l'activité est fortement dépendante des aléas climatiques (Jouili, 2019).

En termes de financement public, les allocations budgétaires du secteur public et les dépenses d'investissement dans le secteur agricole restent relativement faibles et inadéquates malgré l'importance critique et le rôle de l'agriculture dans le développement économique, ce qui fait diminuer la résilience de l'agriculture aux chocs exogènes comme les catastrophes climatiques (Chebbi, Pellissier, Khechimi, & Rolland, 2019).

La part des crédits consentis au secteur agricole ne dépasse pas 4,3% du total de crédits accordés aux entreprises et aux professionnels (BCT, 2022).

Tous ces facteurs cumulés sont de nature à augmenter la vulnérabilité du secteur agricole et à limiter sa capacité d'adaptation au changement climatique. Ce qui risque d'augmenter la taille de la population vulnérable, notamment dans le milieu rural, dont l'activité principale est l'agriculture.

3.2.4 Une situation de stress hydrique qui sera aggravée par le changement climatique

En Tunisie, le secteur agricole consomme en moyenne 80% du volume total des ressources en eau. Cependant, la quantité et la qualité de l'eau demeurent faibles et en dégradation continue due à la surexploitation non structurée et des apports pluviométriques avec une cadence faible à modérée. Ainsi, la hausse de la demande en eau potable due à la croissance démographique et les besoins croissants des secteurs économiques, principalement l'agriculture et le tourisme, ont conduit à une situation de stress hydrique qui s'est accentuée durant les deux dernières décennies.

En effet, l'indicateur de stress hydrique¹⁰ a fortement augmenté, passant de 66% en 2000 à 109% en 2020 (MARHP, 2020). En parallèle, le volume moyen des ressources en eau douce par habitant s'est décliné progressivement pour atteindre 355 m³/habitant/an en 2021 contre 444 m³/habitant en 2000 (Source : INS et DGRE).

A cause du changement climatique, les apports pluviométriques diminueraient considérablement, notamment dans les régions du centre et du sud du pays.

D'ici à 2050, la diminution des précipitations entraînerait une réduction allant de 20 % (RCP 4.5) à 38 % (RCP 8.5) d'ici 2050.

Tableau 4 : Projections des ressources en eau conventionnelles selon le scénario tendanciel

Année	2020				2050			
	Régions	Eaux de surface	Nappes phréatiques	Nappes profondes	Total ressources en eau	Eaux de surface	Nappes phréatiques	Nappes profondes
Nord-Ouest	1357	77	151	1585	1049	47	116	1212
Nord Est	984	299	163	1446	585	183	125	893
Centre Ouest	196	172	265	633	117	105	203	425
Centre Est	91	81	66	238	54	50	50	154
Sud-Ouest	36	87	495	618	21	53	379	453
Sud Est	68	52	289	406	40	32	221	293
Total	2732	768	1429	4929	1868	470	1093	3431

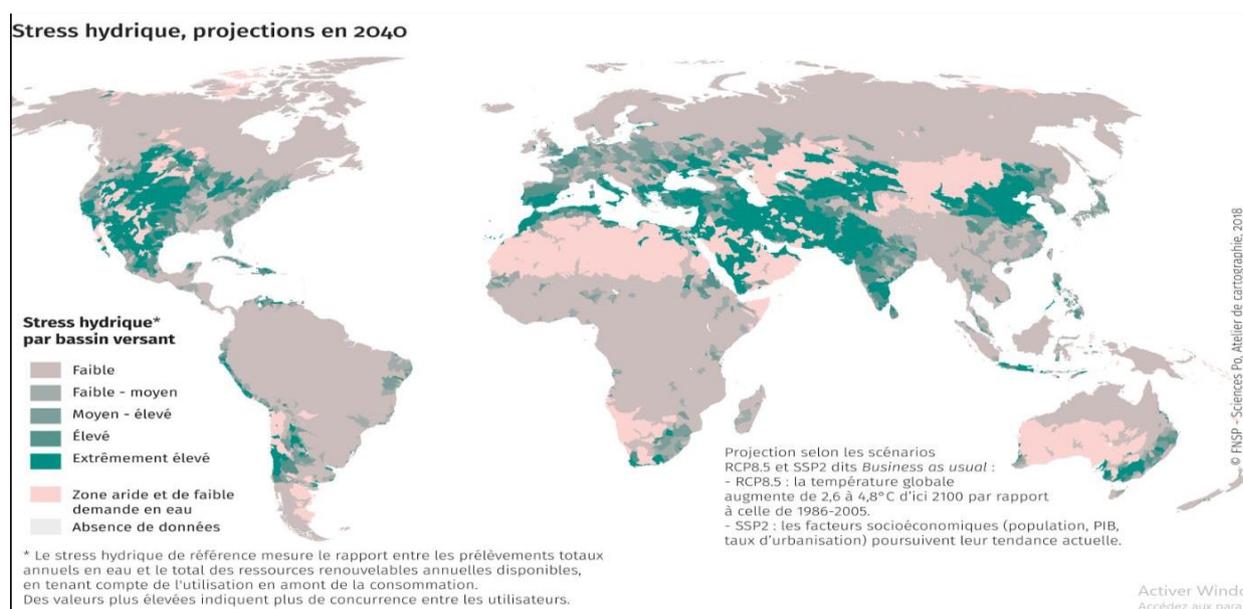
Source : Stratégie Eau 2050, Projections INM

¹⁰ Selon l'FAO, le stress hydrique est déterminé par la formule suivante :
 Stress hydrique = Total ressources en eau douce renouvelables / (Total des prélèvements d'eau douce - Débit écologique réservé)
 (FAO_ ONU-Eau, 2018).

Selon le scénario RCP 8.5, le volume total des ressources en eau conventionnelles diminuerait de 38%, passant de 4929 millions de m³ en 2020 à 3431 en 2050. Cette diminution est due à une baisse des niveaux d'eau souterraine, qui chuteraient de 40%, avec une réduction de 39% pour les nappes phréatiques et de 24% pour les nappes profondes. Quant aux eaux de surface, leur volume se réduirait de 32% à cause de la baisse de la pluviométrie au Nord du pays qui accapare 62% du volume total en 2020.

Ainsi, le stress hydrique s'aggraverait avec la baisse considérable des ressources en eau conventionnelles et un volume limité des ressources non conventionnelles, classant la Tunisie parmi les pays à stress hydrique « extrêmement élevé » (World Reseach institute, 2018).

Figure 6 : Carte de stress hydrique à l'horizon 2040



Source : World Resources Institute, www.wri.org

Cela est susceptible d'affecter négativement le rendement des cultures et la superficie des terres cultivées, entraînant une réduction de la production agricole à moyen et long terme. Les conséquences macroéconomiques qui en découlent constituent un défi majeur pour les décideurs politiques, nécessitant la mise en place de mesures d'adaptation efficaces afin de limiter les dommages économiques et de renforcer la résilience face aux changements climatiques.



Partie II

**Evaluation des effets macroéconomiques
des changements climatiques
et des politiques d'adaptation**

Compte tenu du rythme et de l'ampleur du changement climatique, altérant les équilibres écologiques et socio-économiques, il demeure crucial d'évaluer et de prendre en compte ses répercussions sur le secteur agricole et l'économie tunisienne.

Dans cet exercice de modélisation, l'analyse des effets du changement climatique sur la production agricole a été réalisée en adoptant une approche bottom-up, combinant des projections des rendements et des superficies des cultures sous l'effet des conditions climatiques futures. L'évaluation des impacts du changement climatique au double plan macroéconomique et sectoriel repose sur le modèle macroéconomique GEMMES¹¹ (**General Monetary Macro-dynamics for the Ecological Shift**).

Ce modèle est principalement utilisé pour mener des études prospectives concernant l'analyse de la transition écologique. Ce projet vise à établir une vision de la Tunisie à l'horizon 2050, en mettant l'accent sur le secteur agricole tout en intégrant les effets du changement climatique.

Dans cette optique, trois types de simulations ont été réalisées :

- Un scénario sans politiques d'adaptation avec une évolution tendancielle de la production agricole : scénario Business As Usual et deux scénarios climatiques : Il s'agit d'un scénario de référence qui permet d'évaluer l'ampleur en écart relatif des impacts économiques du changement climatique.
- Deux scénarios climatiques en absence de politiques d'adaptation : ces scénarios correspondent à deux variantes du scénario climatique RCP 8.5.
- Scénarios avec politiques d'adaptation partant de l'hypothèse d'une adaptation anticipative pour réduire la vulnérabilité du secteur agricole et en limiter les effets néfastes du changement climatique sur l'économie tunisienne.

La section qui suit présente une description détaillée du modèle macroéconomique utilisé. Elle met aussi l'accent sur sa structure, son fondement théorique et ses principales caractéristiques, la méthode d'estimation des paramètres et la méthodologie d'évaluation des différents scénarios.

¹¹ La version tunisienne de GEMMES a été développée par l'Agence Française de Développement en collaboration avec l'équipe de modélisation tunisienne à l'Institut Tunisien de la Compétitivité et des Etudes Quantitatives en Tunisie. Il a été codé avec le logiciel Mathematica. C'est une version modifiée du modèle prototype de (Yilmaz & Godin, 2020) pour les pays en voie de développement, adaptée et calibrée aux spécificités de l'économie tunisienne.

1. Le modèle GEMMES-Tunisie

Le modèle se compose de six secteurs institutionnels, à savoir : les sociétés non financières, les banques, la banque centrale, les administrations publiques, les ménages et le reste du monde. Le secteur productif est subdivisé en deux secteurs distincts : l'agriculture, qui produit des produits agricoles et de la pêche, et un secteur non agricole produisant deux catégories de biens : des produits agroalimentaires et d'autres produits non alimentaires (NFC). Ce modèle représente un système dynamique en temps continu pour une économie ouverte de petite taille et comprend plus de 268 équations, avec un système d'équations différentielles à 84 dimensions.

1.1 Présentation du modèle

1.1.1 Production

a. Le secteur agricole

L'offre de production agricole domestique destinée à la demande de consommation finale, à la consommation intermédiaire et aux exportations, sont déterminées par les conditions climatiques futures, et sont ainsi exogènes au modèle.

La production agricole réelle, $(Y^{P,A})$, se divise en trois parties distinctes : la production destinée à la consommation finale des ménages, $(Y_C^{P,A})$, celle utilisée comme intrants intermédiaires par d'autres secteurs, $(Y_{IC}^{P,A})$, et enfin celle réservée aux exportations, $(Y_W^{P,A})$. Ces trois éléments de la production agricole sont déterminés par les conditions climatiques, comme précédemment mentionné, et sont donc exogènes au modèle.

$$Y^{P,A} = Y_C^{P,A} + Y_{IC}^{P,A} + Y_W^{P,A} \quad (1)$$

Nous utilisons les projections Adapt'Action et FAO pour anticiper les niveaux de production des produits agricoles pendant la période de simulation. Ensuite, nous appliquons un processus de lissage aux trajectoires de production, calculant des taux de croissance constants pour chaque catégorie de production agricole.

$$\dot{Y}_C^{P,A} = gr_{ypac} \cdot Y_C^{P,A} \quad (2)$$

$$\dot{Y}_{IC}^{P,A} = gr_{ypaic} \cdot Y_{IC}^{P,A} \quad (3)$$

$$\dot{Y}_W^{P,A} = gr_{ypaw} \cdot Y_W^{P,A} \quad (4)$$

La demande intérieure réelle agrégée de biens agricoles $(Y^{D,A})$ est composée de la demande de consommation réelle des ménages (C^A) et de la demande

de consommation intermédiaire réelle ($Y_{IC}^{D,A}$) provenant du secteur des industries agroalimentaires (IC_{PF}^A), des secteurs NFC (IC_{NF}^A), du secteur agricole (IC_A^A) et du secteur public (IC_G^A).

Nous supposons que la demande d'exportations correspond toujours à l'offre et que les exportations réelles de biens agricoles (X^A) sont donc données par l'offre exogène ($Y_W^{D,A}$) :

$$Y^{D,A} = Y_C^{D,A} + Y_{IC}^{D,A} \quad (5)$$

$$Y_C^{D,A} = C^A \quad (6)$$

$$Y_{IC}^{D,A} = IC_A^A + IC_{PF}^A + IC_{NF}^A + IC_G^A \quad (7)$$

$$X^A = Y_W^{P,A} \quad (8)$$

Pour produire, le secteur agricole utilise des intrants intermédiaires provenant de sa propre production (IC_A^A), du secteur des produits alimentaires transformés (IC_{PF}^A) et d'autres secteurs non alimentaires (IC_{NF}^A). La demande de ces biens en termes réels est donnée par des coefficients fixes d'entrée-sortie α_A^i ,

$$IC_A^i = \alpha_A^i \cdot Y^{P,A}, i \in \{A, PF, NF\} \quad (9)$$

Étant donné la demande de biens de consommation des ménages et la demande de biens intermédiaires de tous les secteurs, l'excédent de demande serait comblé par le biais d'importations en provenance du reste du monde.

En conséquence, les importations de produits agricoles destinés à la consommation (IM_C^A) et les importations de produits agricoles à usage intermédiaire (IM_{IC}^A) se présentent comme suit :

$$IM_C^A = Y_C^{D,A} - Y_C^{P,A} \quad (10)$$

$$IM_{IC}^A = Y_{IC}^{D,A} - Y_{IC}^{P,A} \quad (11)$$

En raison de la clôture de notre marché par les importations pour satisfaire la demande, les parts d'importation des biens agricoles pour la consommation des ménages ($\sigma_{M,C}^A$) et la consommation intermédiaire ($\sigma_{M,IC}^A$) sont définis comme suit :

$$\sigma_{M,C}^A = \frac{IM_C^A}{C^A} \quad (12)$$

$$\sigma_{M,IC}^A = IM_{IC}^A / IC^A \quad (13)$$

Où la demande totale de consommation intermédiaire pour les biens agricoles (IC^A) est la somme de la demande de tous les secteurs.

$$IC^A = \sum IC_i^A, i \in \{A, PF, NF, G\} \quad (14)$$

b. Le secteur non agricole

Le secteur des NFC produit deux types de biens, des biens alimentaires transformés et des biens non alimentaires, avec deux processus de production distincts. Le secteur des sociétés non financières hors agriculture est divisé ainsi en deux sous-secteurs : le secteur des industries agroalimentaires, désignée par PF, et un secteur qui produit tous les biens non alimentaires privés et les services non financiers dans l'économie, désigné par NF.

Les produits agroalimentaires sont vendus aux ménages pour la consommation (C^{PF}), exportés vers le reste du monde (X^{PF}) et demandés en tant que consommation intermédiaire (IC^{PF}) par les secteurs de l'agriculture, des industries agroalimentaires, du secteur des produits non alimentaires et le secteur public.

De même, le bien homogène produit par le secteur non alimentaire est demandé pour la consommation des ménages (C^{NF}), et la consommation intermédiaire IC^{NF} par tous les secteurs, y compris les banques. Nous supposons en outre qu'il est utilisé comme un bien d'équipement, acheté à des fins d'investissement (I^{NF}) par le secteur non financier lui-même (secteur de la transformation alimentaire et secteur non alimentaire (I_F^{NF})), les ménages (I_H^{NF}) et le gouvernement (I_G^{NF}), et réexporté vers le reste du monde (X^{NF}). Ainsi, la demande agrégée réelle (nette des importations) pour la production des secteurs de la transformation alimentaire ($Y^{D,PF}$) et du bien NFC ($Y^{D,NF}$) est donnée par :

$$Y^{D,PF} = (1 - \sigma_{M,C}^{PF}) \cdot C^{PF} + (1 - \sigma_{M,IC}^{PF}) \cdot IC^{PF} + X^{PF} \quad (15)$$

$$Y^{D,NF} = (1 - \sigma_{M,C}^{NF}) \cdot C^{NF} + (1 - \sigma_{M,IC}^{NF}) \cdot IC^{NF} + (1 - \sigma_{M,I}^{NF}) \cdot I^{NF} + X^{NF} \quad (16)$$

Avec $(\sigma_{M,i}^j), \forall i \in \{C, IC, I\}, j \in \{PF, NF\}$ représentent les parts d'importations des produits j destinées pour les composantes de la demande (C, IC et I).

$$I^{NF} = I_A^{NF} + I_F^{NF} + I_G^{NF} + I_H^{NF} \quad (17)$$

Les secteurs des produits alimentaires transformés et des produits non alimentaires utilisent des intrants intermédiaires provenant de l'agriculture, des produits alimentaires transformés et des produits non alimentaires. Les fonctions de demande

de consommation intermédiaire sont données par les coefficients techniques et le niveau de production de ces secteurs ($Y^{P,PF}$ et $Y^{P,NF}$).

$$IC_{PF}^i = \alpha_{PF}^i \cdot Y^{P,PF}, i \in \{A, PF, NF\} \quad (18)$$

$$IC_{NF}^i = \alpha_{NF}^i \cdot Y^{P,NF}, i \in \{A, PF, NF\} \quad (19)$$

Pour les administrations publiques, la demande de consommation intermédiaire réelle pour les produits agricoles (IC_G^A) et les produits agroalimentaires (IC_G^{PF}) dépend de l'emploi public (N^G), tandis que la consommation intermédiaire des biens non alimentaires (IC_G^{NF}) dépend du stock de capital public (K^G), et la consommation intermédiaire du secteur bancaire en biens non alimentaires (IC_B^{NF}) est déterminée par l'emploi du secteur bancaire (N^B) :

$$IC_G^i = \alpha_G^i \cdot N^G, i \in \{A, PF\} \quad (20)$$

$$IC_G^{NF} = \alpha_G^{NF} \cdot K^G \quad (21)$$

$$IC_B^{NF} = \alpha_B^{NF} \cdot N^B \quad (22)$$

Ainsi, la demande totale de consommation intermédiaire pour les produits alimentaires transformés et les biens du secteur non alimentaire est la suivante :

$$IC^{PF} = IC_A^{PF} + IC_{PF}^{PF} + IC_{NF}^{PF} + IC_G^{PF} \quad (23)$$

$$IC^{NF} = IC_A^{NF} + IC_{PF}^{NF} + IC_{NF}^{NF} + IC_G^{NF} + IC_B^{NF} \quad (24)$$

Les marchés des biens et services des deux secteurs sont caractérisés par des déséquilibres tels que la demande globale moins les importations ($Y^{D,PF}$ et $Y^{D,NF}$) n'est pas nécessairement égale à la production totale ($Y^{P,PF}$ et $Y^{P,NF}$). Les entreprises forment des anticipations adaptatives sur la demande réelle anticipée de produits agroalimentaires ($Y^{e,PF}$) et des produits NFC ($Y^{e,NF}$) spécifiques à chaque secteur.

$$\dot{Y}^{e,PF} = \beta_y^{PF} \cdot (Y^{D,PF} - Y^{e,PF}) + \alpha_{pop} \cdot Y^{e,PF} \quad (25)$$

$$\dot{Y}^{e,NF} = \beta_y^{NF} \cdot (Y^{D,NF} - Y^{e,NF}) + \left(\frac{K^F}{K^G}\right) \cdot Y^{e,NF} \quad (26)$$

Le taux de croissance potentielle du secteur des produits alimentaires transformés suit le taux de croissance de la population et celui du secteur des SNF non alimentaires suit l'accumulation de capital.

Les marchés des produits alimentaires transformés et des produits non alimentaires sont en déséquilibre, de sorte que la production ($Y^{P,i}$) n'est pas nécessairement égale à la demande ($Y^{D,i}$). Le déséquilibre du marché est compensé à chaque instant par l'accumulation ou la désaccumulation des stocks sur les deux marchés. (\dot{V}^i).

$$\dot{V}^i = Y^{P,i} - Y^{D,i}, i \in \{PF, NF\} \quad (27)$$

Nous supposons que les entreprises ont un ratio de stock souhaité ($V^{des,i}$) sur les ventes attendues ($Y^{e,i}$), donné par :

$$V^{des,i} = \alpha_V^i \cdot Y^{e,i}, i \in \{PF, NF\} \quad (28)$$

Le secteur productif ne produit pas seulement pour répondre à la demande attendue, mais aussi pour s'assurer qu'il dispose du niveau de stocks souhaité.

Cette production pour le remplacement des stocks est donnée par une équation d'ajustement à la différence entre le niveau de stock souhaité et le niveau de stock réel pour chaque marché (I_V^i) :

$$I_V^i = \Omega_V^i \cdot (V^{des,i} - V^i), i \in \{PF, NF\} \quad (29)$$

La production intérieure totale ($Y^{P,i}$) dans chaque secteur est alors égale à la somme de la demande réelle attendue et de la production pour le remplacement souhaité des stocks.

$$Y^{P,i} = Y^{e,i} + I_V^i, i \in \{PF, NF\} \quad (30)$$

L'emploi dans les secteurs des produits non alimentaires (N^{NF}) et des produits alimentaires transformés (N^{PF}) est déterminé par une fonction de production de Leontief, les niveaux de productivité sectorielle du travail étant donnés respectivement par (a^{NF}) et (a^{PF}).

$$N^{NF} = Y p^{NF} / a^{NF} \quad (31)$$

$$N^{PF} = Y p^{PF} / a^{PF} \quad (32)$$

Les importations réelles de produits alimentaires transformés (IM^{PF}) et de biens non alimentaires (IM^{NF}) dépendent des différentes propensions à l'importation variant dans le temps ($\sigma_{M,i}^j, \forall i \in \{C, IC, I\}, j \in \{PF, NF\}$) à partir de la valeur réelle des importations, les niveaux de consommation, de consommation intermédiaire et d'investissement.

Conformément aux données, nous supposons que les produits agroalimentaires ne sont pas utilisés pour l'investissement et ne sont donc pas importés à cette fin.

Les importations nominales correspondantes des produits agroalimentaires (IM_N^{PF}) et des produits NFC (IM_N^{NF}) sont définies comme suit :

$$M_N^{PF} = p^{PF,w} \cdot e^N \cdot (\sigma_{M,C}^{PF} \cdot C^{PF} + \sigma_{M,IC}^{PF} \cdot IC^{PF}) \quad (35)$$

$$IM_N^{NF} = p^{NF,w} \cdot e^N \cdot (\sigma_{M,C}^{NF} \cdot C^{NF} + \sigma_{M,IC}^{NF} \cdot IC^{NF} + \sigma_{M,I}^{NF} \cdot I^{NF}) \quad (36)$$

Où $p^{PF,w}$ et $p^{NF,w}$ sont respectivement les prix mondiaux à l'importation des produits alimentaires transformés et des produits non alimentaires, et e^N est le taux de change nominal.

Les propensions à importer s'ajustent à des propensions à importer cibles ($\sigma_{M,j}^{i,Tar}$), qui sont des fonctions négatives des prix relatifs spécifiques au secteur, des taxes à l'importation (τ_M^i) et l'élasticité de substitution entre les produits importés et les produits nationaux ($\epsilon_{1,j}^i$).

En plus des prix relatifs, les propensions cibles sont également influencées par la productivité relative du travail, exprimée par la productivité du travail dans le secteur non alimentaire (a^{NF}) par rapport à celle de ses partenaires commerciaux (a^W), qui reflète les facteurs non tarifaires de la compétitivité commerciale.

La vitesse d'ajustement aux propensions cibles est donnée par $\beta_{M,j}^i$.

$$\sigma_{M,j}^{i,Tar} = \Gamma_{1,j}^i \cdot \left[\frac{p_P^i}{p^{i,w} \cdot e^N \cdot (1 + \tau_M^i)} \right]^{\epsilon_{1,j}^i} + \Gamma_{2,j}^i \cdot \left(\frac{a^W}{a^{NF}} \right)^{\epsilon_{2,j}^i}, i \in \{PF, NF\}, j \in \{C, IC, I\} \quad (37)$$

$$\dot{\sigma}_{M,j}^i = \beta_{M,j}^i \cdot (\sigma_{M,j}^{i,Tar} - \sigma_{M,j}^i) \quad (38)$$

Les produits agro-alimentaires ne sont pas utilisés pour l'investissement et donc la part importée destinée à l'investissement $\sigma_{M,j}^{PF,Tar} = 0$.

Les exportations des produits agroalimentaires (X^{PF}) dépendent de la capacité du secteur agricole à fournir la consommation intermédiaire nécessaire et augmentent donc à un taux exogène donné par les scénarios climatiques et les scénarios d'adaptation.

En revanche, les exportations de biens non alimentaires (X^{NF}) sont déterminées par le PIB mondial exogène (GDP^W) et une propension à l'exportation variable dans le temps (σ_X^{NF}), qui dépend des prix relatifs et de la productivité relative du travail, comme indiqué ci-dessus.

$$\dot{X}^{PF} = gr_X^{PF} \cdot X^{PF} \quad (39)$$

$$X^{NF} = \sigma_X^{NF} \cdot GDP^W \quad (40)$$

$$\sigma_X^{NF,Tar} = \Gamma_{1,X}^{NF} \cdot \left[\frac{e^N \cdot p_X^{NF}}{p_P^{NF}} \right]^{\epsilon_{1,X}^{NF}} + \Gamma_{2,X}^{NF} \cdot \left(\frac{a^{NF}}{a^W} \right)^{\epsilon_{2,X}^{NF}} \quad (41)$$

$$\dot{\sigma}_X^{NF} = \beta_X^{NF} \cdot (\sigma_X^{NF,Tar} - \sigma_X^{NF}) \quad (42)$$

Comme pour les parts d'importation, la propension à exporter s'ajuste lentement à sa valeur cible, avec une vitesse d'ajustement de β_X^{NF} .

1.1.2 Les prix

Il existe dix-sept prix différents pour les biens, libellés en monnaie nationale ou étrangère :

a. Prix internationaux

- Prix à la production (p_p^i) pour chaque produit en monnaie nationale, $i \in \{A, PF, NF\}$.
- Prix à la consommation pour chaque produit (p_c^i) en monnaie nationale, $i \in \{A, PF, NF\}$.
- Prix de la consommation intermédiaire pour chaque produit (p_{IC}^i) en monnaie nationale, $i \in \{A, PF, NF\}$.
- Prix du bien d'équipement pour le secteur non alimentaire (p_K^{NF}) en monnaie nationale.
- Prix à l'importation des produits alimentaires et non alimentaires transformés ($p_{i,w}$) en monnaie étrangère, $i \in \{A, PF, NF\}$.
- Prix des importations de biens de consommation et de consommation intermédiaire du secteur agricole ($p_i^{A,w}$), $i \in \{C, IC\}$.
- Prix à l'exportation de chaque produit (p_X^i) en monnaie étrangère, $i \in \{A, PF, NF\}$.

Nous supposons que les deux prix internationaux pour les importations et les exportations pour chaque type de produit suivent un niveau d'inflation exogène. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, pour les biens agricoles, nous distinguons les prix internationaux des biens de consommation ($p_C^{A,w}$) et des biens de consommation intermédiaire ($p_{IC}^{A,w}$), alors que nous supposons qu'il n'y a qu'un seul prix à la consommation et à la consommation intermédiaire des produits agroalimentaires et non alimentaires.

Pour tous les secteurs de production, les producteurs établissent une majoration sur les coûts unitaires historiques afin de déterminer un prix cible à la production. Les prix

restent stables et le prix réel à la production se déplace lentement vers le prix cible à la production. Les prix des biens de consommation, intermédiaires et de capital sont déterminés comme une moyenne pondérée des prix à la production et à l'importation nationaux, en tenant compte de toutes les taxes et subventions appropriées.

b. Prix domestiques

- Prix agricoles

Les coûts unitaires pour le secteur agricole (UC^A) dépendent des salaires totaux ($w^A \cdot N^A$) (où w^A est le taux de salaire dans le secteur agricole et N^A désigne l'emploi agricole), des cotisations sociales de l'employeur (ESC^A), des coûts des consommations intermédiaires mesurés aux prix des consommations intermédiaires pour les produits agricoles (p_{IC}^A), les produits agroalimentaires (p_{IC}^{PF}) et non alimentaires (p_{IC}^{NF}) et les impôts sur la production (T_{pr}^A), divisés par la production agricole totale.

$$UC^A = \frac{(w^A \cdot N^A + IC_A^A \cdot p_{IC}^A + IC_A^{PF} \cdot p_{IC}^{PF} + IC_A^{NF} \cdot p_{IC}^{NF} + ESC^A + T_{pr}^A)}{Y^{P,A}} \quad (46)$$

Les couts unitaires historiques de la production agricole s'ajustent lentement à cet objectif UC^A .

$$H\dot{U}C^A = \beta_{HUC}^A \cdot (UC^A - HUC^A) \quad (47)$$

Le prix à la production cible des produits agricoles est une majoration constante (μ^A) sur les coûts unitaires historiques.

$$p_P^{A,Tar} = (1 + \mu^A) \cdot HUC^A \quad (48)$$

Le prix à la production s'ajuste à un prix cible.

$$\dot{p}_P^A = \beta_P^A \cdot (p_P^{A,Tar} - p_P^A) \quad (49)$$

Les prix à la consommation (p_C^A) et les prix de la consommation intermédiaire (p_{IC}^A) pour les produits agricoles résultent d'une combinaison des prix à la production nationale et des prix à l'importation, avec les taxes et les subventions :

$$p_C^A = (1 - \sigma_{M,C}^A) \cdot p_P^A \cdot (1 + \tau_{VA}^A + otax^A - subr^A + mrg_C^A) + \sigma_{M,C}^A \cdot p_C^{A,w} \cdot e^N \cdot (1 + \tau_{VA}^A + otax^A - subr^A + mrg_C^A + \tau_M^A) \quad (50)$$

$$p_{IC}^A = (1 - \sigma_{M,IC}^A) \cdot p_P^A \cdot (1 + otax^A - subr^A + mrg_{IC}^A) + \sigma_{M,IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w} \cdot e^N \cdot (1 + otax^A - subr^A + mrg_{IC}^A + \tau_M^A) \quad (51)$$

Où τ_{VA}^A la taxe sur la valeur ajoutée, $subr^A$ le taux de subvention, $subr^A$ le taux sur les autres impôts, τ_M^A est le taux de taxe à l'importation. mrg_C^A et mrg_{IC}^A sont respectivement les marges de transport et les marges de commerce sur les biens de consommation et les biens de consommation intermédiaire.

- Prix des produits agroalimentaires

La détermination des prix intérieurs des produits agroalimentaires est semblable à celle des produits agricoles. Les coûts unitaires du secteur sont les suivants :

$$UC^{PF} = \frac{(w^{PF} \cdot N^{PF} + p_{IC}^A \cdot IC_{PF}^A + IC_{PF}^{PF} \cdot p_{IC}^{PF} + IC_{PF}^{NF} \cdot p_{IC}^{NF} + ESC^{PF} + T_{PF}^{PF})}{Y^{P,PF}} \quad (52)$$

Les coûts unitaires historiques (HUC^{PF}) suivent les coûts unitaires réels :

$$H\dot{U}C^{PF} = \beta_{HUC}^{PF} \cdot (UC^{PF} - HUC^{PF}) \quad (53)$$

Le prix cible à la production des produits agroalimentaires ($p_p^{PF, Tar}$) est une majoration variable dans le temps (μ^{PF}) par rapport aux coûts unitaires historiques.

$$p_p^{PF, Tar} = (1 + \mu^{PF}) \cdot HUC^{PF} \quad (54)$$

Dans le secteur des industries agroalimentaires, la majoration par rapport aux coûts unitaires historiques (μ^{PF}) évolue au fil du temps pour refléter les pressions de la demande. Comme dans l'étude de Yilmaz et Godin (2020), nous mesurons cette pression de la demande comme l'écart entre le niveau des stocks effectif et leur niveau souhaité :

$$\mu^{PF} = \mu_0^{PF} - \mu_1^{PF} \cdot \left(\frac{V^{PF}}{Y^{e,PF}} - \alpha_V^{PF} \right) \quad (55)$$

Le prix à la production réel (p_p^{PF}) se déplace lentement vers le prix cible.

$$\dot{p}_p^{PF} = \beta_p^{PF} \cdot (p_p^{PF, Tar} - p_p^{PF}) \quad (56)$$

Le prix à la consommation (p_C^{PF}) et le prix à la consommation intermédiaire (p_{IC}^{PF}) pour les biens agroalimentaires sont une combinaison des prix à la production et des prix à l'importation en tenant compte des taxes et des subventions.

$$p_C^{PF} = (1 - \sigma_{M,C}^{PF}) \cdot p_p^{PF} \cdot (1 + \tau_{VA}^{PF} + otax^{PF} - subr^{PF} + mrg_C^{PF}) + \sigma_{M,C}^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N \cdot (1 + \tau_{VA}^{PF} + otax^{PF} - subr^{PF} + mrg_C^{PF} + \tau_M^{PF}) \quad (57)$$

$$p_{IC}^{PF} = (1 - \sigma_{M,IC}^{PF}) \cdot p_p^{PF} \cdot (1 + otax^{PF} - subr^{PF} + mrg_{IC}^{PF}) + \sigma_{M,IC}^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N \cdot (1 + otax^{PF} - subr^{PF} + mrg_{IC}^{PF} + \tau_M^{PF}) \quad (58)$$

Où τ_{VA}^{PF} la taxe sur la valeur ajoutée, $subr^{PF}$ le taux de subvention, $subr^{PF}$ le taux sur les autres impôts, τ_M^{PF} est le taux de taxe à l'importation. mrg_C^{PF} et mrg_{IC}^{PF} sont respectivement des marges de transport et de commerce sur la consommation et les biens de consommation intermédiaire des produits agroalimentaires.

- Prix des produits non alimentaires

La détermination des prix des produits non alimentaires est symétrique à celle du secteur des produits agroalimentaires.

$$UC^{NF} = \frac{(w^{NF} \cdot N^{NF} + p_{IC}^A \cdot IC_{NF}^A + IC_{NF}^{PF} \cdot p_{IC}^{PF} + IC_{NF}^{NF} \cdot p_{IC}^{NF} + ESC^{NF} + T_{pr}^{NF})}{Y^{P,F}} \quad (59)$$

Les coûts unitaires historiques (HUC^{NF}) suivent les coûts unitaires réels :

$$H\dot{U}C^{NF} = \beta_{HUC}^{NF} \cdot (UC^{NF} - HUC^{NF}) \quad (60)$$

Le prix cible à la production non alimentaire ($p_P^{NF,Tar}$) est une majoration variable dans le temps (μ^{NF}) par rapport aux coûts unitaires historiques.

$$p_P^{NF,Tar} = (1 + \mu^{NF}) \cdot HUC^{NF} \quad (61)$$

Comme dans le secteur des produits alimentaires transformés, la majoration des coûts unitaires historiques dans le secteur non alimentaire (μ^{NF}) évolue également au fil du temps pour refléter les pressions de la demande.

$$\mu^{NF} = \mu_0^{NF} - \mu_1^{NF} \cdot (V^{NF} / Y^{e,NF} - \alpha_V^{NF}) \quad (62)$$

Le prix réel à la production (p_P^{NF}) s'ajuste lentement vers cet objectif.

$$\dot{p}_P^{NF} = \beta_P^{NF} \cdot (p_P^{NF,Tar} - p_P^{NF}); \quad (63)$$

Les prix à la consommation des biens non alimentaires sont une moyenne pondérée des prix à la production nationale et des prix des importations en tenant compte des différentes taxes et des subventions :

$$p_C^{NF} = (1 - \sigma_{M,C}^{NF}) \cdot p_P^{NF} \cdot (1 + \tau_{VA}^{NF} + otax^{NF} - subr^{NF}) + \sigma_{M,C}^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N \cdot (1 + \tau_{VA}^{NF} + otax^{NF} - subr^{NF} + \tau_M^{NF}) \quad (64)$$

$$p_{IC}^{NF} = (1 - \sigma_{M,IC}^{NF}) \cdot p_P^{NF} \cdot (1 + otax^{NF} - subr^{NF}) + \sigma_{M,IC}^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N \cdot (1 + otax^{NF} - subr^{NF} + \tau_M^{NF}) \quad (65)$$

Les marges du transport et du commerce n'affectent pas les prix intérieurs dans ce secteur puisque le secteur paie et reçoit ces coûts.

Les biens du secteur non alimentaire sont également utilisés en tant que biens d'équipement. Le prix des biens d'équipement (p_K^{NF}) est donné par :

$$p_K^{NF} = (1 - \sigma_{M,I}^{NF}) \cdot p_P^{NF} \cdot (1 + otax^{NF}) + \sigma_{M,I}^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N \cdot (1 + otax^{NF} + \tau_M^{NF}) \quad (66)$$

1.1.3 Financement

a. Agriculture

Le secteur agricole emploie de la main d'œuvre (N^A) au salaire en cours (w^A), paye une masse salariale totale (WB^A). L'emploi dépend de la production agricole réelle totale et de la productivité du travail (a^A) dans le secteur à travers une fonction de production Leontief.

$$WB^A = w^A \cdot N^A \quad (67)$$

$$N^A = \frac{Y^{P,A}}{a^A} \quad (68)$$

Les cotisations sociales patronales (ESC^A) est une fraction fixe de la masse salariale.

$$ESC^A = \tau_{ESC}^A \cdot w^A \cdot N^A \quad (69)$$

Le secteur paie également des impôts sur la production (T_{pr}^A), que nous supposons être une part constante de la production nominale.

$$T_{pr}^A = \tau_{pr}^A \cdot [(Y_C^{P,A} + Y_{IC}^{P,A}) \cdot p_P^A + X^A \cdot p_X^A \cdot e^N] \quad (70)$$

Où e^N désigne le taux de change nominal.

Le revenu mixte du secteur agricole (MI^A) est donné par la valeur de la production destinée au marché intérieur et aux exportations diminuées de la masse salariale, des cotisations sociales patronales et des impôts sur la production :

$$MI^A = (Y_C^{P,A} + Y_{IC}^{P,A}) \cdot p_P^A + X^A \cdot p_X^A \cdot e^N - IC_A^A \cdot p_{IC}^A - IC_A^{PF} \cdot p_{IC}^{PF} - IC_A^{NF} \cdot p_{IC}^{NF} - WB^A - ESC^A - T_{pr}^A \quad (71)$$

Sur ces revenus mixtes, les exploitants agricoles paient les impôts sur le revenu au taux (τ^A), paient les intérêts sur les prêts en monnaie nationale, les assurances (Ins^A) et les commissions (Com^A). Ainsi, son résultat net (NI^A) devient :

$$NI^A = (1 - \tau^A) \cdot MI^A - (1 - \beta_{npl}^A) \cdot i_D^L \cdot L_D^A - Ins^A - Com^A \quad (72)$$

Où i_D^L représente le taux d'intérêt sur les prêts en monnaie nationale L_D^A , est le stock total des prêts du secteur bancaire au secteur agricole, et β_{npl}^A est le taux de prêts non performants dans le secteur agricole.

Nous fixons ce taux égal au taux général de prêts non performants dans l'économie, β_{npl}^F , à définir dans ce qui suit.

$$\beta_{npl}^A = \beta_{npl}^F \quad (73)$$

Étant donnée la croissance exogène de la production, le niveau d'investissement agricole est déterminé par un Capital Output Ratio (COR¹²). Nous supposons qu'un ratio capital-production fixe prévaut dans le secteur et le stock de capital désiré ($K^{A,Tar}$) est ainsi défini comme :

$$K^{A,Tar} = \kappa^A \cdot Y^{P,A} \quad (74)$$

L'investissement du secteur agricole (I_A^{NF}) dépend de la différence entre l'objectif et le stock de capital effectif.

$$I_A^{NF} = (K^{A,Tar} - K^A) \quad (75)$$

Une part fixe des coûts d'investissement est financée par les bénéfices non distribués (RE^A) du revenu net. Le reste est emprunté au secteur bancaire sous forme de prêts en monnaie nationale (L_D^A). Nous supposons qu'il n'y a pas de rationnement de la demande de prêts agricoles.

$$RE^A = \lambda \cdot I_A^{NF} \cdot p_K^{NF} \quad (76)$$

$$\dot{L}_D^A = I_A^{NF} \cdot p_K^{NF} - RE^A \quad (77)$$

Enfin, le stock de capital dans le secteur agricole (K^A) évolue selon l'équation d'accumulation du capital :

$$\dot{K}^A = I_A^{NF} - \delta^A \cdot K^A \quad (78)$$

Avec δ^A le taux d'amortissement du stock de capital.

b. Secteur non agricole

Afin de déterminer le besoin de financement des sociétés non financières hors agriculture, nous combinons les bilans des secteurs des industries agroalimentaires et

¹² COR : Le taux de capital par unité de production (COR) est la quantité de capital nécessaire pour produire une unité de production.

non alimentaire. L'excédent brut d'exploitation consolidé des entreprises (GOS_T^F) est donné par la différence entre les revenus et les charges d'exploitation.

Les revenus des entreprises incluent les ventes de produits agro-alimentaires et de biens et services non alimentaires destinés à la consommation finale et intermédiaire, les ventes de biens NFC en tant que biens de capital destinés à l'investissement, les exportations des deux secteurs, ainsi que les marges et les subventions.

$$\begin{aligned}
GOS_T^F = & C^{PF} \cdot p_C^{PF} + C^{NF} \cdot p_C^{NF} + p_K^{NF} \cdot I^{NF} - IM^{NF} - IM^{NPF} - w^{PF} \cdot N^{PF} - w^{NF} \cdot N^{NF} - \\
& ESC^{NF} - ESC^{PF} - T_{pr}^{NF} - T_{pr}^{PF} - VAT^{NF} - VAT^{PF} - TIM^{NF} - TIM^{PF} + sub^{NF} + sub^{PF} - \\
& Otaxes^{PF} - Otaxes^{NF} - IC_{PF}^A \cdot p_{IC}^A - IC_F^A \cdot p_{IC}^A + (IC_A^{PF} + IC_G^{PF}) \cdot p_{IC}^{PF} + (IC_A^{NF} + IC_G^{NF} + IC_B^{NF}) \cdot \\
& p_{IC}^{NF} + X^{PF} \cdot p_X^{PF} \cdot e^N + X^{NF} \cdot p_X^{NF} \cdot e^N + mrg_X^{PF} \cdot X^{PF} \cdot p_X^{PF} \cdot e^N + mrg_X^A \cdot X^A \cdot p_X^A \cdot e^N + mrg_C^A \cdot \\
& (Y_C^{P,A} \cdot p_P^A + IM_C^A \cdot p_C^{A,w} \cdot e^N) + mrg_{IC}^A \cdot (Y_{IC}^{P,A} \cdot p_P^A + IM_{IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w} \cdot e^N) \quad (79)
\end{aligned}$$

Les coûts sont composés par les taxes à l'importation (τ_M^i), les taxes sur la valeur ajoutée (τ_{VA}^i), et les autres taxes ($otax^i$). Les coûts comprennent les coûts salariaux calculés en tant que niveau salarial sectoriel (w^i), multiplié par l'emploi (N^i), les cotisations sociales de l'employeur (ESC^i) et les impôts sur la production (T_{pr}^i) pour $i \in \{PF, NF\}$.

En réalité, une partie de la production des sociétés non financières est réalisée par les entreprises individuelles et génèrent également un excédent brut d'exploitation.

Afin de faire correspondre empiriquement les comptes nationaux et surtout les positions d'épargne sectorielles, une partie de l'excédent brut d'exploitation qui est générée par les entreprises GOS_T^F est distribuée aux ménages (GOS_H^F), qui est ensuite imposée par l'État. Le reste est conservé en tant que profits des entreprises (GOS^F).

$$GOS_H^F = gosh \cdot GOS_T^F \quad (80)$$

$$GOS^F = GOS_T^F - GOS_H^F \quad (81)$$

Les bénéfices sectoriels bruts (GF^F) sont la différence entre le revenu total, qui comprend les intérêts perçus sur les dépôts nationaux épargnés et le total des paiements, qui comprend les intérêts payés sur la dette intérieure et la dette extérieure, les assurances les commissions et les transferts versés au gouvernement :

$$GF^F = GOS^F + i_D^{Dep} \cdot Dep_D^{F,sav} - i_D^L \cdot L_D^F \cdot (1 - \beta_{npl}^F) - i_{FX}^L \cdot L_{FX}^F \cdot e^N - Ins^F - Com^F - Transf_G^F \quad (82)$$

Les intérêts versés au secteur bancaire tiennent compte de la part des crédits non performants pour les entreprises non agricoles. Les revenus nets du secteur (F^F) après impôts sur les revenus sont donnés par :

$$F^F = (1 - \tau^F) \cdot GF^F \quad (83)$$

L'investissement cible ($I_{F,D}^{Tar}$) du secteur dépend positivement du rendement du capital (r^F) et de l'investissement réel du secteur privé dans l'adaptation ($I_{F,irrig}$) :

$$I_{F,D}^{Tar} = K^F \cdot [\kappa_0^F + \kappa_1^F \cdot (r^F - \dot{p}_P^F / p_P^F)] + I_{F,irrig} \quad (84)$$

La valeur nominale des investissements d'adaptation du secteur privé est fixée à un pourcentage du PIB nominal, comme indiqué dans la stratégie « Eau 2050 ».

$$I_{F,irrig} = \gamma_{ir}^F \cdot (NomGDP / p_K^{NF}) \quad (85)$$

La réalisation de projets d'investissement prend du temps et, par conséquent, l'investissement intérieur réel s'ajuste lentement vers cet objectif :

$$\dot{I}_{F,D} = \beta_{id}^F \cdot (I_{F,D}^{Tar} - I_{F,D}) \quad (86)$$

Le pays reçoit également l'investissement direct étranger (FDI^F), dans le secteur des sociétés non financières, qui représente une part constante de la production anticipée dans le secteur des produits agroalimentaires et non alimentaires NFC, mesurée au prix à la production.

$$FDI^{F,Tar} = f_{di} \cdot (Y^{e,NF} \cdot p_P^{NF} + Y^{e,PF} \cdot p_P^{PF}) \quad (87)$$

$$F\dot{D}I^F = \beta_{fai} \cdot (FDI^{F,Tar} - FDI^F) \quad (88)$$

Ainsi, le total des investissements du secteur NFC (I_F^{NF}) est la somme des investissements privés réels nationaux et des investissements directs étrangers réels :

$$I_F^{NF} = I_{F,D} + FDI^F / p_K^{NF} \quad (89)$$

Le stock de capital dans le secteur NFC (K^F) évolue ensuite selon :

$$\dot{K}^F = I_F^{NF} - \delta^F \cdot K^F \quad (90)$$

Avec δ^F représente le taux d'amortissement.

Pour calculer le taux du profit (r^F), on définit les profits avant impôts du secteur (GF_T^F), compte tenu de l'excédent brut d'exploitation distribué aux ménages.

$$GF_T^F = GOS_T^F + i_D^{Dep} \cdot Dep_D^{F,sav} - i_D^L \cdot L_D^F \cdot (1 - \beta_{npI}^F) - i_{FX}^L \cdot L_{FX}^F \cdot e^N - Ins^F - Com^F - Transf_G^F \quad (91)$$

Cela s'explique par le fait que nous considérons les ménages dans le modèle comme des ménages purs et que, par conséquent, nous n'utilisons que des investissements dans le logement. Nous ajoutons le reste de l'investissement des ménages dans les données du système de comptabilité nationale au secteur NFC.

Cela signifie que l'investissement des ménages producteurs est également considéré comme effectué par les SNF, de sorte que le taux approprié doit tenir compte de l'excédent brut d'exploitation après impôts distribué aux ménages.

$$F_T^F = GF_T^F - \tau^F \cdot GF^F - \tau^H \cdot GOS_H^F \quad (92)$$

$$r^F = F_T^F / (p_K^{NF} \cdot K^F) \quad (93)$$

Une partie des profits après impôts de l'entreprise sont conservés comme dépôts en monnaie nationale ($Dep_D^{F,cur}$) pour les besoins de liquidité et de fonds de roulement. Nous supposons qu'il s'agit d'une fraction de la masse salariale et des cotisations sociales versées par le secteur.

$$ep_D^{F,cur,Tar} = \eta_D \cdot (w^{NF} \cdot N^{NF} + w^F \cdot N^{PF} + ESC^{NF} + ESC^{PF}) \quad (94)$$

$$\dot{Dep}_D^{F,cur} = \beta_{Dep}^F \cdot (Dep_D^{F,cur,Tar} - Dep_D^{F,cur}) \quad (95)$$

De même, les entreprises conservent un certain montant de dépôts de précaution en devises (Dep_{FX}^F) dans le secteur bancaire national, qui dépend du stock total de leurs prêts en devises (L_{FX}^F).

$$\dot{Dep}_{FX}^F = \beta_{FX}^F \cdot (\eta_F \cdot L_{FX}^F - Dep_{FX}^F) \quad (96)$$

Les profits (FN^F) net des dépôts du compte courant en monnaie nationale et en devises sont alors donnés par :

$$FN^F = (F^F - \dot{Dep}_D^{F,cur} - \dot{Dep}_{FX}^F \cdot e^N) \quad (97)$$

Les entreprises réservent une partie de ces bénéfices dans des comptes d'épargne libellés dans la monnaie nationale.

$$\dot{Dep}_D^{F,sav} = \beta_{sav}^F \cdot FN^F \quad (98)$$

Le total des dépôts intérieurs des entreprises (Dep_D^F) est donc la somme des dépôts en compte courant et des comptes d'épargne libellés dans la monnaie nationale.

$$Dep_D^F = Dep_D^{F,sav} + Dep_D^{F,cur} \quad (99)$$

$$\dot{Dep}_D^F = \dot{Dep}_D^{F,sav} + \dot{Dep}_D^{F,cur} \quad (100)$$

Une fois que la décision d'épargne est également prise, une partie des actifs restants est distribuée sous forme de dividendes aux ménages (Div_H^F), gouvernement (Div_G^F) et le reste du monde (Div_W^F).

$$Div^F = (1 - \beta_{sav}^F) \cdot divrate^F \cdot FN^F \quad (101)$$

$$Div_H^F = divrate_H^F \cdot Div^F \quad (102)$$

$$Div_G^F = divrate_G^F \cdot Div^F \quad (103)$$

$$Div_W^F = divrate_W^F \cdot Div^F \quad (104)$$

Les fonds restants sont conservés pour financer l'investissement. Ainsi, le besoin de financement du secteur NFC (TFN^F) est défini comme le coût total de l'investissement domestique moins les bénéfices non redistribués :

$$TFN^F = p_K^{NF} \cdot I_{F,D} - (1 - \beta_{sav}^F) \cdot (1 - divrate^F) \cdot FN^F \quad (105)$$

Une partie des besoins financiers globaux des entreprises est financée par des emprunts en devises étrangères ($L_{FX}^{F,des}$) auprès des banques nationales, agissant en tant qu'intermédiaires entre les entreprises et le reste du monde, et redistribuant les fonds empruntés à l'étranger.

$$\dot{L}_{FX}^{F,des} = \beta_F^{L,des} \cdot \frac{TFN^F}{e^N} \quad (106)$$

Les emprunts de change à l'étranger par les banques sont rationnés au taux endogène rat_{FX} . La part réelle du financement en devises est alors :

$$\beta_F^L = \beta_F^{L,des} \cdot (1 - rat_{FX}) \quad (107)$$

et les emprunts extérieurs réels des SNF auprès des banques nationales (L_{FX}^F) sont donnés par :

$$\dot{L}_{FX}^F = \beta_F^L \cdot TFN^F / e^N \quad (108)$$

Le reste du financement nécessaire est obtenu par emprunt auprès des banques nationales en monnaie nationale (L_D^F).

$$\dot{L}_D^F = TFN^F - \dot{L}_{FX}^F \cdot e^N \quad (109)$$

Le taux cible global des prêts non performants (β_{npl}^F) dans l'économie est déterminé par les bénéfices bancaires bruts (GF^B) en proportion des fonds propres bancaires (OF^B), l'inflation (inf^H), le taux de croissance réelle et le taux de chômage ($unemp$).

$$\beta_{npl}^{F,Tar} = \epsilon_0^{npl} + \epsilon_1^{npl} \cdot \frac{GF^B}{OF^B} + \epsilon_2^{npl} \cdot inf^H + \epsilon_3^{npl} \cdot \left(\frac{D[NomGDP,t]}{NomGDP} - inf^H \right) + \epsilon_4^{npl} \cdot unemp \quad (110)$$

Le taux effectif des crédits non performants dans le secteur NFC (β_{npl}^F) se rapproche de cet objectif avec un décalage de χ_{npl} :

$$\hat{\beta}_{npl}^F = \chi_{npl} \cdot (\beta_{npl}^{F,Tar} - \beta_{npl}^F) \quad (111)$$

Dans les simulations, nous avons fixé une limite inférieure au taux des prêts non performants à 2% pour éviter les valeurs négatives.

1.1.4 Banques

Le secteur bancaire établit les taux d'intérêt sur les dépôts pour les entreprises et les ménages, ainsi que les taux d'intérêt sur les prêts en monnaie nationale et en devises, et les frais de commission sur les transactions financières.

Le taux de dépôt cible ($i_D^{Dep,Tar}$) sur les comptes d'épargne des entreprises est calculé en soustrayant une marge (*depmarkdown*) du taux directeur de la banque centrale (i_p).

$$i_D^{Dep,Tar} = i_p - \text{depmarkdown} \quad (112)$$

Dans la lignée de (Yilmaz & Godin, 2020), nous supposons que la valeur de la marge dépend du ratio entre le total des actifs en monnaie nationale du secteur bancaire et le financement de la banque centrale sous forme d'avances (*Ad*).

$$\text{depmarkdown} = \kappa_4 \cdot \left[\frac{(L_D^F + L_D^H + L_D^A + B_B^G)}{Ad} \right]^{\kappa_5} \quad (113)$$

Étant donné que les banques se procurent des fonds par le biais de la banque centrale, elles ajustent à la baisse l'écart entre le taux directeur et le taux de dépôt dans le but d'attirer les dépôts. Le taux de dépôt effectif (i_D^{Dep}) se déplace lentement vers cette valeur cible.

$$i_D^{Dep} = \beta_{idDep} \cdot (i_D^{Dep,Tar} - i_D^{Dep}) \quad (114)$$

Conformément aux données, nous supposons que le taux de dépôt des ménages ($i_D^{Dep,H}$) est légèrement plus élevé, mesuré par le terme (*hhdp*).

$$i_D^{Dep,H} = i_D^{Dep} \cdot (1 + \text{hhdp}) \quad (115)$$

Les banques ne paient aucun intérêt (i_{FX}^{Dep}) sur les dépôts en devises :

$$i_{FX}^{Dep} = 0 \quad (116)$$

Pour établir les taux d'intérêt sur les prêts, les banques appliquent une prime ($prem_2$) sur leurs coûts de financement moyens (AFC) :

$$i_D^{L,Tar} = AFC + prem_2 \quad (117)$$

Les coûts moyens de financement sont calculés comme le coût moyen pondéré du financement des dépôts et du financement des banques centrales.

$$AFC = \frac{i_D^{Dep,H} \cdot Dep_D^{H,sav} + i_D^{Dep} \cdot Dep_D^{F,sav} + i_p \cdot Ad}{Dep_D + Ad} \quad (118)$$

Où $Dep_D^{H,sav}$ et $Dep_D^{F,sav}$ sont respectivement les comptes d'épargne des ménages, et les comptes d'épargne des SNF, et le total des dépôts en monnaie nationale dans le secteur bancaire (Dep_D) est la somme du total des dépôts des ménages (Dep_D^H) et des entreprises (Dep_D^F) et le reste du monde (Dep_D^W).

$$Dep_D = Dep_D^H + Dep_D^F + Dep_D^W \quad (119)$$

La prime sur les prêts en monnaie nationale dépend du rapport entre les paiements d'intérêts et l'excédent brut d'exploitation :

$$prem_2 = \kappa_0 + \kappa_1 \cdot \left[\frac{i_D^L \cdot L_D^F + i_{FX}^L \cdot L_{FX}^F \cdot e^N}{GOS_F^F} \right]^{\kappa_3} \quad (120)$$

Le taux d'intérêt moyen se déplace lentement vers le taux d'intérêt instantané avec une vitesse d'ajustement β_{idL} .

$$i_D^L = \beta_{idL} \cdot (i_D^{L,Tar} - i_D^L) \quad (121)$$

Comme pour les dépôts, le taux d'intérêt sur les prêts octroyés aux ménages est supérieur au taux d'intérêt sur les prêts octroyés aux entreprises, mesuré par $hhlp$:

$$i_D^{L,H} = i_D^L \cdot (1 + hhlp) \quad (122)$$

Comme nous l'avons vu plus haut, nous supposons que les emprunts en devises par les entreprises nationales se font par l'intermédiaire du secteur bancaire national.

Par conséquent, les banques nationales agissent en tant qu'intermédiaires entre ces entreprises domestiques et les fonds étrangers, facturant aux NFC un taux de prêt de change instantané en gagnant un écart positif sur le taux d'emprunt bancaire transfrontalier ($i_{FX}^{L,Tar}$) au cours du processus. Cet écart est un multiple de la prime de prêt en monnaie nationale.

$$i_{FX}^{L,Tar} = i_{FX}^B + \rho_4 \cdot prem_2 \quad (123)$$

Le taux d'intérêt effectif sur les prêts extérieurs (i_{FX}^L) se déplace également lentement vers le taux instantané en raison de la structure des échéances.

$$i_{FX}^L = \beta_{i,LFX} \cdot (i_{FX}^{L,Tar} - i_{FX}^L) \quad (124)$$

Les banques qui empruntent des fonds en devises étrangères pour les prêter aux SNF doivent également prendre en compte le risque pays. Le taux auquel les banques acquièrent des fonds de change de l'étranger est déterminé par une prime ($prem_1$) sur le taux global sans risque (i_{FX}^W).

$$i_{FX}^B = i_{FX}^W + prem_1 \quad (125)$$

La prime appliquée au taux de prêt transfrontalier est une fonction non linéaire du risque pays (rsk), qui est mesuré par la position extérieure globale (FIP). Cette position est déterminée par le ratio de la dette extérieure en devises étrangères du pays par rapport au PIB nominal ($NomGDP$).

$$prem_1 = \zeta_0 + \zeta_1 \cdot rsk^{\zeta_2} \quad (126)$$

$$rsk = \nu_1 \cdot FIP^{\nu_2}; \quad (127)$$

$$FIP = \frac{(L_{FX}^B \cdot e^N + L_{FX}^G \cdot e^N + L_{FX}^{G,Adap} \cdot e^N)}{NomGDP} \quad (128)$$

En plus de son impact sur les taux d'intérêt des prêts transfrontaliers à travers les primes, le risque pays exerce également une influence quantitative sur le volume des emprunts en devises octroyés aux banques. Plus précisément, un niveau de risque pays plus élevé entraîne un niveau plus élevé de rationnement (rat_{FX}) de la demande des crédits en devises par le secteur bancaire.

Le rationnement des crédits est une fonction qui adopte une forme sigmoïde, avec des bornes inférieures et supérieures définies respectivement par LB_{rat} et UB_{rat} , et un point d'inflexion à MP_{rat} .

$$rat_{FX} = \frac{\beta_{1,rat}}{1 + \exp[\beta_{2,rat} \cdot (rsk - MP_{rat})]} \cdot (UB_{rat} - LB_{rat}) + LB_{rat} \quad (129)$$

Le secteur bancaire fournit des services d'assurance à l'agriculture (Ins^A), NFC (Ins^F) et ménages (Ins^H), sur leur stock de capital correspondant, à un taux de prime constant.

$$Ins^A = insur_A \cdot Kap^A \cdot p_K^{NF} \quad (130)$$

$$Ins^F = insur_F \cdot Kap^F \cdot p_K^{NF} \quad (131)$$

$$Ins^H = insur_H \cdot Kap^H \cdot p_K^{NF} \quad (132)$$

Le total des revenus d'assurance (Ins) pour les banques est alors :

$$Ins = Ins^H + Ins^F + Ins^A \quad (133)$$

De même, le secteur agricole, les SNF et les ménages versent des commissions (Com) au secteur bancaire sur leurs engagements. Par souci de simplicité, nous supposons que la valeur de ces commissions correspond à des ratios fixes de crédits en monnaie nationale octroyés à ces secteurs.

$$Com^A = com \cdot L_D^A \quad (134)$$

$$Com^H = com \cdot L_D^H \quad (135)$$

$$Com^F = com \cdot L_D^F \quad (136)$$

$$Com = Com^A + Com^H + Com^F \quad (137)$$

Les cotisations sociales patronales pour les banques (ESC^B) est un ratio fixe des salaires comme dans les secteurs de l'agriculture et de la NFC :

$$ESC^B = \tau_{ESC}^B \cdot w^B \cdot N^B \quad (138)$$

Tandis que les impôts sur la production du secteur sont déterminés en tant que ratio fixe des intérêts reçus par les banques :

$$Tpr^B = \tau pr^B \cdot (i_D^L \cdot L_D^F \cdot (1 - \beta_{npl}) + i_H^L \cdot L_D^H \cdot (1 - \beta_{npl}^H) + i_D^L \cdot L_D^A \cdot (1 - \beta_{npl}^A)) \quad (139)$$

Le nombre d'employés dans le secteur bancaire (N^B) représente une proportion constante de la population.

$$N^B = emp^B \cdot Pop \quad (140)$$

Le secteur bancaire détient également les obligations de l'État (BGB) et reçoit des intérêts (i_B^G) sur ces obligations, emploie de la main-d'œuvre au taux salarial w^B ; et paie les cotisations sociales patronales (ESC^B), les impôts sur la production (Tpr^{FC}) et les autres transferts au gouvernement ($Transf_G^B$).

Par conséquent, les résultats bruts du secteur bancaire (GF^B) sont obtenus en additionnant ses recettes et en soustrayant ses dépenses, tout en prenant en compte les prêts non performants des entreprises, du secteur agricole et des ménages.

$$GF^B = i_D^L \cdot L_D^F \cdot (1 - \beta_{npl}^F) + i_D^{L,H} \cdot L_D^H \cdot (1 - \beta_{npl}^H) + i_D^L \cdot L_D^A \cdot (1 - \beta_{npl}^A) + (i_{FX}^L - i_{FX}^B) \cdot L_{FX}^B \cdot e^N + i_B^G \cdot B_B^G - i_D^{Dep} \cdot Dep_D^{F,sav} - i_D^{Dep,H} \cdot Dep_D^{H,sav} - i_p \cdot Ad - w^B \cdot N^B - ESC^B - IC_B^F \cdot p_{IC}^F - T_{PR}^{FC} + Com + Ins - Transf_G^B \quad (141)$$

Le secteur paie des impôts sur les profits au taux (τ^B). Les résultats nets des banques (F^B) sont alors :

$$F^B = (1 - \tau^B) \cdot GF^B \quad (142)$$

En réalité, les banques reçoivent des intérêts sur les prêts en cours de remboursement et paient des intérêts sur les dépôts d'épargne, tels qu'ils sont enregistrés dans la matrice des transactions flux (TFM).

Notons toutefois que dans les comptes nationaux, la production du secteur financier comprend les services d'intermédiation financière indirectement mesurés (SIFIM).

Dans les comptes nationaux, les SIFIM et les dépenses intermédiaires des services financiers par les entreprises et les ménages non financiers sont distribués et traités comme la valeur ajoutée brute de l'intermédiation financière. Les autres paiements d'intérêts qui ne sont pas enregistrés en tant que SIFIM, c'est-à-dire les intérêts payés sur les dépôts et reçus sur les prêts, calculés à un taux de référence, sont ensuite enregistrés dans les comptes de distribution primaire des revenus.

En raison du cadre monétaire endogène du modèle, les banques n'ont pas été considérées comme des intermédiaires. Par conséquent, nous considérons tous les SIFIM enregistrés dans les comptes nationaux comme une marge sur les taux d'intérêt et les transférant aux paiements d'intérêts.

Les banques sont soumises à un ratio d'adéquation des fonds propres de type bâlois qui détermine les fonds propres cibles du secteur ($OF^{B,Tar}$). Cet objectif est défini en pourcentage des actifs pondérés en fonction du risque.

$$OF^{B,Tar} = of \cdot (\chi_F \cdot L_D^F + \chi_A \cdot L_D^A + \chi_H \cdot L_D^H + \chi_{FX} \cdot L_{FX}^F \cdot e^N + \chi_B \cdot B_G^B) \quad (143)$$

Nous supposons que pour renforcer la position en capital du secteur bancaire, le ratio d'adéquation des fonds propres (of) augmente progressivement au fil du temps à partir de sa valeur initiale au moment initial des simulations (t_0).

$$of = of_1 - \frac{of_2}{\exp[of_3 \cdot (t - t_0)]} \quad (144)$$

Le secteur conserve une partie de ses activités (RE^B) pour atteindre les fonds propres nécessaires :

$$RE^B = OF^{B,Tar} - OF^B \quad (145)$$

$$\dot{OF}^B = RE^B \quad (146)$$

Le reste des bénéfices est distribué sous forme de dividendes (Div^B) aux ménages (Div_H^B), aux administrations publiques (Div_G^B) et au reste du monde (Div_W^B) dans des proportions fixes :

$$Div^B = F^B - RE^B = Div_W^B + Div_G^B + Div_H^B \quad (147)$$

$$Div_W^B = divrate_w^B \cdot Div^B \quad (148)$$

$$Div_G^B = divrate_G^B \cdot Div^B \quad (149)$$

$$Div_H^B = divrate_H^B \cdot Div^B \quad (150)$$

Les SIFIM revenant aux SNF ainsi que les commissions et services d'assurance consommés par les SNF augmentent la valeur ajoutée brute des banques du même montant, réduisant ainsi la valeur brute des entreprises. Il n'est donc pas nécessaire de les inclure dans les calculs du PIB nominal du côté de la demande.

Afin de déterminer les besoins financiers du secteur bancaire, nous commençons par la dynamique actif-passif. Nous supposons d'abord que le secteur achète (B_B^G) toutes les obligations de l'État en monnaie nationale non achetées par les ménages (B_H^G) ou par la banque centrale (B_{CB}^G).

$$\dot{B}_B^G = \max[\dot{B}^G - \dot{B}_H^G - \dot{B}_{CB}^G, -B_B^G] \quad (151)$$

Il existe un ratio d'exigence de réserve constant (rrr) sur les dépôts en monnaie nationale :

$$\dot{R}_D = rrr \cdot (\dot{Dep}_D) \quad (152)$$

Où :

$$\dot{Dep}_D = \dot{Dep}_D^F + \dot{Dep}_D^H + \dot{Dep}_D^W \quad (153)$$

Les besoins financiers du secteur bancaire (TFN^B) sont alors donnés par :

$$TFN^B = (\dot{L}_D^F + \dot{L}_D^H + \dot{L}_D^A + \dot{B}_B^G) + rrr \cdot (\dot{Dep}_D) - (\dot{Dep}_D + \dot{OF}^B + FDI^B) \quad (154)$$

Nous supposons que le secteur bancaire ne reçoit pas d'IDE dans les simulations :

$$FDI^B = 0 \quad (155)$$

La banque centrale joue le rôle de prêteur de dernier ressort pour le secteur, et les besoins de financement sont comblés par le recours à des avances accordées par la banque centrale (Ad).

$$\dot{Ad} = TFN^B \quad (156)$$

Il est strictement stipulé qu'il ne peut y avoir de position ouverte sur le côté des devises étrangères du bilan du secteur bancaire, garantissant que les actifs en devises étrangères du secteur bancaire sont toujours égaux ou supérieurs à ses passifs libellés dans des devises étrangères. Par conséquent, tout changement dans les réserves de change des banques résulte exclusivement de variations de position fermée (R_{FX}^{NOP}).

$$\dot{R}_{FX}^{NOP} \geq \dot{Dep}_{FX} + \dot{L}_{FX}^B - \dot{L}_{FX}^F \quad (157)$$

Où :

$$\dot{Dep}_{FX} = \dot{Dep}_{FX}^W + \dot{Dep}_{FX}^F + \dot{Dep}_{FX}^H \quad (158)$$

et parce que les banques ne sont qu'intermédiaires entre les sociétés non financières et les fonds transfrontaliers, on a :

$$\dot{L}_{FX}^B = \dot{L}_{FX}^F \quad (159)$$

Nous partons du principe que l'exigence d'absence de position ouverte s'applique toujours avec égalité. Ainsi, l'évolution des réserves de change du secteur bancaire (R_{FX}^B) est :

$$\dot{R}_{FX}^B = \dot{R}_{FX}^{NOP} \quad (160)$$

1.1.5 Les administrations publiques

Le gouvernement intervient sur les marchés des biens et services en influençant la demande globale et le niveau des prix à travers des politiques fiscales et les politiques budgétaires. Les politiques fiscales consistent à prélever les impôts et les taxes sur les produits (la taxe sur la valeur ajoutée, les impôts sur les importations et les autres taxes), sur le revenu et le patrimoine et sur la production.

Le gouvernement joue son rôle de redistribution des revenus et des richesses via les politiques budgétaires. Cela comprend des prestations sociales et des dépenses de sécurité sociale, qui sont supposées être pro cycliques, en fonction du taux de chômage et du salaire moyen dans le secteur privé. Outre ces transferts sociaux vers les ménages, les dépenses du gouvernement comportent les salaires publics, les contributions sociales des employeurs, la consommation intermédiaire du gouvernement, les subventions sur les produits alimentaires et énergétiques et les paiements d'intérêts sur la dette publique.

Dans le modèle macroéconomique GEMMES, les administrations publiques fournissent des biens et services publics sans but lucratif. La production totale du gouvernement est mesurée, comme l'indique le Système de Comptabilité Nationale

(SCN), par les dépenses nécessaires pour la production de ces biens et services publics, composés par les coûts salariaux des fonctionnaires, de la consommation intermédiaire publique, des contributions sociales des employeurs payés par le gouvernement et de l'amortissement du capital public.

Pour calculer la contrainte budgétaire du gouvernement, nous commençons par la valeur nominale de la consommation intermédiaire du gouvernement (IC_N^G) provenant d'autres secteurs :

$$IC_N^G = IC_G^A \cdot p_{iC}^A + IC_G^{NF} \cdot p_{iC}^{NF} + IC_G^{PF} \cdot p_{iC}^{PF} \quad (161)$$

Le gouvernement emploie des fonctionnaires (N^G) pour fournir des services publics, au taux de salaire w^G . Le nombre de travailleurs publics est une part constante de la population :

$$N^G = emp^G \cdot Pop \quad (162)$$

Le gouvernement paie et reçoit les cotisations sociales de l'employeur (ESC^G) pour les travailleurs de la fonction publique. La valeur par employé de la fonction publique est une proportion fixe de la masse salariale du secteur public (W^G). De même, les cotisations sociales des employeurs par employé dans les secteurs des produits agroalimentaires et non alimentaires sont des fractions fixes des salaires respectifs dans ces secteurs :

$$ESC^i = \tau_{ESC}^i \cdot w^i \cdot N^i, i \in \{PF, NF, G\} \quad (163)$$

Ainsi, le total des cotisations sociales de l'employeur perçues par le gouvernement (ESC) est :

$$ESC = ESC^A + ESC^{NF} + ESC^{PF} + ESC^B + ESC^G \quad (164)$$

Outre les cotisations sociales versées par les employeurs, les travailleurs paient également des cotisations sociales (WSC) sur le salaire nominal brut perçu par le gouvernement :

$$WSC = \tau_{WSC} \cdot (w^A \cdot N^A + w^{NF} \cdot N^{NF} + w^{PF} \cdot N^{PF} + w^B \cdot N^B + w^G \cdot N^G) \quad (165)$$

Le gouvernement prélève la taxe sur la valeur ajoutée sur les biens de consommation (VAT) de chaque secteur, déterminée par les taux sectoriels VAT^i :

$$VAT^A = \tau_{VA}^A \cdot [(1 - \sigma_{M,C}^A) \cdot C^A \cdot p_P^A + IM_C^A \cdot p_C^{A,w} \cdot e^N] \quad (166)$$

$$VAT^{NF} = \tau_{VA}^{NF} \cdot [(1 - \sigma_{M,C}^{NF}) \cdot C^{NF} \cdot p_P^{NF} + \sigma_{M,C}^{NF} \cdot C^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N] \quad (167)$$

$$VAT^{PF} = \tau_{VA}^{PF} \cdot [(1 - \sigma_{M,C}^{PF}) \cdot C^{PF} \cdot p_P^{PF} + \sigma_{M,C}^{PF} \cdot C^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N] \quad (168)$$

$$VAT = VAT^A + VAT^{NF} + VAT^{PF} \quad (169)$$

De même, des taxes à l'importation (TIM) sont perçues sur toutes les importations sectorielles à des taux différents TIM^i sur les importations des produits de l'agriculture, des produits agroalimentaires et des produits non alimentaires.

$$TIM^A = \tau_M^A \cdot (IM_C^A \cdot p_C^{A,w} + IM_{IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w}) \cdot e^N \quad (170)$$

$$TIM^i = \tau_M^i \cdot IM^i \cdot p^{i,w} \cdot e^N, i \in \{PF, NF\} \quad (171)$$

$$TIM = TIM^A + TIM^{PF} + TIM^{NF} \quad (172)$$

Les subventions sont composées par les subventions sur les produits de l'agriculture (sub^A), des produits agroalimentaires (sub^{PF}) et des produits non alimentaires (sub^{NF}).

$$sub^A = subr_a \cdot (Y^{D,A} \cdot p_p^A + (IM_C^A \cdot p_C^{A,w} + IM_{IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w}) \cdot e^N) \quad (173)$$

$$sub^{PF} = subr_{PF} \cdot \left[\begin{aligned} &(1 - \sigma_{M,C}^{PF}) \cdot C^{PF} \cdot p_p^{PF} + \sigma_{M,C}^{PF} \cdot C^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N + \\ &(1 - \sigma_{M,IC}^{PF}) \cdot IC^{PF} \cdot p_p^{PF} + \sigma_{M,IC}^{PF} \cdot IC^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N \end{aligned} \right] \quad (174)$$

$$sub^{NF} = subr_{NF} \cdot \left[\begin{aligned} &(1 - \sigma_{M,C}^{NF}) \cdot C^{NF} \cdot p_p^{NF} + \sigma_{M,C}^{NF} \cdot C^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N + \\ &(1 - \sigma_{M,IC}^{NF}) \cdot IC^{NF} \cdot p_p^{NF} + \sigma_{M,IC}^{NF} \cdot IC^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N \end{aligned} \right] \quad (175)$$

$$sub = sub^A + sub^{NF} + sub^{PF} \quad (176)$$

Le total des subventions (sub) est donné par la somme de toutes les subventions.

Les autres impôts ($Otaxes$) sont prélevés sur la demande intérieure et les importations dans les secteurs de l'agriculture, des produits agroalimentaires et des produits non alimentaires.

$$Otaxes^A = otax_A \cdot [Y^{D,A} \cdot p_p^A + (IM_C^A \cdot p_C^{A,w} + IM_{IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w}) \cdot e^N] \quad (177)$$

$$Otaxes^{PF} = otax_{PF} \cdot [(Y^{D,PF} - X^{PF}) \cdot p_p^{PF} + IM^{PF} \cdot p^{PF,w} \cdot e^N] \quad (178)$$

$$Otaxes^{NF} = otax_{NF} \cdot [(Y^{D,NF} - X^{NF}) \cdot p_p^{NF} + IM^{NF} \cdot p^{NF,w} \cdot e^N] \quad (179)$$

$$Otaxes = Otaxes^A + Otaxes^F + Otaxes^{PF} \quad (180)$$

Enfin, les impôts sur la production (Tpr) sont perçus sur la production totale, y compris la production destinée à l'exportation :

$$Tpr^A = \tau_{pr}^A \cdot (Y^{P,A} \cdot p_p^A + X^A \cdot p_X^A \cdot e^N) \quad (181)$$

$$Tpr^i = \tau_{pr}^i \cdot [(Y^{P,i} - X^i) \cdot p_p^i + X^i \cdot p_X^i \cdot e^N], i \in \{PF, NF\} \quad (182)$$

$$Tpr^B = \tau_{pr}^B \cdot [i_D^L \cdot L_D^F \cdot (1 - \beta_{npl}) + i_H^L \cdot L_D^H \cdot (1 - \beta_{npl}^H) + i_D^L \cdot L_D^A \cdot (1 - \beta_{npl}^A)] \quad (183)$$

$$Tpr = Tpr^A + Tpr^{PF} + Tpr^{NF} + Tpr^B \quad (184)$$

Total des impôts sur le revenu et les bénéfices (T) sont la somme des impôts sur le revenu agricole mixte, sur les bénéfices nets, les revenus bancaires et les revenus salariaux des ménages plus l'excédent brut d'exploitation :

$$T = \tau^A \cdot MI^A + \tau^F \cdot GF^F + \tau^B \cdot GF^B + \tau^H \cdot (w^A \cdot N^A + w^{NF} \cdot N^{NF} + w^{PF} \cdot N^{PF} + w^B \cdot N^B + w^G \cdot N^G + GOS_H^F) \quad (185)$$

Les administrations publiques distribuent des prestations sociales aux ménages qui sont déterminés par le taux de chômage et le taux de salaire moyen dans le secteur non financier.

$$GE = \phi_2 \cdot w^{NF} \cdot [Pop - (N^A + N^{PF} + N^{NF} + N^G + N^B)] \quad (186)$$

Ils effectuent également la redistribution d'autres formes de transferts.

$$Transf_H^G = tr_H^G \cdot \left[\frac{(Y^{P,PF} - X^{PF}) \cdot p_p^{PF} + X^{PF} \cdot p_x^{PF} \cdot e^N + (Y^{P,NF} - X^{NF}) \cdot p_p^{NF} + X^{NF} \cdot p_x^{NF} \cdot e^N}{(Y^{P,PF} - X^{PF}) \cdot p_p^{PF} + X^{PF} \cdot p_x^{PF} \cdot e^N + (Y^{P,NF} - X^{NF}) \cdot p_p^{NF} + X^{NF} \cdot p_x^{NF} \cdot e^N} \right] \quad (187)$$

Les investissements publics comprennent les investissements hydrauliques qui correspondent à l'investissement nécessaire pour la mise en œuvre des politiques d'adaptation ($I_{G,irrig}$) et les autres investissements publics agrégés ($I_{G,cap}$). L'investissement public dans l'adaptation connaît une évolution progressive vers sa cible, qui est déterminé sur la base des scénarios envisagés dans la stratégie « Eau 2050 » de la Tunisie.

$$I_{G,irrig}^{Tar} = \gamma_{ir}^G \cdot (NomGDP/p_k^{NF}) \quad (188)$$

$$\dot{I}_{G,irrig} = \beta_{irrig} \cdot (I_{G,irrig}^{Tar} - I_{G,irrig}) \quad (189)$$

L'Etat investit également dans le capital physique en finançant les infrastructures publiques. L'investissement en capital (IG, cap) évolue à un taux de croissance constant gr_{ig} .

$$\dot{I}_{G,cap} = I_{G,cap} \cdot gr_{ig} \quad (190)$$

$$I_G^{NF} = I_{G,irrig} + I_{G,cap} \quad (191)$$

$$\dot{K}^G = I_G^{NF} - \delta_G \cdot K^G \quad (192)$$

Le stock de capital public suit une fonction d'accumulation de capital linéaire, avec δ_G est le taux d'amortissement du capital public.

Nous présumons que le financement de l'investissement public d'adaptation est réalisé à travers des prêts en devises étrangères ($L_{FX}^{G,Adap}$) octroyés par des banques

multilatérales et/ou des banques de développement à un taux d'intérêt préférentiel ($i_{FX}^{L,G,Adap}$).

$$\dot{L}_{FX}^{G,Adap} = I_{G,irrig} \cdot p_K^{NF} / e^N \quad (193)$$

Pour combler son déficit, le gouvernement emprunte à la fois sur les marchés nationaux en émettant des obligations (B^G) et sur les marchés internationaux en empruntant en devises (L_{FX}^G).

Le taux d'intérêt instantané sur les obligations en monnaie domestique ($i_B^{G,Tar}$) est une prime ($prem_{gov}$) ajoutée au taux d'inflation.

$$i_B^{G,Tar} = inf^H + prem_{gov} \quad (194)$$

Où la prime ($prem_{gov}$) dépend du ratio de la dette publique totale par rapport au PIB.

$$prem_{gov} = \Phi_1 \cdot \left(\frac{L_{FX}^G \cdot e^N + B^G + L_{FX}^{G,Adap} \cdot e^N}{NomGDP} \right) \Phi_2 \quad (195)$$

Le taux d'intérêt réel sur le stock d'obligations évolue lentement vers le taux cible, tout comme les autres taux d'intérêt.

$$i_B^G = \beta_{ibg} \cdot (i_B^{G,Tar} - i_B^G); \quad (196)$$

Le taux d'intérêt sur les emprunts en devises par le secteur public ($i_{FX}^{L,G}$) est une prime ajoutée au taux mondial sans risque (i_{FX}^W). Tout comme dans le secteur bancaire, la prime dépend du risque pays.

$$i_{FX}^{L,G} = i_{FX}^W + \Phi_3 \cdot rsk \quad (197)$$

Les dépenses totales du gouvernement (G_T) est la somme des salaires publics, des cotisations sociales des employeurs, de la consommation intermédiaire du gouvernement, des paiements d'intérêts sur la dette publique et des transferts aux ménages :

$$G_T = w^G \cdot N^G + IC_N^G + ESC^G + G_E + sub + L_{FX}^{G,Adap} \cdot e^N \cdot i_{FX}^{L,G,Adap} + I_{cap}^G \cdot p_K^{NF} + i_B^G \cdot B^G + i_{FX}^{L,G} \cdot L_{FX}^G \cdot e^N + Transf_H^G \quad (198)$$

Le gouvernement maintient un montant spécifique de dépôts en monnaie domestique à la banque centrale pour des besoins opérationnels ($Dep_D^{G,cur,Tar}$). Ce montant est déterminé par la masse salariale publique et les cotisations sociales des employeurs.

$$Dep_D^{G,cur,Tar} = \eta_g \cdot (w^G \cdot N^G + ESC^G) \quad (199)$$

$$\dot{Dep}_D^{G,cur} = \beta_{Dep}^G \cdot (Dep_D^{G,cur,Tar} - Dep_D^{G,cur}) \quad (200)$$

En outre, conformément aux données des comptes nationaux, le gouvernement reçoit d'autres transferts ($Transf_G^i$) du secteur NFC, du secteur bancaire, de la banque centrale et du reste du monde. Nous définissons ces transferts comme une part fixe de la production totale de biens des secteurs PF et NF mesurée aux prix à la production correspondants :

$$Transf_G^i = tr_G^i \cdot \left[\begin{array}{l} (Y^{P,PF} - X^{PF}) \cdot p_P^{PF} + X^{PF} \cdot p_X^{PF} \cdot e^N + \\ (Y^{P,NF} - X^{NF}) \cdot p_P^{NF} + X^{NF} \cdot p_X^{NF} \cdot e^N \end{array} \right], i \in \{F, CB, B, W\} \quad (201)$$

Ainsi, les besoins de financement du gouvernement (TFN^G) correspondent à la différence entre ses dépenses totales et ses revenus, en tenant compte de l'accumulation de ses dépôts ($Dep_D^{G,cur}$) :

$$TFN^G = G_T - WSC - ESC - T - VAT - TIM - Otaxes - Tpr - F^{CB} - Div_G^F - Div_G^B - Transf_G^W - Transf_G^F - Transf_G^B - Transf_G^{CB} + Dep_D^{G,cur} \quad (202)$$

Avec F^{CB} représente les bénéfices de la banque centrale transférés au gouvernement, à définir dans la prochaine section.

Par ailleurs, dans le cadre de la politique fiscale, le gouvernement emprunte une fraction fixe du déficit commercial sous forme de prêts en devises (L_{FX}^G), afin de fournir à l'économie une partie de ses besoins en devises. Nous supposons qu'il n'y a pas de rationnement sur l'emprunt public en devises en raison d'un risque pays plus élevé.

$$\dot{L}_{FX}^G = \Psi \cdot (-X + IM) \quad (203)$$

La partie restante du déficit public est financée par l'émission d'obligations en monnaie domestique (BG).

$$\dot{B}^G = \max[TFN^G - L_{FX}^G \cdot e^N, 0] \quad (204)$$

1.1.6 La banque centrale

La banque centrale conduit la politique monétaire selon la règle de Taylor standard de ciblage d'inflation pure pour déterminer le taux directeur cible i_p^{Tar} .

$$i_p^{tar} = \iota_1 + \iota_2 \cdot inf^H \quad (205)$$

Le taux directeur réel (i_p).évolue vers ce taux cible :

$$i_p = \beta_{ip} \cdot (i_p^{Tar} - i_p) \quad (206)$$

Du côté des actifs, la banque centrale achète une partie fixe des émissions d'obligations publiques (B_{CB}^G) :

$$\dot{B}_{CB}^G = \max[\zeta \cdot \dot{B}^G, -B_{CB}^G] \quad (207)$$

L'accumulation de réserves de change de la banque centrale (R_{FX}^{CB}) est égale à l'accumulation totale de devises du pays (R_{FX}) moins l'accumulation de réserves de change bancaires (R_{FX}^B).

$$\dot{R}_{FX}^{CB} = \dot{R}_{FX} - \dot{R}_{FX}^B \quad (208)$$

La banque centrale ne génère aucun intérêt sur ses réserves de change. Pour des raisons de simplicité, nous supposons que les frais de personnel et autres coûts opérationnels de la banque centrale sont insignifiants et considérés comme nuls. Par conséquent, les bénéfices de la banque centrale (F^{CB}) sont calculés comme tels et entièrement reversés au gouvernement :

$$F^{CB} = i_B^G \cdot B_{CB}^G + i_p \cdot Ad \quad (209)$$

1.1.7 Les ménages

Le revenu des ménages est composé des revenus productifs et des revenus financiers. Le revenu productif (Y_P^H) comprend les salaires après impôt, le revenu agricole mixte après impôt, le revenu brut excédent d'exploitation, les transferts de l'État, les cotisations de sécurité sociale patronales moins les cotisations de sécurité sociale des employés.

$$YD_P^H = (1 - \tau^H) \cdot (w^{NF} \cdot N^{NF} + w^{PF} \cdot N^{PF} + w^B \cdot N^B + w^G \cdot N^G + w^A \cdot N^A + GOS_H^F) + (NF^A - S^A) + Transf_H^G + G_E - WSC \quad (210)$$

En revanche, les revenus financiers (Y_F^H) comprennent les paiements d'intérêts sur les dépôts des ménages, les dividendes des sociétés non financières et des banques, les revenus d'intérêts sur les obligations de l'État détenues par les ménages et les envois de fonds moins les intérêts payés sur les prêts aux ménages (en tenant compte des crédits non performants), les commissions et les coûts nets des assurances.

$$YD_F^H = i_D^{Dep,H} \cdot Dep_D^{H,sav} + Div_H^F + Div_H^B + i_B^G \cdot B_H^G - (1 - \beta_{npl}^H) \cdot L_D^H \cdot i_D^{L,H} - Com^H - Ins^H + Rem \cdot e^N \quad (211)$$

Nous supposons que le taux des crédits non performants pour les ménages (β_{npl}^H) suit le ratio des prêts non performants du total des crédits octroyés par les banques :

$$\beta_{npl}^H = \beta_{npl}^F \quad (212)$$

Les ménages disposent d'un processus décisionnel en deux étapes pour déterminer la demande de consommation pour les produits de chaque. Dans un premier temps, ils décident d'une consommation nominale globale cible (Con^{Tar}) via leur propension marginale à consommer (mpc) sur leur revenu total :

$$Con^{Tar} = mpc \cdot (YD_P^H + YD_F^H) \quad (213)$$

Les modes de consommation présentent une formation des habitudes et une inertie, de sorte que la consommation Con s'ajuste lentement à cet objectif Con^{Tar} .

$$\dot{Con} = \beta_{con} \cdot (Con^{Tar} - Con) \quad (214)$$

La propension marginale à consommer mpc dépend du taux d'intérêt réel sur les dépôts des ménages i_{real}^{dep} et suit une fonction sigmoïde, avec sa borne inférieure donnée par LB_{mpc} , le point d'inflexion par MP_{mpc} et la borne supérieure par UB_{mpc} :

$$mpc = \frac{1}{1 + \exp[\beta_{mpc} \cdot (i_{real}^{dep} - MP_{mpc})]} \cdot (UB_{MPC} - LB_{MPC}) + LB_{MPC} \quad (215)$$

Où i_{real}^{dep} est le taux de dépôt réel, défini comme le taux d'intérêt nominal sur les dépôts déflaté par l'inflation à définir par la suite.

$$i_{real}^{dep} = i_D^{Dep,H} - inf^H \quad (216)$$

Dans un second temps, les ménages répartissent leur consommation entre les produits agricoles, les aliments transformés et les biens non alimentaires. Cette répartition obéit à une spécification de système de dépenses linéaire (LES).

$$C^{A,tar} = \frac{rca \cdot Pop \cdot p_C^A + eps_1 \cdot (Con - rca \cdot Pop \cdot p_C^A - rcpf \cdot Pop \cdot p_C^{PF} - rcf \cdot Pop \cdot p_C^{NF})}{p_C^A} \quad (217)$$

$$C^{PF} = \frac{rcpf \cdot Pop \cdot p_C^{PF} + eps_2 \cdot (Con - rca \cdot Pop \cdot p_C^A - rcpf \cdot Pop \cdot p_C^{PF} - rcf \cdot Pop \cdot p_C^{NF})}{p_C^{PF}} \quad (218)$$

$$C^{NF} = \frac{rcnf \cdot Pop \cdot p_C^{NF} + (1 - eps_1 - eps_2) \cdot (Con - rca \cdot Pop \cdot p_C^A - rcpf \cdot Pop \cdot p_C^{PF} - rcnf \cdot Pop \cdot p_C^{NF})}{p_C^{NF}} \quad (219)$$

Où rca , $rcpf$ et $rcnf$ désignent respectivement les niveaux minimums de consommation des produits agricoles, agro-alimentaires et des biens non alimentaires. Pop est la population et p_C^A , p_C^{PF} et p_C^{NF} sont leurs prix à la consommation respectifs et eps_1 , eps_2 sont les parts marginales respectives des dépenses de consommation surnuméraires des ménages des biens agricoles et agroalimentaires.

$$eps_1^{tar} = eps_3 - eps_4 \cdot (Con/CPI)^{eps5} \quad (220)$$

$$eps_2^{tar} = eps_6 - eps_7 \cdot (Con/CPI)^{eps8} \quad (221)$$

$$\dot{eps}_1 = \beta_{eps1} \cdot (eps_1^{tar} - eps_1) \quad (222)$$

$$\dot{eps}_2 = \beta_{eps2} \cdot (eps_2^{tar} - eps_2) \quad (223)$$

$$\dot{C}^A = \beta_{CA} \cdot (C^{A,tar} - C^A) \quad (224)$$

L'indice des prix à la consommation des ménages (CPI) est donné par :

$$CPI = p_C^A \cdot \gamma_H^A + p_C^{PF} \cdot \gamma_H^{PF} + p_C^{NF} \cdot (1 - \gamma_H^A - \gamma_H^{PF}) \quad (225)$$

Avec γ_H^A et γ_H^{PF} sont les parts des produits agricoles et agro-alimentaires dans le panier de consommation.

$$\gamma_H^A = \frac{C^A}{C^A + C^{PF} + C^{NF}} \quad (226)$$

$$\gamma_H^{PF} = \frac{C^{PF}}{C^A + C^{PF} + C^{NF}} \quad (227)$$

Ainsi, l'inflation à chaque instant est mesurée comme suit :

$$inf^H = D(CPI, t)/CPI \quad (228)$$

Les ménages ont aussi un objectif d'investissement réel ($I_H^{NF, Tar}$), qui est déterminé comme une fraction de leur revenu brut disponible (sous forme de logement et de biens durables).

$$I_H^{NF, Tar} = \xi \cdot (YD_P^H + YD_F^H)/p_K^{NF} \quad (229)$$

$$\dot{I}_H^{NF} = \beta_{IH} \cdot (I_H^{NF, Tar} - I_H^{NF}) \quad (230)$$

$$K^H = I_H^{NF} - \delta_H \cdot K^H \quad (231)$$

Une partie de cet investissement est financée par des emprunts auprès des banques (L_D^H) :

$$\dot{L}_D^H = \varphi \cdot I_H^{NF} \cdot p_K^{NF} \quad (232)$$

L'épargne totale des ménages (S_H) est la différence entre toutes les sources de revenu et l'investissement financé par l'épargne plus la consommation.

$$S_H = YD_P^H + YD_F^H - Con - (1 - \varphi) \cdot I_H^{NF} \cdot p_K^{NF} \quad (233)$$

Les ménages conservent leur épargne sous forme de dépôts bancaires ($Dep_D^{H,cur}$) et des obligations (B_H^G). Nous supposons que l'évolution des dépôts en compte courant ($Dep_D^{H,cur}$) suit la dynamique de la consommation :

$$\dot{Dep}_D^{H,cur} = cc_1 \cdot \dot{Con} \quad (234)$$

D'autre part, une partie des transferts des Tunisiens résidents à l'étranger reçus par les ménages est accumulée sous forme de dépôts en devises.

$$\dot{Dep}_{FX}^H = cc_2 \cdot Rem \quad (235)$$

Après avoir effectué ces prélèvements sur leur épargne, les ménages investissent une partie de leurs fonds dans l'achat d'obligations d'État :

$$\dot{B}_H^G = Max[v_H \cdot (S_h - \dot{Dep}_D^H - \dot{Dep}_{FX}^H \cdot e^N), -B_H^G] \quad (236)$$

Le reste de l'épargne est accumulé sur des comptes d'épargne en monnaie nationale ($Dep_D^{H,sav}$) :

$$\dot{Dep}_D^{H,sav} = S_H - \dot{Dep}_D^{H,cur} - \dot{B}_H^G - \dot{Dep}_{FX}^H \cdot e^N \quad (237)$$

$$Dep_D^H = Dep_D^{H,sav} + Dep_D^{H,cur} \quad (238)$$

$$\dot{Dep}_D^H = \dot{Dep}_D^{H,sav} + \dot{Dep}_D^{H,cur} \quad (239)$$

Les salaires dans tous les secteurs sont entièrement indexés sur l'inflation et les gains de productivité. Nous supposons que les niveaux de salaires initiaux et les taux de croissance des salaires sont égaux dans les secteurs des industries agro-alimentaires et le secteur des produits non alimentaires.

$$\dot{w}^{NF} = w^{NF} \cdot (gr_a + inf^H) \quad (240)$$

$$\dot{w}^{PF} = \dot{w}^{NF} \quad (241)$$

$$\dot{w}^A = w^A \cdot (gr_a^A + inf^H) \quad (242)$$

$$\dot{w}^G = w^G \cdot (gr_a + inf^H) \quad (243)$$

$$\dot{w}^B = w^B \cdot (gr_a + inf^H) \quad (244)$$

Quant à la productivité du travail, elle croît d'une manière exogène dans le secteur agricole (a^A) :

$$\dot{a}^A = gr_a^A \cdot a^A \quad (245)$$

En revanche, la productivité du travail dans les secteurs des industries agro-alimentaires et non alimentaires dépend du taux de croissance des investissements

publics. Nous spécifions une fonction sigmoïde pour cette relation, avec une borne inférieure (LB_{gra}), une limite supérieure (UB_{gra}) et un point d'inflexion (MP_{gra}).

$$\dot{a}^{PF} = gr_a \cdot a^{PF} \quad (246)$$

$$\dot{a}^{NF} = gr_a \cdot a^{NF} \quad (247)$$

$$gr_a^{Tar} = \frac{\beta_{1,gra}}{1+\exp[\beta_{2,gra} \cdot (gr_{ig} - MP_{gra})]} \cdot (UB_{gra} - LB_{gra}) + LB_{gra} \quad (248)$$

$$\dot{gr}_a = \beta_{gra} \cdot (gr_a^{Tar} - gr_a) \quad (249)$$

Le chômage est déterminé par l'équation suivante :

$$unemp = 1 - \frac{(N^A + N^{NF} + N^G + N^B + N^{PF})}{part \cdot Pop} \quad (250)$$

Avec *part* est le taux de participation multiplié par la part de la population en âge d'activité et *Pop* est la population.

La population croît à un taux de croissance exogène :

$$\dot{Pop} = \alpha_{pop} \cdot Pop \quad (251)$$

1.1.8 Dynamique du taux de change et reste du monde

Afin de déterminer l'évolution du taux de change nominal, nous commençons par déterminer la demande et l'offre de devises dans l'économie. La demande de change (D_{FX}) dépend de la valeur nominale des importations en devises (IM), le compte des revenus de la balance des paiements (IA) et la demande des banques en réserves de change (R_{FX}^B) :

$$D_{FX} = IM + IA + \dot{R}_{FX}^B \quad (252)$$

L'offre de devises (D_{FX}) est donnée par la valeur nominale des exportations en devises (X), les emprunts extérieurs des banques et du gouvernement, les transferts du reste du monde vers le gouvernement, les transferts des tunisiens résidents à l'étranger (Rem) et les dépôts affluent du reste du monde vers l'économie tunisienne :

$$S_{FX} = X + \dot{L}_{FX}^B + \dot{L}_{FX}^G + \frac{FDI^F}{e^N} + FDI^B + \frac{Transf_G^W}{e^N} + Rem + \dot{Dep}_{FX}^W + \frac{\dot{Dep}_D^W}{e^N} + \dot{L}_{FX}^{G,Adap} \quad (253)$$

La valeur nominale des importations et des exportations en devises peut s'écrire comme suit :

$$IM = IM_C^A \cdot p_C^{A,w} + IM_{IC}^A \cdot p_{IC}^{A,w} + IM^{NF} \cdot p^{NF,w} + IM^{PF} \cdot p^{PF,w} \quad (254)$$

$$X = X^{NF} \cdot p_X^{NF} + X^A \cdot p_X^A + X^{PF} \cdot p_X^{PF} + mr g_X^{PF} \cdot X^{PF} \cdot p_X^{PF} + mr g_X^A \cdot X^A \cdot p_X^A \quad (255)$$

Le taux de change nominal (e^N) dépend alors de la différence entre la demande et l'offre de devises. Une demande excessive de devises entraîne une dépréciation de la monnaie nationale, dont la vitesse est mesurée par β_{eN} .

$$\dot{e}^N = \beta_{eN} \cdot (D_{FX} - S_{FX})/S_{FX} \quad (256)$$

1.1.9 Reste du monde et balance des paiements

Le compte de revenus de la balance des paiements est défini comme les paiements d'intérêts et de dividendes à l'étranger :

$$IA = i_{FX}^B \cdot L_{FX}^B + i_{FX}^{L,G} \cdot L_{FX}^G + i_{FX}^{L,G,Adap} \cdot L_{FX}^{G,Adap} + (Div_W^F + Div_W^B)/e^N \quad (257)$$

Les envois de fonds représentent une fraction fixe du PIB nominal mondial, donnée par le PIB mondial réel (GDP^W) multipliée par l'indice des prix mondial (CPI^W) :

$$Rem = rem \cdot GDP^W \cdot CPI^W \quad (258)$$

Nous utilisons les parts budgétaires marginales des ménages pour calculer le niveau des prix mondiaux comme une moyenne pondérée des prix agricoles, agro-alimentaires et non alimentaires mondiaux.

$$CPI^W = eps_1 \cdot p_C^{A,w} + eps_2 \cdot p^{PF,w} + (1 - eps_1 - eps_2) \cdot p^{NF,w} \quad (259)$$

Le taux de croissance du PIB mondial réel (GDP^W) et la productivité du travail (a^W) sont exogènes. De même, le taux d'intérêt des crédits extérieurs est exogène.

$$G\dot{D}P^W = gr_w \cdot GDP^W \quad (260)$$

$$\dot{a}^W = gr_{aw} \cdot a^W \quad (261)$$

La variation des avoirs en dépôts du reste du monde en devises (Dep_{FX}^W) et en monnaie nationale (Dep_D^W) sont des fractions fixes des transferts de fonds des Tunisiens à l'étranger :

$$\dot{Dep}_{FX}^W = \theta_1 \cdot Rem \quad (263)$$

$$\dot{Dep}_D^W = \theta_2 \cdot Rem \cdot e^N \quad (264)$$

Le solde du compte courant ($CurAC$) peut alors être défini comme :

$$CurAC = -IA + Rem + X - IM + Transf_G^W/e^N \quad (265)$$

Les réserves de devises du pays (R_{FX}) à chaque instant est :

$$\dot{R}_{FX} = X + \dot{L}_{FX}^B + \dot{L}_{FX}^G + \frac{FDI^F}{e^N} + \frac{Transf_G^W}{e^N} + Rem + \dot{Dep}_{FX}^W + \frac{\dot{Dep}_D^W}{e^N} - IM - IA + \dot{L}_{FX}^{G,Adap} \quad (266)$$

Et enfin, nous définissons le PIB nominal (*NomGDP*) du côté de la demande par :

$$NomGDP = Con + I^{NF} \cdot p_K^{NF} + X \cdot e^N - IM \cdot e^N + IC_N^G + w^G \cdot N^G + ESC^G + \delta_G \cdot K^G \cdot p_K^{NF} + \dot{V}^F \cdot p_P^F + \dot{V}^{PF} \cdot p_P^{PF} + Com^H + Ins^H + FISIM^H \quad (267)$$

Où $FISIM^H$ représente les services d'intermédiation financière indirectement mesurés pour les ménages et qui est déterminé comme suit :

$$FISIM^H = (i_D^{L,H} - i^P) \cdot (1 - \beta_{npl}^H) \cdot L_D^H + (i^P - i_D^{Dep,H}) \cdot Dep_D^{H,sav} + i^P \cdot Dep_D^{H,cur} \quad (268)$$

Le modèle obtenu constitue un système d'équations différentielles algébriques, représentant un système d'équations différentielles à 84 dimensions.

1.2 Fondements théoriques du modèle

Le modèle GEMMES s'inscrit dans le cadre de la macroéconomie « postkeynésienne ». Cette dernière met l'accent sur le rôle actif de la monnaie dans l'économie, le rôle moteur de la demande effective à court et à long termes, l'incertitude radicale, la dépendance au sentier dans les déterminants de la trajectoire future de l'économie, le rôle de la répartition dans la dynamique économique.

Du point de vue méthodologique, l'économie postkeynésienne accorde une importance particulière au principe de la monnaie et accepte principalement les hypothèses suivantes (Michalis & Gennaro, 2017) :

- ✓ La rétroaction entre la sphère réelle et la sphère financière
- ✓ Les déséquilibres des marchés
- ✓ L'importance de la demande effective
- ✓ Le cadre comptable cohérent, soulignant les interactions entre les stocks et les flux

1.2.1 La rétroaction entre la sphère réelle et la sphère financière

La principale caractéristique et le principal avantage de l'approche SFC consistent à fournir un cadre permettant de traiter les aspects réels et financiers de l'économie d'une manière intégrée. Dans le contexte d'une économie capitaliste contemporaine, la compréhension du comportement de l'économie réelle est intrinsèquement liée au rôle déterminant du marché financier, englobant les marchés monétaires, obligataires et d'actifs (Michalis & Gennaro, 2017).

L'intégration des stocks dans ces modèles est intéressante notamment pour les variables financières par la prise en compte de l'environnement et la conciliation des deux traditions keynésiennes de la monnaie flux (financement de l'économie) et de la monnaie stock (préférence pour la liquidité) (Mickaël & Edwin, 2014). Ces modèles permettent donc de développer une analyse monétaire post keynésienne complète qui intègre de façon cohérente la monnaie-stock et la monnaie-flux. Cette singularité apporte une consistance à la modélisation et permet d'interconnecter les différentes variables.

1.2.2 Les déséquilibres des marchés

Les modèles Stock-Flux Cohérents sont des modèles de croissance en déséquilibre, où les marchés se caractérisent par des déséquilibres permanents.

Les ajustements sur les marchés ne se font pas obligatoirement par les prix, mais également par les quantités (stocks d'inventures, déficit budgétaire, chômage). Les processus d'ajustement des quantités et des prix fonctionnent en même temps avec des vitesses d'ajustement différentes, ce qui conduit à une situation de déséquilibre des marchés.

Dans le cadre de GEMMES, les marchés des biens et services dans les secteurs agroalimentaires et non alimentaires, ainsi que le marché des changes, sont caractérisés par le déséquilibre et s'ajustent autour du sentier d'équilibre de long terme.

La structure stock-flux cohérente du modèle est particulièrement adaptée pour étudier les déséquilibres externes, la vulnérabilité des pays aux crises financières et les canaux macro environnementaux qui peuvent propager les dommages environnementaux, car le modèle suit non seulement l'évolution des déséquilibres du compte courant et les premiers effets négatifs des dommages climatiques sur la balance commerciale, mais aussi l'exposition brute aux risques financiers externes, qui est généralement négligée lors de l'évaluation des déséquilibres externes (Borio & Disyata, Global imbalances and the financial Crisis: Link or No Link?, 2011) (Borio & Disyat, 2015). Cette dernière est explicitement suivie par la position d'investissement international endogène, ainsi que par la dynamique des réserves de change disponibles.

1.2.3 Rôle actif de la monnaie

Les modèles SFC intègrent une demande de monnaie endogène dérivée de la demande effective des entreprises. L'offre de crédits est déterminée par le concept de « préférence pour la liquidité ». Les banques appliquent un rationnement des crédits à leur clientèle afin de respecter leurs exigences de réserves en devises et de maintenir leur solvabilité.

Les entreprises financent leurs investissements **souhaités** en utilisant à la fois les bénéfices non distribués et les crédits bancaires. Elles visent à financer une part constante de leurs besoins totaux par le biais de prêts en devises.

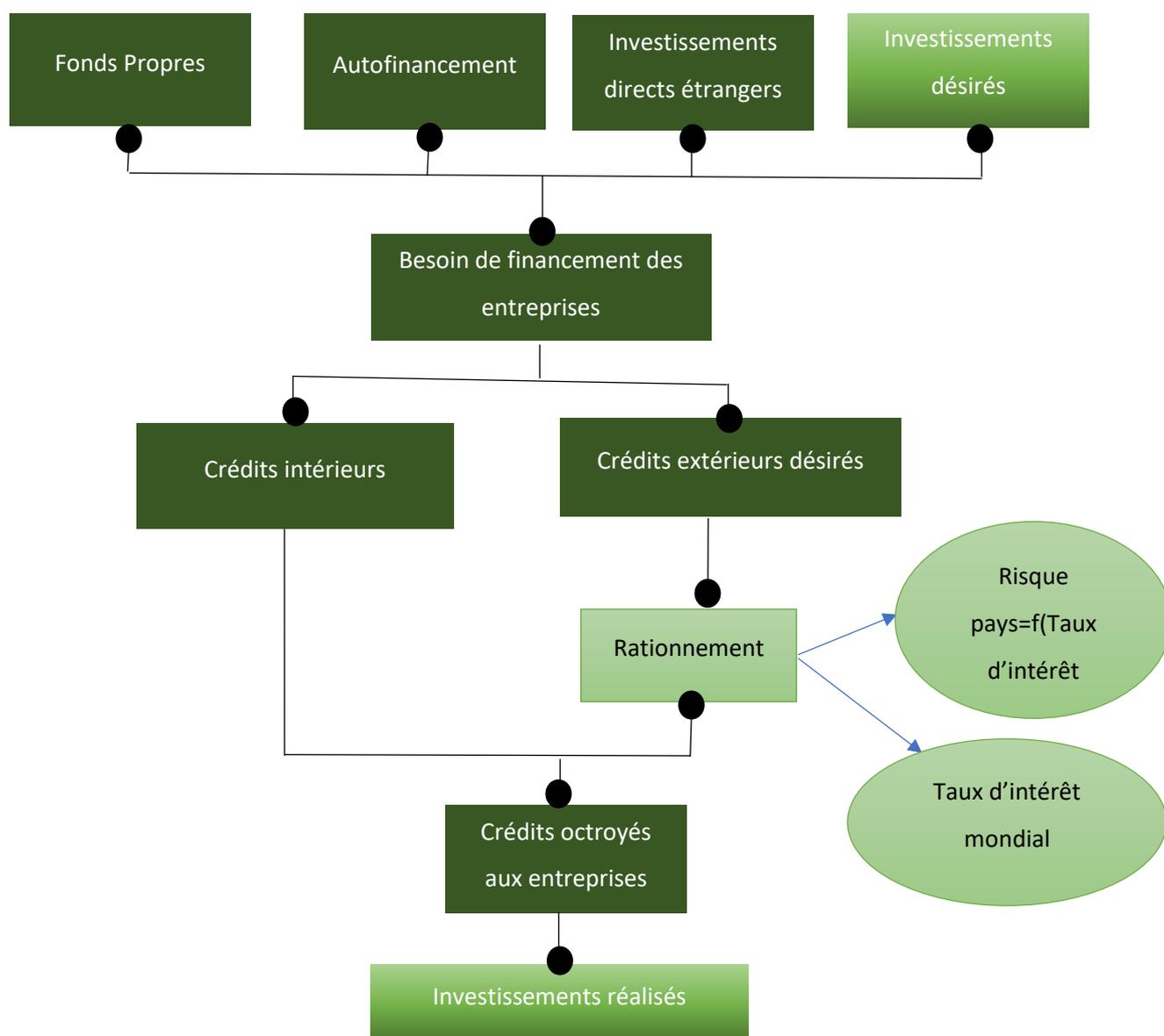
Dans le modèle, l'offre de crédit en devises est rationnée et seule une proportion du crédit souhaité est fournie par le secteur bancaire. Le risque-pays est une variable clé qui détermine la disponibilité de crédit et la liquidité du marché des prêts en devises. À son tour, le risque pays est une fonction convexe de la position extérieure globale du pays, soulignant la sensibilité d'une petite économie comme la Tunisie à la viabilité de la dette extérieure perçue par les investisseurs internationaux.

Les taux d'intérêts des crédits sont fixés sous la forme d'une prime par rapport aux coûts moyens de financement, qui est une moyenne pondérée des intérêts sur les dépôts et du taux directeur de la banque centrale.

Le reste des besoins de financement est comblé par l'obtention de crédits intérieurs en monnaie locale. Le taux d'intérêt cible appliqué sur les crédits intérieurs dépend de la prime par rapport au coût moyen de financement. La prime intérieure dépend à son tour du ratio de la dette à l'excédent brut d'exploitation des banques.

L'investissement final **réalisé** dépend donc des conditions du marché du crédit et de l'offre de crédit.

Figure 7 : Financement de l'investissement des sociétés non financières



1.2.4 Cadre comptable cohérent

Les modèles SFC reposent sur « un cadre comptable cohérent, qui prend en compte non seulement les emplois et ressources pour les flux de revenu, mais également les changements dans les stocks d'actifs physiques et financiers qui sont associés à ces flux » (Godley, & Lavoie, 2012). Cette approche en termes de relation stock flux est issue de la logique postkeynésienne. Il s'agit là d'une différence fondamentale avec les autres méthodes de modélisation macroéconomique qui n'intègrent généralement que les variables de flux.

La modélisation SFC consiste à représenter une économie dans un cadre rigoureux s'appuyant sur le principe que « tout vient de quelque part et va quelque part » (Goldey & Lavoie, 2007), tout en différenciant les variables de stock et de flux.

On peut identifier quatre grands principes comptables de la modélisation macroéconomique du SFC (Mickaël & Edwin, 2014):

- ✓ Cohérence des flux : Chaque flux monétaire vient de quelque part et va quelque part. Par conséquent, il n'y a pas de "trous noirs" dans le système.
- ✓ Cohérence des stocks : Les engagements financiers d'un agent ou d'un secteur sont les actifs financiers d'un autre agent ou d'un autre secteur.
- ✓ Cohérence stock-flux : Chaque flux implique la variation d'un ou plusieurs stocks. Les comptes de flux sont étroitement liés aux comptes de patrimoine qui sont présentés dans la matrice des bilans qui synthétisent le compte patrimoine des agents économiques retenus dans le modèle. La variation des actifs ou des passifs financiers des secteurs institutionnels induit une hausse ou une baisse des valeurs des stocks ainsi que le bilan de chaque agent économique, permettant d'établir la position financière nette de l'économie tunisienne.
- ✓ Entrée quadruple : toute transaction implique une quadruple entrée dans la comptabilité. La comptabilité en partie double a été introduite par Morris Copeland (1947, 1949). Elle relie les différents types de cohérence comptable et garantit donc la cohérence du système dans son ensemble.

Le cadre comptable est construit sur l'ensemble complet du revenu national, y compris la distribution secondaire des revenus, les flux de fonds et les bilans, ce qui garantit la cohérence et l'homogénéité des équations de comportement incluses dans le modèle.

1.3 Cadre comptable et structure du modèle

Le cadre comptable du modèle se base sur deux matrices ; la matrice des transactions-flux (TFM) et la matrice des bilans.

La première matrice illustre la configuration globale du modèle, où les différentes lignes représentent les divers flux et transactions réels et financiers en circulation dans l'économie, fixant ainsi le point initial du modèle.

La principale source de données utilisée pour construire cette matrice est la base de données des statistiques financières internationales (IFS) qui comprend les actifs et

les passifs annuels des sociétés de dépôts et de la Banque centrale de la Tunisie de 2000 à 2017. Pour le compte extérieur et le bilan des administrations publiques, les données de la position extérieure globale, ainsi que des données des finances publiques, ont été utilisées.

Tableau 5 : Sources des données utilisées dans le modèle

Source	Base de données
Institut National de la Statistique	Tableau des Comptes Economiques Intégrés, Tableau des Entrées-Sorties, Enquête Emploi.
Banque Centrale de la Tunisie	Balance des paiements, Position Extérieure Globale, Etat de de Résultat des Banques, Dette extérieure, Taux d'intérêts, Taux de change, Crédits intérieurs.
Observatoire National de l'Agriculture	Production des produits agricoles en Tonnes, Prix des produits agricoles.
Ministère des Finances	Dette publique, Recettes et dépenses.
Institut National de la Météorologie	Température moyenne, Précipitations.
Fonds Monétaire International	Financial Soundness Indicators, Intégratéd Monetary Statistics, Bilan des banques et de la BCT.
Groningen Growth and Development Centre	Penn World Table (Productivité du travail des pays partenaires).
Nations Unies/Division des Statistiques	UN Comtrade /World International Trade Solution (Imports et exports par produit en quantité et en valeur).

Ces deux matrices décrivent l'état initial de l'économie. L'année de référence choisie est 2017, compte tenu de la disponibilité des données de la comptabilité nationale, notamment le tableau des comptes économiques intégrés (TCEI) et le tableau d'entrées sorties (TES).

Tableau 6 : Matrice des transactions Flux du modèle GEMMES-Tunisie

	Agriculture		Non-Agricultural NFC		Households	Banks	C. Bank	Government	RoW	Σ
	Current	Capital	Current	Capital						
Agricultural Consumption	C_{nom}^A									0
Processed food Cons.			C_{nom}^{PF}		$-C_{nom}^{PF}$					0
NFC Consumption			C_{nom}^{NF}		$-C_{nom}^{NF}$					0
Agricultural Margins	$-MRG^A$		$+MRG^A$							0
Investment		$-I_{A,nom}^{NF}$	$+I_{nom}^{NF}$	$-I_{F,nom}^{NF}$	$-I_{H,nom}^{NF}$			$-I_{G,nom}^{NF}$		0
Imports	$-IM_N^A$		$-IM_{NF}^{PF} - IM_{NF}^{NF}$						$+IM_{nom}$	0
Exports	$+X_{nom}^A$		$+X_{nom}^{NF} + X_{nom}^{PF}$					$-X_{nom}$		0
Agricultural Intermediate Consumption	$+IC_{PF,NF,G,nom}^A$		$-IC_{PF,NF,nom}^{NF}$					$-IC_{G,nom}^A$		0
Processed Food Intermediate Consumption	$-IC_{PF}^A$		$+IC_{PF}^{NF}$					$-IC_{PF,nom}^A$		0
NFC Intermediate Consumption	$-IC_{NF}^A$		$+IC_{NF}^{NF}$					$-IC_{NF,nom}^A$		0
Wages	W_{BA}^A		$-W_B^F$		$+W_B$	$-IC_{B,nom}^{NF}$		$-W_B^G$		0
Employers' Social Contributions	$-ESC^A$		$-ESC^F$			$-ESC^B$		$+ESC - ESC^G$		0
Value Added Taxes	$-VAT^A$		$-VAT^F$					$+VAT$		0
Other Taxes	$-Otaxes^A$		$-Otaxes^F$					$+Otaxes$		0
Import Taxes	$-TIM^A$		$-TIM^F$					$+TIM$		0
Subsidies	$+sub^A$		$+sub^F$					$-sub$		0
Taxes on production	$-Tpr^A$		$-Tpr^F$			$-Tpr^B$		$+Tpr$		0
Gross Operating Surplus Distribution	$-MIA^A$		$-GOS^F$		$+MIA + GOS^H$					[0]
Interest on Deposits			$+IntD^F$		$+IntDH^F$	$-IntD$				0
Interest on Domestic Loans	$-IntL_D^A$		$-IntL_D^F$		$-IntL_D^H$	$+IntL_D$				0
Interest on NFC FX Loans			$-IntL_{B,FX}^F$			$+IntL_{B,FX}^H$				0
Interest on Direct FX Loans						$-IntL_{D,FX}^H$				0
Interest on Bonds					$+IntB^H$		$+IntBCB$	$-IntL_{D,FX}^G$	$+IntL_{D,FX}$	0
Commissions	$-Com^A$		$-Com^F$		$-Com^H$	$+Com$		$-IntB$		0
Insurance	$-Ins^A$		$-Ins^F$		$-Ins^H$	$+Ins$				0
Interest on Advances						$-IntA$	$+IntA$			0
Remittances					$+Rem$				$-Rem$	0
Central Bank Profits							$-FCB$	$+FCB$		0
Taxes on Income and Profits	$-T^A$		$-T^F$		$-T^H$	$-T^B$		$+T$		0
Social Contributions					$-WSC$			$+WSC$		0
Social Benefits					$+GE$			$-GE$		0
Transfers			$-Transf_G^F$		$+Transf_G^H$	$-Transf_G^B$	$-Transf_G^{CB}$	$+Transf_G$	$-Transf_G^W$	0
Bank Dividends					$+Div_B^H$	$-Div_B^B$		$+Div_B^G$	$+Div_B^W$	0
NFC Dividends			$-Div^F$		$+Div^H$			$+Div^G$	$+Div^W$	0
Retained Earnings		$+RE^A$		$+RE^F$		$+RE^B$	0			[RE]
[Capital]		$[K^A]$		$[K^F]$	$[K^H]$			$[K^G]$		$[K]$
[Inventories]				$[V^F]$						$[V^F]$
Domestic Currency Deposits			$+Dep_D^F$		$+Dep_D^H$	$-Dep_D$			$+Dep_D^W$	0
FX Deposits			$+Dep_{FX}^F \cdot e^N$		$+Dep_{FX}^H \cdot e^N$	$-Dep_{FX} \cdot e^N$			$+Dep_{FX}^W \cdot e^N$	0
Gov Deposits at the CB							$-Dep_{G,cur}$	$+Dep_{G,cur}$		0
Domestic Currency Loans	$-L_D^A$		$-L_D^F$		$-L^H$	$+L_D$				0
Bonds					$+B_H^G$	$+B_G^B$	$+B_{CB}^G$	$-B^G$		0
Advances					$-Ad$	$+Ad$				0
Foreign Direct Investment			$-FDI^F \cdot e^N$			$-FDI^B \cdot e^N$			$+FDI^W \cdot e^N$	0
Domestic Currency Reserves					$+R_D$	$+R_D$	$-R_D$			0
Banks FX Reserves					$+R_{FX}^H \cdot e^N$	$+R_{FX}^B \cdot e^N$	$-R_{FX}^G \cdot e^N$			0
FX Reserves							$+R_{FX} \cdot e^N$		$-R_{FX}^W \cdot e^N$	0
Intermediate FX Loans			$-L_{FX}^F \cdot e^N$			$+L_{FX}^H \cdot e^N$				0
RoW FX Loans						$-L_{FX}^B \cdot e^N$		$-L_{FX}^{Tot} \cdot e^N$	$+L_{FX}^W \cdot e^N$	0
Σ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

1.4 Données et calibrage des paramètres

L'adaptation du modèle aux spécificités de l'économie tunisienne a été réalisée en deux étapes. La première étape consiste à construire les matrices empiriques du modèle à partir des données de l'économie tunisienne. Cette étape permet de définir l'état initial de l'économie qui correspond à la situation économique pendant l'année de référence 2017.

La deuxième étape est la détermination des paramètres des différentes formes fonctionnelles du modèle. Pour ce faire, certains paramètres ont été déterminés à partir des données de la comptabilité nationale et des tableaux Input-Output.

Ce fût le cas des différentes taxes sur la valeur ajoutée (TVA), sur les importations ou sur les exportations des différents produits considérés, les paramètres relatifs aux marges de transport et les marges commerciales nécessaires pour le calcul des indices des prix à la consommation, ainsi que la détermination des coefficients techniques par secteur.

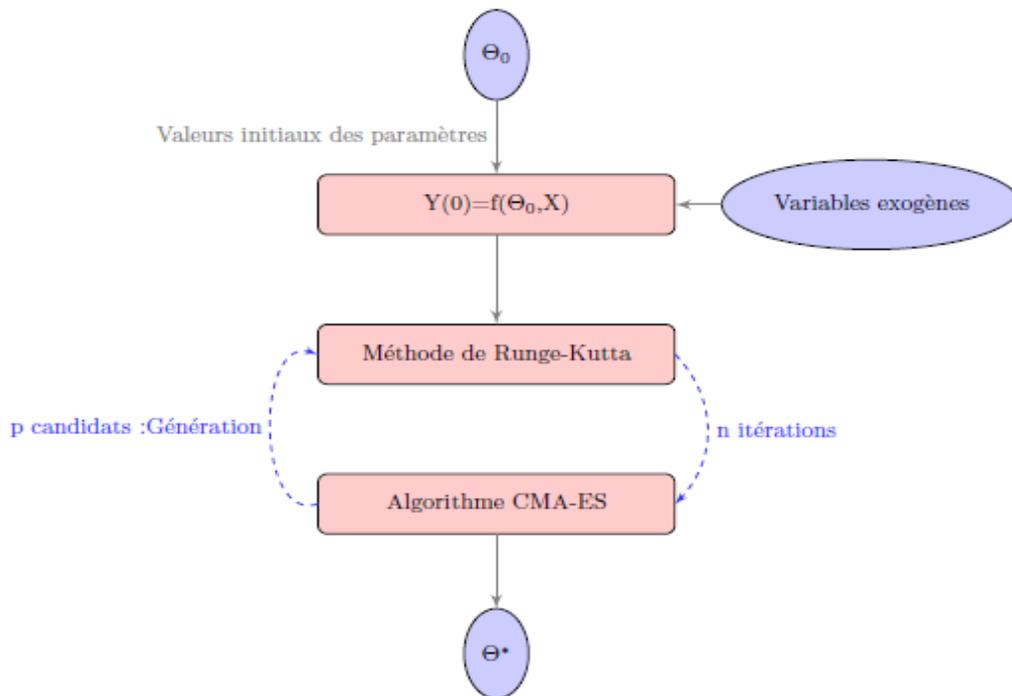
Les autres paramètres qui traduisent, par exemple, les comportements de consommation, de production, des importations, des exportations et de politique monétaire ont été estimés de manière à répliquer les évolutions des variables macroéconomiques dans le passé.

L'insuffisance de données disponibles et de séries longues et fiables pour certaines variables nous a amené à déterminer certains paramètres à partir d'une revue de la littérature.

Étant donné que le modèle est un système d'équations non linéaires et à temps continu, la méthode d'estimation choisie est la stratégie d'évolution de l'adaptation de la matrice de covariance (CMA-ES), qui est un algorithme d'optimisation numérique stochastique et évolutif qui minimise la distance entre la variable endogène observée et celle calculée avec les paramètres estimés.

Il s'agit d'une méthode d'optimisation appropriée pour la résolution des systèmes d'équations différentielles complexes et non linéaires. CMA-ES : Covariance Matrix Adaptation-Evolution Strategies : Le processus d'estimation est défini selon le schéma suivant :

Figure 8 : Processus d'estimation des paramètres



Le CMA-ES est un algorithme d'optimisation stochastique et évolutif approprié pour l'étalonnage de systèmes complexes et non linéaires d'équations différentielles, car il permet une exploration efficace de l'espace des paramètres. La procédure itérative utilisée dans les processus d'estimation est la suivante :

- Une fonction objective est définie, mesurant la différence entre les prévisions du modèle et les données réelles.
- Ensuite, l'espace des paramètres est défini à travers une plage de valeurs plausibles. Un vecteur de valeurs de paramètres est initialisé de manière aléatoire, et le système est simulé à l'aide d'une méthode de Runge-Kutta d'ordre 4¹³.
- Les solutions candidates sont évaluées en fonction de leur ajustement, et les matrices de moyenne et de covariance de la distribution des paramètres sont mises à jour.
- Enfin, un nouveau vecteur de paramètres est choisi à partir de la distribution mise à jour. Les deux dernières étapes sont répétées jusqu'à ce que

¹³ La méthode de Runge-Kutta d'ordre 4 est un algorithme numérique couramment utilisé pour résoudre les équations différentielles ordinaires.

l'algorithme converge vers une solution objective qui correspond à un optimum minimum (Nikolaus , 2012).

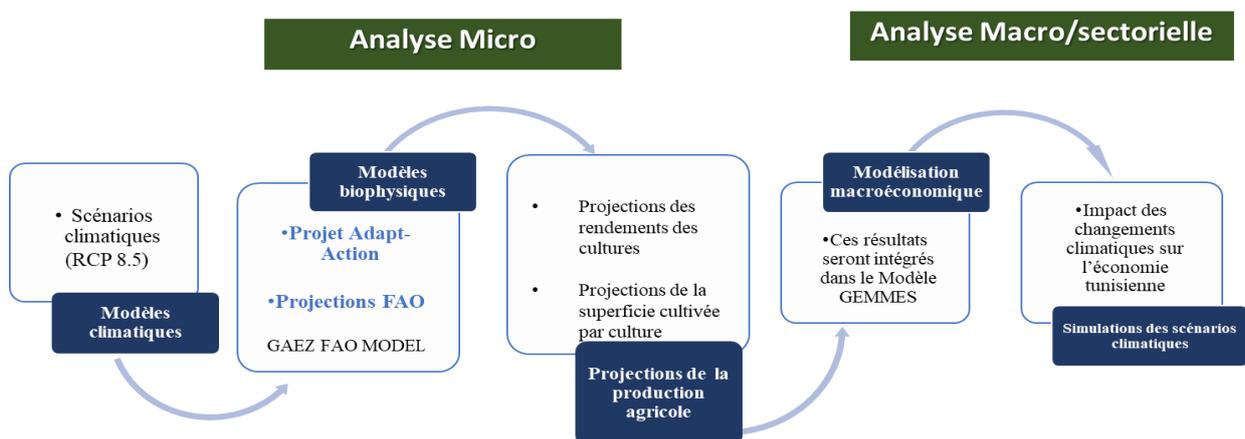
Appliqué à la Tunisie, le calibrage des paramètres a nécessité des données annuelles couvrant la période 2003-2017. Sur la base des séries temporelles disponibles, le modèle a d'abord été divisé en blocs. Chaque bloc comprend des relations comportementales sous forme d'équations d'état qui décrivent la dynamique du modèle et des identités comptables sous forme d'équations de mesure qui garantissent la cohérence comptable du modèle.

En utilisant une approche par blocs et en tenant compte des données disponibles, l'estimation des paramètres a été réalisée pour cinq blocs liés à la production et les prix dans les secteurs des industries alimentaires et le secteur des biens non alimentaires, la consommation, les importations, les exportations et les crédits non performants.

1.5 Méthodologie d'évaluation

La méthodologie suivie est basée ainsi sur quatre étapes. La première étape consiste à l'analyse des projections de la production des différentes cultures et les superficies cultivées à l'horizon 2050 selon le scénario climatique RCP 8.5.

Figure 9 : Méthodologie d'évaluation



Ensuite, nous différencions la production domestique de chaque type de produit destiné à la consommation finale des ménages, à la consommation intermédiaire des entreprises et à l'exportation, et ce à partir du tableau Entrées-Sorties de l'année 2017.

La troisième étape consiste à établir des hypothèses relatives à l'évolution des différentes variables exogènes du modèle à l'horizon 2050. Enfin, la dernière étape est l'évaluation et la simulation des scénarios établis.

La méthodologie d'évaluation des impacts du changement climatique ainsi que celle des politiques d'adaptation est un couplage de deux types de modèles. **Le premier type est un modèle biophysique** qui, à partir des simulations des scénarios climatiques, permet d'évaluer les impacts du changement climatique sur les rendements des cultures et les aires d'aptitude correspondantes.

Dans le cadre de cette étude, les impacts du changement climatique sur la production agricole ont été quantifiés par le biais des projections élaborées dans le cadre du projet Adapt-Action (Deandres, et al., 2021) pour les cultures des céréales, des olives et le secteur de la pêche.

De surcroît, un modèle de simulation des cultures a été aussi considéré. Il s'agit du modèle "Global Agro-Ecological Zones », un outil d'aide à la décision, développé par le FAO en partenariat avec l'IIASA, pour quantifier la productivité anticipée des cultures et estimer le potentiel de la production agricole irriguée et pluviale, tout en tenant compte des conditions du climat, des sols et de technologies (Günther Fischer).

Les projections établies sont utilisées pour déterminer l'évolution future de plusieurs produits agricoles qui ne sont pas étudiés dans le cadre du projet Adapt-Action, à savoir les dattes, les agrumes, les tomates, les pommes de terre et la production animale bovine, ovine et caprine.

Le deuxième type de modèle est un modèle macroéconomique, qui vise l'analyse des répercussions des impacts physiques sur le plan macroéconomique et financier. Il permet ainsi de comprendre les interactions entre le climat, la biodiversité et la macroéconomie.

2. Perspectives de l'économie tunisienne à l'horizon 2050 en l'absence des politiques d'adaptation

Afin d'évaluer les coûts socio-économiques de l'inaction face au changement climatique, plusieurs scénarios ont été élaborés : un scénario Business As Usual (BAU) et deux scénarios de changement climatique.

Le scénario Business As Usual est un scénario tendanciel dans lequel on suppose une continuité des tendances passées de la production agricole sur les deux dernières décennies en conservant la politique actuelle. Dans ce scénario, l'évolution future de la production des différentes cultures correspond au scénario « BAU » établi dans le cadre des projections de l'Organisation Mondiale de l'Alimentation (FAO, 2018).

Quant aux deux scénarios climatiques, ils correspondent à deux variantes du scénario climatique RCP 8.5. Ce dernier a été défini par le GIEC comme celui d'un "futur sans régulation des émissions, menant à environ 5°C de réchauffement global d'ici la fin du siècle". Il a été considéré, selon l'Institut National de la Météorologie, le scénario le plus pessimiste, mais aussi le plus probabiliste du pays vu qu'il se rapproche le mieux aux tendances actuelles.

Les différents scénarios sont basés sur un seul scénario démographique. La croissance de la population retenue est en moyenne de 0.7% sur toute la période de projection. Ainsi, la population tunisienne augmenterait de 38.8% entre 2017 et 2050, passant de 11 304,483milles à 15 698,423 milles habitants.

Les hypothèses macroéconomiques portent sur la croissance de la productivité domestique et celle des pays partenaires de la Tunisie, du PIB mondial et l'inflation des produits alimentaires et non alimentaires à l'échelle internationale.

Concernant les hypothèses sur la conjoncture internationale, le taux de croissance du PIB mondial est supposé égal à sa moyenne sur les deux dernières décennies, soit 3% dans tous les scénarios retenus. Les taux de croissance de la productivité du travail nationale et étrangère sont présumés égaux, à raison de 1.5% par an pendant la période de projection.

Quant à l'évolution des prix internationaux des produits agricoles importés destinés à la consommation finale des ménages ou à la consommation intermédiaire des entreprises, les hypothèses relatives au scénario RCPLI¹⁴ supposent une inflation stable en moyenne annuelle de 3%, ainsi que celle des autres produits non alimentaires. Ces niveaux d'inflation restent les mêmes pour le scénario BAU et RCPLI. Tandis que dans le scénario RCPHI¹⁵, le niveau d'inflation mondiale des produits agro-alimentaires sera supérieur de 2.5 points, soit 5.5% en moyenne par an

¹⁴ RCPLI : Climate Change Scenario with Low Inflation.

¹⁵ RCPHI : Climate Change Scenario with High Inflation.

entre 2018 et 2050. Le tableau suivant synthétise les différentes hypothèses sous-jacentes des scénarios simulés :

Tableau 7 : Hypothèses des scénarios simulés

Valeur moyenne sur la période 2018-2050	Tendanciel	RCP 8.5 + Inflation modérée	RCP 8.5 + inflation élevée
	BAU	RCPLI	RCPHI
Inflation des produits non alimentaires importés	3%	3%	3%
Inflation des produits IAA importés	3%	3%	5.5%
Inflation des produits agricoles importés pour la consommation	3%	3%	5.5%
Inflation des produits agricoles importés pour la consommation intermédiaire	3%	3%	5.5%
Taux de croissance de la productivité domestique	1.5%	1.5%	1.5%
Taux de croissance de la productivité des pays partenaires	1.5%	1.5%	1.5%
Taux de croissance du PIB mondial	3%	3%	3%

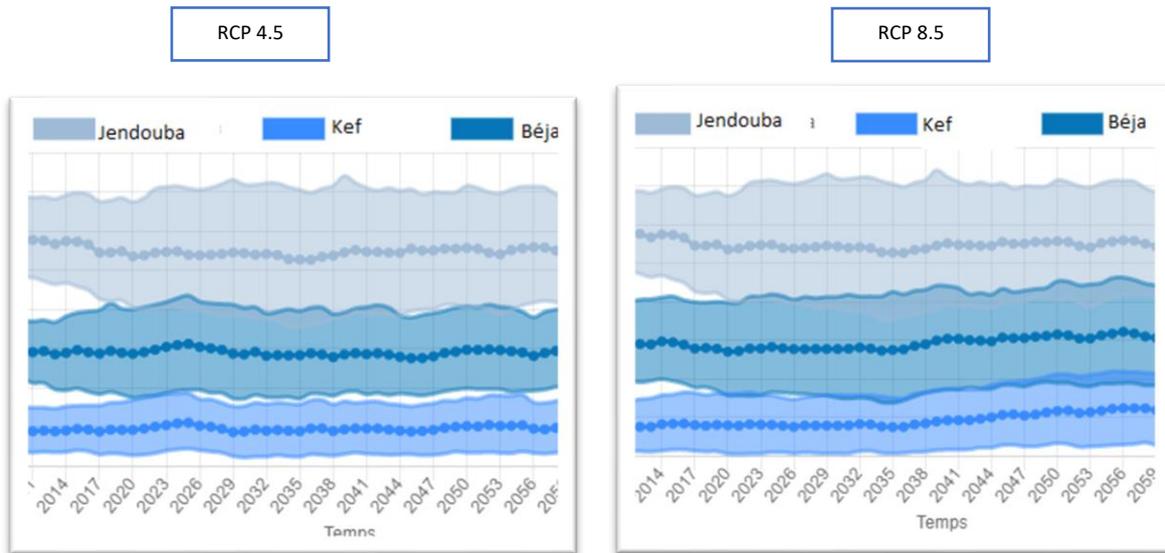
2.1 Impacts du changement climatique sur le secteur agricole

Les projections montrent une forte régression des principaux produits destinés à l'exportation, à savoir les dattes et les olives. La production des dattes baisserait en moyenne de 2% par an tandis que les pertes annuelles de production des olives seraient en moyenne de 2.3% entre 2022 et 2050.

L'évolution des céréales, dont 95 % sont situés au Nord-Ouest (Gouvernorats de Kef, Béja et Jendouba) serait en régression continue, avec une évolution de -0.1% sur la période de projection. L'évolution interannuelle de ces cultures est caractérisée par une forte volatilité qui s'intensifie à partir de 2035 à cause de la hausse de la fréquence et la durée des fortes précipitations entre 2035 et 2050.

En effet, suite à la hausse des fortes précipitations (>40 mm) durant cette période, notamment dans les gouvernorats de Béja et Jendouba qui accaparent plus de 40% de la production nationale, la production des céréales s'accroîtrait entre 2046 et 2050, ce qui pourrait expliquer les taux de croissance positifs de la production du blé dur, du blé tendre et de l'orge durant les trois derniers quinquennats.

Figure 10 : Evolution du nombre de jours de précipitations >40 mm dans les gouvernorats de Béja et Jendouba entre 1999 et 2100



Source : Institut National de la Météorologie

Pour l'agriculture irriguée, la production des cultures maraichères, serait la plus touchée par le changement climatique. La production des tomates accuserait une forte régression, avec un taux d'accroissement annuel moyen de -1.8% par an entre 2020 et 2050. La production des pommes de terre serait également affectée, son volume diminuerait de 0.7% par an par rapport à son niveau enregistré en 2020. La production des agrumes serait aussi en régression mais à un rythme moins élevé, enregistrant une baisse de 0.2% sur les trois prochaines décennies.

Quant à l'élevage, les projections montrent que la production animale serait fortement touchée par la baisse future des précipitations et la hausse de la température suite à la baisse prévue des parcours pastoraux. En effet, selon le scénario climatique RCP 8.5, la production ovine, caprine et bovine enregistrerait une baisse allant de 0.3% à 0.9% entre 2022 et 2050. En revanche, la production de la volaille connaîtrait une tendance haussière, avec un taux de croissance annuel moyen de +0.4% sur la période de projection.

S'agissant de la pêche, l'impact du changement climatique serait à double sens.

Selon (MedECC , 2019), l'impact du changement climatique des espèces méditerranéennes est contrasté. Il souligne que :

« Sous l'effet du réchauffement des eaux et de la stratification (eau persistante à la surface), le peuplement des poissons en Méditerranée est potentiellement menacé par le changement climatique à court, moyen et long terme. Les principales causes sont :

- Une « méridionalisation » : remontée des espèces méditerranéennes du sud du bassin vers le nord (la girelle paon, par exemple) et déplacement du bassin oriental vers l'occidental (le barracuda). À l'opposé, des espèces d'affinité d'eau froide (le sprat, par exemple) pourraient disparaître ;
- Un milieu plus favorable à l'épanouissement d'espèces d'origine tropicale, en provenance de l'océan Atlantique, de la mer Rouge ou encore de l'océan Indien. Ces espèces invasives peuvent pénétrer seules en Méditerranée par le détroit de Gibraltar, par exemple, ou profiter de l'aide de l'homme pour se déplacer (canal de Suez, transport par bateaux, aquaculture, aquariums...). »

Ainsi, l'impact global sur le secteur de la pêche en Tunisie dépend de l'impact différencié sur chaque type d'espèce halieutique et son importance dans la production totale.

Dans les différents scénarios réalisés dans cette étude, l'hypothèse retenue consiste à une stagnation de la production de la pêche sur toute la période de projection étant donné la non disponibilité des projections par nature de ressources hydrauliques.

La production agricole totale est mesurée par la somme de la production de tous les produits agricoles identifiés, multipliée par leurs prix correspondants de l'année de référence (2017).

Selon le scénario BAU, la production agricole continue à s'accroître avec un taux d'accroissement annuel moyen de 1% sur toute la période de projection.

Selon le scénario RCP 8.5, la baisse des rendements des différentes cultures produites en Tunisie combinée à la baisse des superficies cultivées correspondantes, entraînerait une baisse de la production du secteur de l'agriculture et de la pêche qui se ralentirait considérablement, passant d'un taux de croissance annuel moyen de 2.8% entre 2017 et 2021 à -0.7% jusqu'à 2030, -0.6% entre 2031 et 2040 et -0.2% entre 2041 et 2050.

Tableau 8 : Evolution de la production agricole en volume (aux prix constants de 2017)

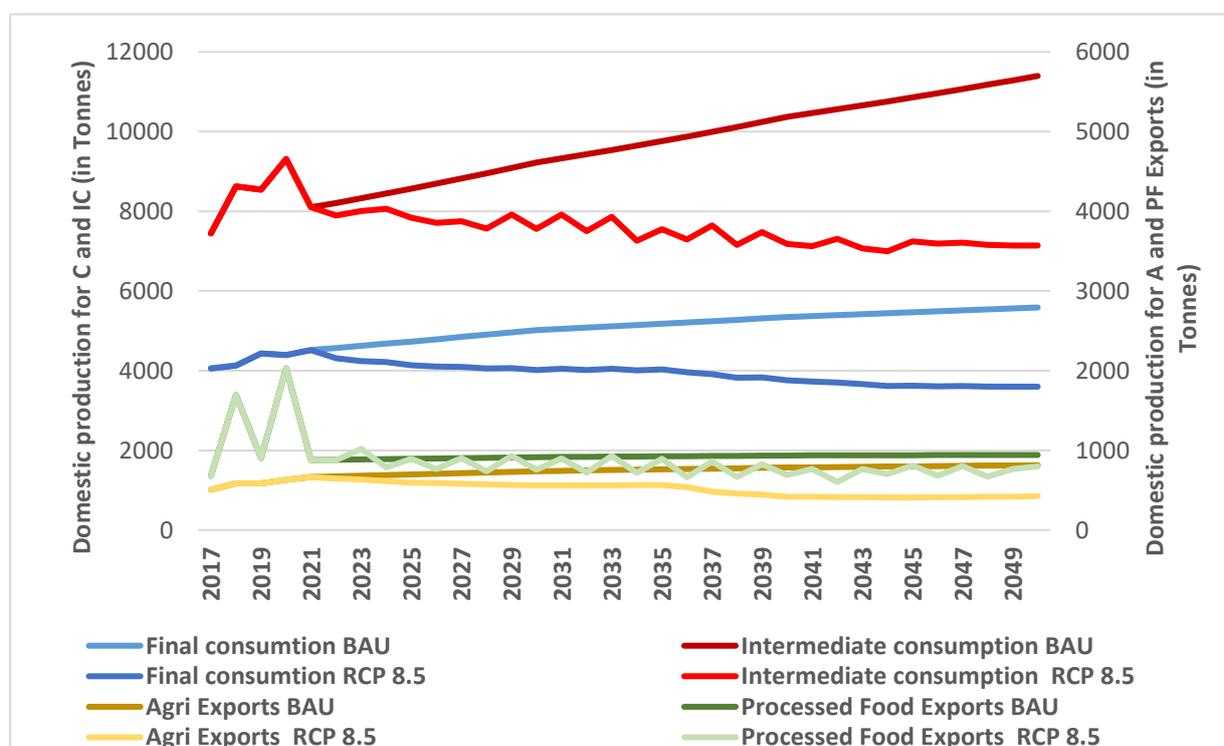
	Scénario	2018-2021	2022-2030	2030-2040	2040-2050	2023-2050
Production agricole aux prix constants de 2017 (en MDT)	BAU	13281,0	14982,4	16496,9	17794,2	17794,2
	RCP 8.5	13281,0	12138,9	11358,5	11167,2	11167,2
Taux d'accroissement annuel moyen	BAU	2,8	1,4	1,0	0,8	1,01
	RCP 8.5	2,8	-0,7	-0,6	-0,2	-0,57

Source : FAO, Adapt 'Action, Calcul des auteurs

Répartie par type d'utilisation, en comparaison à la période de référence 2017-2021, la baisse de la production locale destinée à l'exportation serait la plus importante due à la baisse considérable de la production des olives et des dattes à l'horizon 2050, suivie par la production domestique destinée à la consommation intermédiaire, dont notamment les tomates et la production animale.

Les séries de la production domestique projetée, répartie par type d'utilisation, selon les scénarios Business as Usual (BAU) qui correspondent au scénario RCP 6.0 et les deux scénarios climatiques RCPLI et RCPHI qui correspondent au scénario RCP 8.5 sont présentées dans le graphique ci-dessous.

Figure 11 : Projections de la production domestique par type d'utilisation



Source : Compilation auteurs

A moyen et long terme, La baisse de la production agricole nationale aurait des répercussions significatives sur l'économie nationale à travers plusieurs canaux de transmission. Cette baisse de production conduirait à une réduction de l'emploi dans les secteurs agricole et agroalimentaire, ce qui diminuerait le revenu des ménages et entraînerait une baisse de leur consommation réelle globale.

En outre, la baisse de la production agricole conduirait à une augmentation des importations alimentaires, notamment dans le scénario RCPHI avec une inflation mondiale élevée des prix alimentaires. Cela se traduirait par une demande accrue de devises étrangères pour financer le déficit commercial, partiellement compensée par l'emprunt en devises étrangères du secteur public. Malgré cela, le taux de change nominal se déprécierait plus rapidement, entraînant une hausse plus importante de l'inflation.

Par ailleurs, elle entraînerait une hausse des taux d'intérêt réels et des coûts de financement de la dette, ce qui réduirait à la fois la consommation et l'investissement. La dépréciation réelle du taux de change, bien que réduisant la propension à importer des biens non alimentaires, stimulerait la demande d'exportation de ces biens. Cependant, bien que cela compenserait légèrement les effets négatifs sur la consommation et l'investissement, le chômage global augmenterait significativement en raison de la diminution de l'emploi dans le secteur agricole et agroalimentaire, malgré une augmentation de l'emploi dans d'autres secteurs.

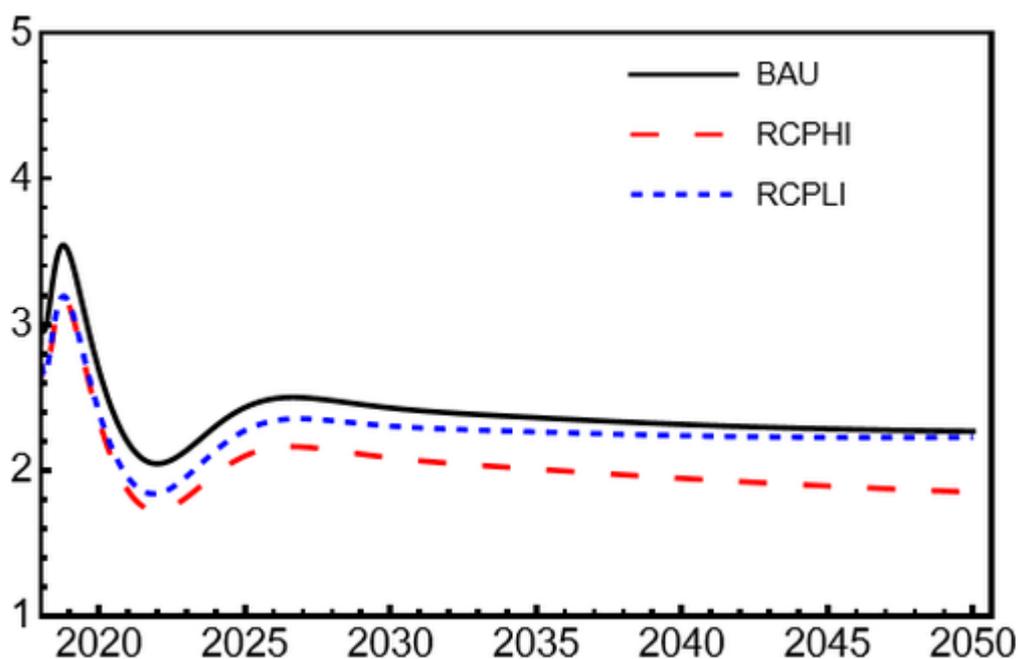
Elle impacterait les exportations agro-alimentaires, entraînerait une augmentation des importations pour satisfaire la demande intérieure croissante et induirait une diminution de l'emploi et des revenus dans le secteur agricole. De plus, cela pourrait entraîner une baisse de la consommation réelle, en particulier des denrées alimentaires, ce qui accentuerait les prix alimentaires et influencerait les habitudes de consommation. Enfin, cette situation pourrait nécessiter un accroissement de l'emprunt en devises du secteur public pour combler le déficit commercial, ce qui aggraverait l'inflation et perturberait l'équilibre économique global.

2.2 Coûts macroéconomiques de l'inaction face au changement climatique

Les résultats des impacts du changement climatique sur l'économie tunisienne varient considérablement selon les scénarios simulés.

Au cours de la période de projection, les résultats montrent que les impacts des changements climatiques se traduisent par des réductions totales du PIB, en comparaison avec le scénario BAU, de l'ordre de -3.9% selon le scénario RCPLI et -9.9% selon le scénario RCPHI. A l'horizon 2050, le taux de croissance économique se stabiliserait respectivement à 2.3%, 2.2% et 1.8% selon les scénarios BAU, RCPLI et RCPHI.

Figure 13 : Evolution de la croissance économique à l'horizon 2050 selon les scénarios

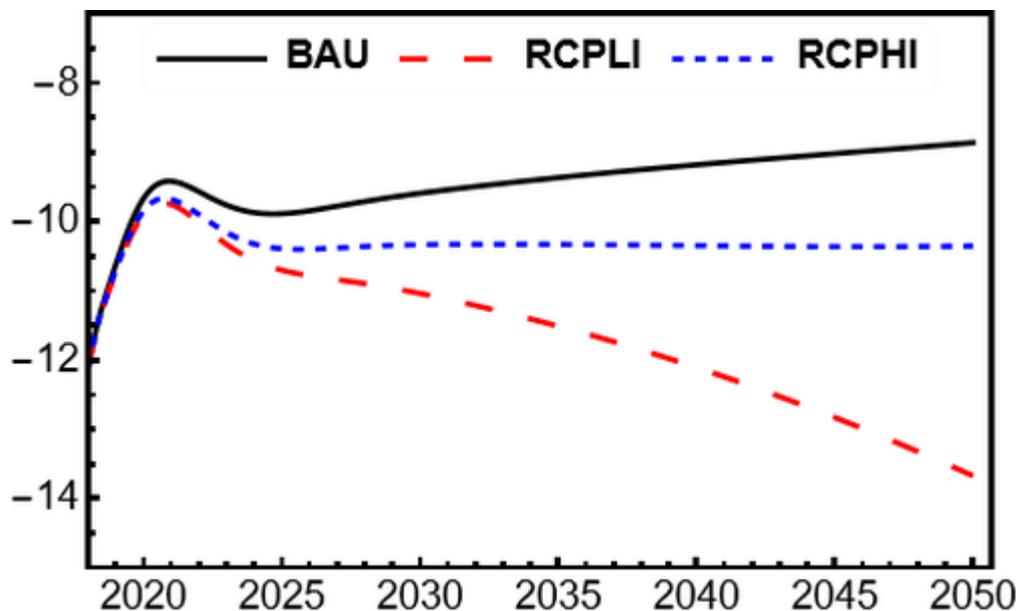


Source : Compilation auteurs

Selon le scénario BAU, la balance alimentaire enregistrerait un déficit structurel, passant de 1.9% du PIB en 2018 à 4.3% en 2050. Cette évolution résulte d'une croissance des importations des produits agro-alimentaires supérieure à la croissance des exportations. Sous l'effet seul du changement climatique (RCPLI), le déficit de la balance alimentaire s'aggraverait suite, d'une part, à la baisse des exportations et, d'autre part, à un fort dynamisme des importations pour combler l'écart grandissant entre la demande intérieure et la production nationale.

Ainsi, le déficit commercial devrait atteindre, selon le scénario RCPLI, 10.35% en 2050, contre 8.86% selon le scénario BAU.

Figure 14 : Evolution de la balance commerciale en % du PIB



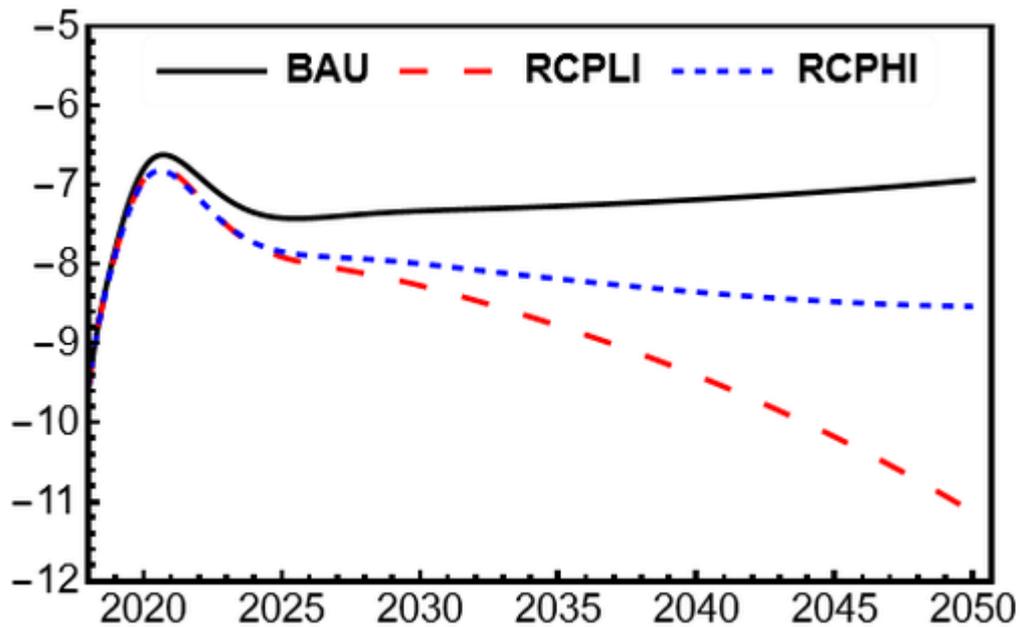
Source : Compilation auteurs

Selon le scénario RCPHI où l'inflation mondiale des produits alimentaires s'élèverait de 3% à 5.5% sur la période de projection, la Tunisie connaîtrait une détérioration plus accentuée de la balance alimentaire dont le déficit atteindrait 13.7% du PIB à l'horizon 2050. Cela s'explique par la hausse de la valeur des importations alimentaires suite à la hausse des prix internationaux. Quant aux exportations, la hausse des prix à l'exportation, par le biais de l'hypothèse d'un terme de l'échange constant par produit, serait contrecarrée par la baisse des exportations en volume due au changement climatique.

Par ailleurs, l'évolution future du solde commercial se répercuterait négativement sur le solde courant, qui s'aggraverait et atteindrait ainsi des niveaux élevés en % du PIB compris entre -8.1% et -11.1 selon les scénarios du changement climatique respectifs RCPLI et RCPHI, soit un écart relatif de +23% et +60% par rapport au scénario BAU.

Notons que selon le scénario Business as Usual, il y aurait une amélioration du déficit courant qui passerait de 9.6% en % du PIB en 2018 à 6.9% du PIB en 2050.

Figure 15 : Evolution de la balance courante en % du PIB selon les scénarios



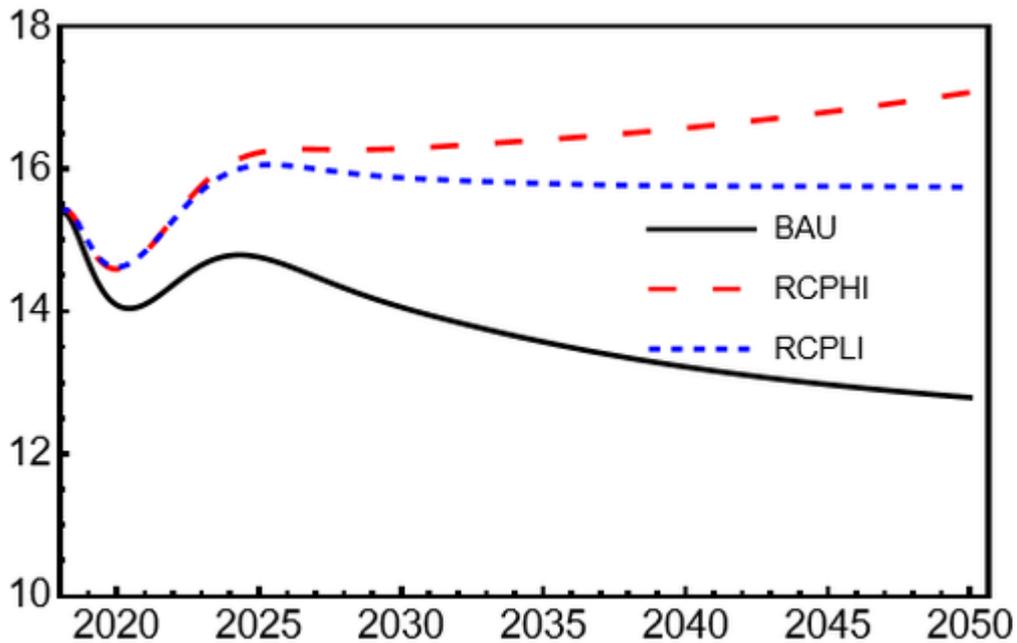
Source : Compilation auteurs

Sur le marché du travail, les pertes d'emploi dans le secteur agricole s'accroîtraient en lien avec la forte contraction prévue de l'activité agricole. Les scénarios climatiques prévoient la destruction de 216 mille emplois agricoles d'ici 2050. Cela pourrait entraîner une hausse de la pauvreté dans le milieu rural et une accentuation de la migration vers les zones urbaines.

En parallèle, la population active continuerait à augmenter sous l'effet de la croissance démographique et l'amélioration des niveaux d'instruction des jeunes tunisiens.

En conséquence, le taux de chômage prévu de baisser à 12.5% dans le scénario BAU, resterait élevé en se stabilisant à 16% jusqu'à 2050.

Figure 16 : Evolution du taux de chômage à moyen et long terme



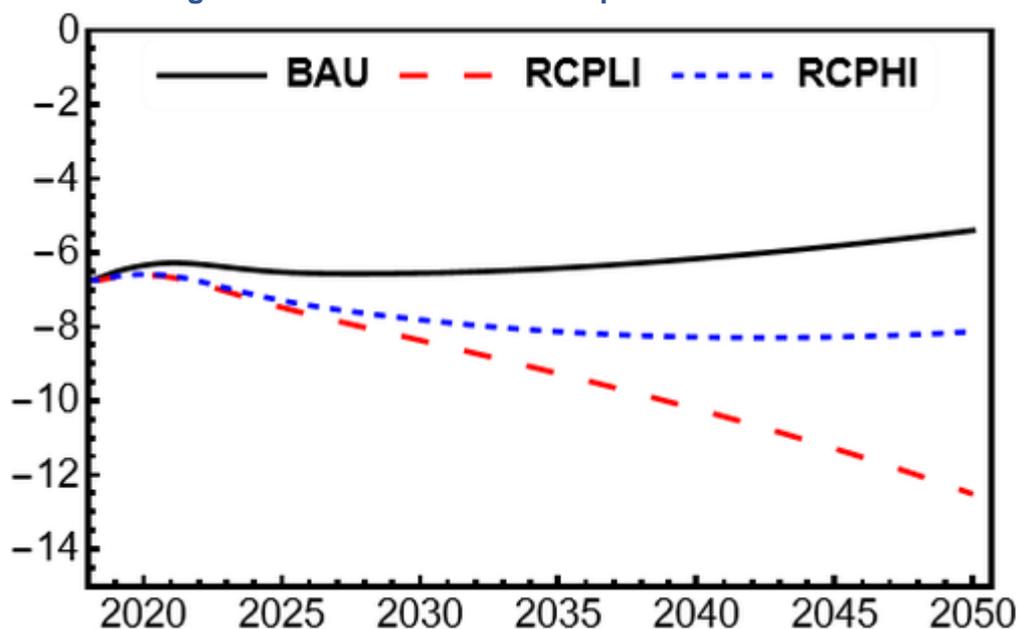
Source : Compilation auteurs

Selon le scénario pessimiste RCPHI, une accélération de l'inflation mondiale tend à rehausser l'inflation domestique. Ce qui entrainerait une hausse des salaires qui s'ajustent aux niveaux des prix. Les entreprises répercuteraient cette hausse des coûts de travail sur le volume d'emploi, d'où une baisse plus importante de l'emploi total.

Ainsi, le taux de chômage augmenterait progressivement pour atteindre 17% en 2050. Il en résulte une réduction du revenu des ménages tunisiens, notamment dans le milieu rural, dont l'activité principale est l'agriculture. Ceci pourrait engendrer une hausse de la pauvreté et encourager la migration des jeunes tunisiens vers les zones urbaines et à l'étranger.

Par ailleurs, avec la forte augmentation du chômage et la hausse importante des subventions agricoles due à l'inflation importée, le déficit public atteindrait des niveaux alarmants en raison de la baisse des recettes fiscales et de l'augmentation des dépenses publiques sous forme de subventions alimentaires et de transferts sociaux.

Figure 17 : Evolution du déficit public en % du PIB



Source : Compilation auteurs

Le graphique ci-dessus montre que, selon le scénario BAU, le déficit public se réduirait, passant de 6.8% en 2018 à 4.5% en 2050. Tandis que les scénarios de changement climatiques indiquent un creusement de ce déficit qui dépasserait 12% en 2050 (RCPHI).

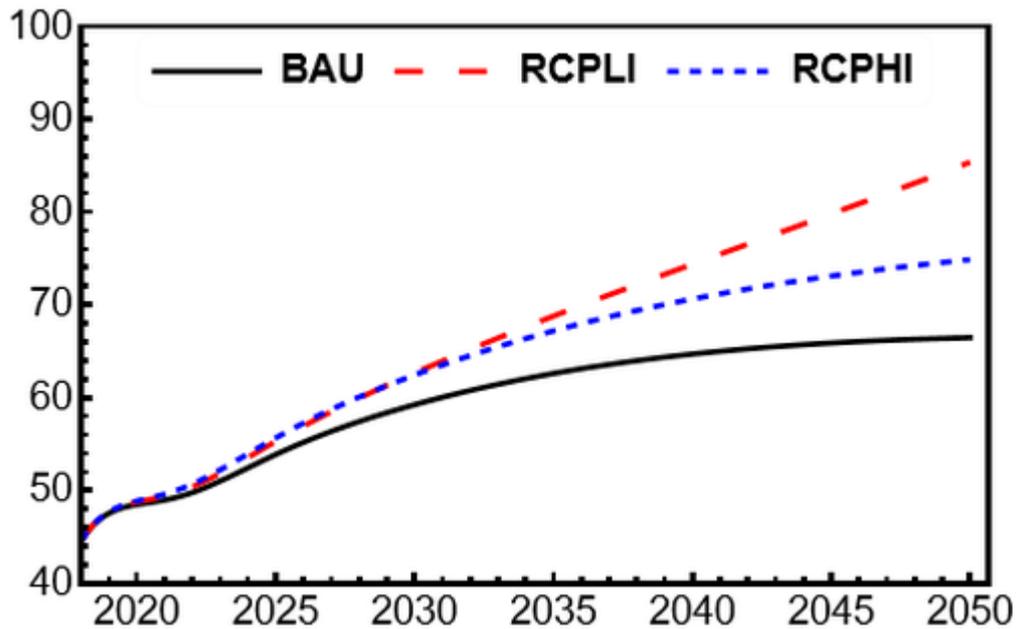
Cela se traduirait par une hausse importante de la dette publique, actuellement élevée et qui pourrait atteindre entre 140% et 160% à l'horizon 2050 selon les niveaux d'inflation mondiale des produits agricoles.

Au niveau de l'endettement total, les répercussions négatives du changement climatique sur la balance commerciale et la dette publique augmenteraient les besoins de financement de l'économie tunisienne.

Notons que nous n'avons pas imposé de rationnement des emprunts en devises du gouvernement, et que la demande accrue de devises causée par des déficits commerciaux plus élevés serait couverte par des crédits extérieurs.

L'Etat tunisien va ainsi recourir à l'endettement extérieur afin de couvrir ses besoins de financement à moyen et long terme. Par conséquent, la dette extérieure augmenterait et atteindrait respectivement des niveaux de 70% et 80% selon les scénarios RCPLI et RCPHI en pourcentage du PIB.

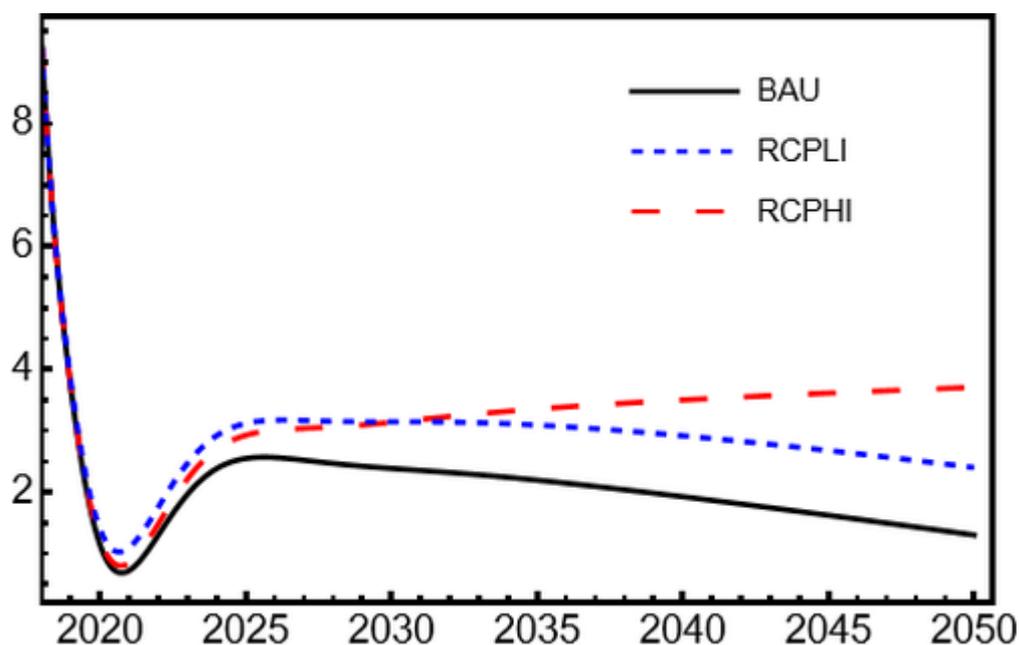
Figure 18 : Evolution de la dette publique extérieure



Source : Compilation auteurs

Dans ce contexte économique caractérisé par la détérioration de la balance commerciale et la hausse de la dette extérieure, le taux de change nominal du Dinar Tunisien vis-à-vis du Dollar américain devrait se déprécier fortement sous l'hypothèse du changement climatique par rapport au scénario BAU. Une telle dépréciation est remarquablement perçue entre 2040 et 2050 sous l'effet de la dégradation importante de la balance courante au cours de la même période. En effet, le Dinar Tunisien se déprécierait de plus de 3% selon le scénario RCPLI. Cette dévaluation dépasserait 4% si l'inflation des produits agro-alimentaires importés s'élèverait à 5.5% au lieu de 3%. Quant au scénario BAU, l'évolution du taux de change nominal montre une stabilité financière beaucoup plus importante à moyen et long terme, enregistrant des taux de variation faibles et quasi-stables du taux de change compris entre 1.5% et 2% jusqu'à 2050.

Figure 19 : Evolution du taux de change nominal selon les scénarios simulés

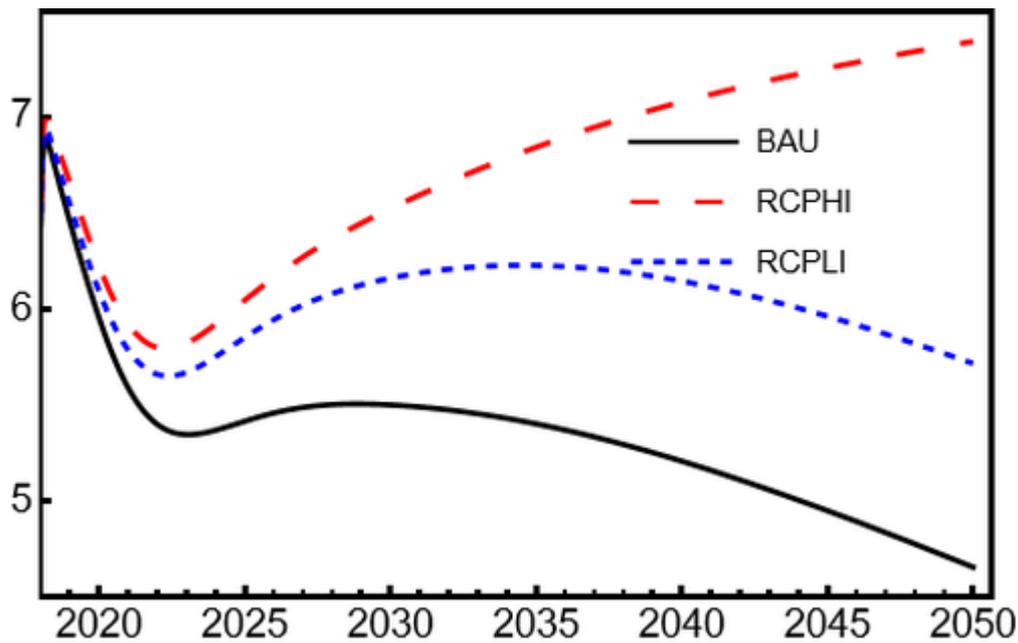


Source : Compilation auteurs

En parallèle, selon ce scénario, la quasi-stabilité du taux de change serait associée à un taux d'inflation faible, ne dépassant guère 4.4% en fin de période.

Cependant, dans les scénarios climatiques simulés, la dépréciation du taux de change introduirait une hausse importante des prix domestiques à court, moyen et long terme. L'inflation atteindrait un niveau dépassant ainsi 6% jusqu'à 2035 puis elle se ralentirait à 5.5% en moyenne. Sous l'hypothèse d'une inflation des prix internationaux des denrées alimentaires de 5.5%, le niveau d'inflation demeurerait croissant et très élevé, atteignant 7.5% à l'horizon 2050.

Figure 20 : Evolution du taux d'inflation



Source : Compilation auteurs

Cette hausse provenant essentiellement de la hausse des prix des produits agro-alimentaires, dont l'inflation, enregistrerait une moyenne de 6.5% et 6% respectivement pour les produits agricoles et des produits agroalimentaires selon la première variante du scénario du changement climatique RCPLI. Les niveaux d'inflation seraient respectivement en moyenne de 9% pour les deux types de produits selon le scénario le plus pessimiste (RCPHI).

Figure 21 : Evolution de l'inflation des produits agricoles

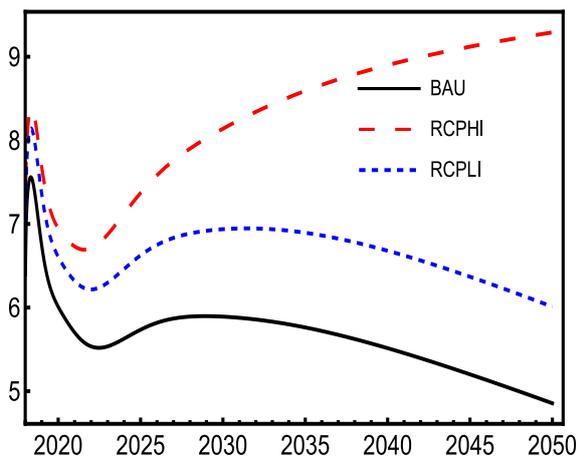
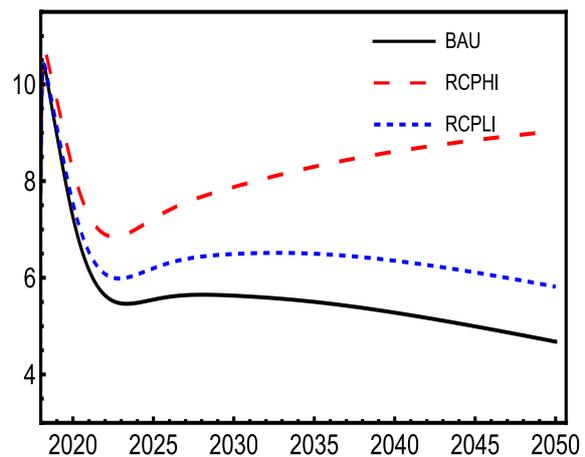


Figure 22 : Evolution de l'inflation des produits IAA



Source : Compilation auteurs

La persistance d'une inflation élevée, notamment des prix des produits alimentaires pourrait impacter négativement le pouvoir d'achat des ménages tunisiens. La Banque

Centrale de Tunisie, ciblant la stabilité des prix, rehausserait, à son tour, le taux d'intérêt directeur à des niveaux dépassant 10% dans le scénario RCPHI et 8% dans le scénario RCPLI.

Tableau 9 : Evolution des grandeurs macroéconomiques selon les scénarios climatiques (RCPHI et RCPLI) en niveau et en écart relatif par rapport au scénario tendanciel BAU

Année	En niveau			En écart relatif par rapport au scénario BAU	
	BAU	RCPHI	RCPLI	RCPHI/BAU	RCPLI/BAU
	PIB par habitant en \$ USD			PIB par habitant en \$ USD	
2030	4219,0	3814,5	4061,4	-10%	-4%
2040	5086,1	4195,0	4811,9	-18%	-5%
2050	6157,6	4579,9	5765,2	-26%	-6%
	Taux d'inflation (en %)			Taux d'inflation	
2030	5,50	6,52	6,16	19%	12%
2040	5,21	7,08	6,14	36%	18%
2050	4,66	7,39	5,72	59%	23%
	Taux de chômage (en %)			Taux de chômage	
2030	14,1	16,3	15,9	16%	13%
2040	13,2	16,6	15,8	25%	19%
2050	12,8	17,1	15,7	33%	23%
	Balance commerciale en % du PIB			Balance commerciale en % du PIB	
2030	-9,6	-11,0	-10,3	15%	8%
2040	-9,2	-12,1	-10,3	32%	13%
2050	-8,9	-13,7	-10,4	54%	17%
	Déficit budgétaire en % du PIB			Déficit budgétaire en % du PIB	
2030	6,6	8,4	7,8	28%	19%
2040	6,2	10,2	8,3	66%	34%
2050	5,4	12,5	8,1	132%	51%
	Dettes publiques extérieures en % du PIB			Dettes publiques extérieures en % du PIB	
2030	59,2	62,6	62,4	6%	5%
2040	64,7	74,4	70,6	15%	9%
2050	66,5	85,4	74,9	28%	13%
	Balance courante en % du PIB			Dettes publiques en % du PIB	
2030	-7,3	-8,3	-8,0	9%	8%
2040	-7,2	-9,4	-8,4	25%	16%
2050	-6,9	-11,1	-8,5	50%	25%

Il est évident que les répercussions socio-économiques du changement climatique seraient considérables pour l'économie tunisienne. Les simulations révèlent ainsi l'importance et l'urgence des politiques d'adaptation, ainsi que le rôle substantiel du

secteur agricole dans la sécurité alimentaire et le développement durable de la Tunisie. Les solutions d'adaptation sont étroitement liées aux priorités économiques du pays et à sa capacité de financement.

Ainsi, choisir entre plusieurs mesures d'adaptation nécessite une évaluation des coûts et des avantages résultant de l'investissement public ou privé correspondant à chaque type de politiques d'adaptation envisagées pour la Tunisie.

3. Enjeux d'adaptation au changement climatique : Evaluation des coûts et des bénéfices socio-économiques à l'horizon 2050

Face aux pertes de production agricole causées par le changement climatique en Tunisie à moyen et long terme et ses conséquences lourdes sur l'économie tunisienne, plusieurs questions se posent :

- Comment peut-on inverser la trajectoire de la production agricole et s'adapter au changement climatique ?
- La Tunisie serait-elle en mesure de ramener la croissance du secteur de l'agriculture et de la pêche à son niveau tendanciel ?
- Quels sont les investissements nécessaires et leurs apports en termes de production additionnelle ?
- Quels sont les Co-bénéfices des mesures d'adaptation sur le plan économique et social et le besoin de financement climatique nécessaire pour la mise en œuvre de ces politiques d'adaptation ?

Pour répondre à ces questions, un deuxième type de simulations a été effectué afin d'évaluer les bénéfices des actions climatiques d'adaptation sur l'économie tunisienne, et ce, à travers une projection des gains de production agricole des différentes politiques d'adaptation envisagées.

3.1 Politiques d'adaptation du secteur agricole en Tunisie

Les politiques d'adaptation de l'agriculture tunisienne se sont articulées autour de quatre domaines d'interventions : la production agricole, la biodiversité et les écosystèmes, la terre et les ressources en eau (HEAT GmbH, ACTERRA Environnement, Climat, 2022).

Concernant la production agricole, l'accent a été mis sur l'amélioration de la production des cultures notamment le blé dur, les dattes, les olives et la préservation de

l'agrosystème. L'objectif stratégique est d'améliorer le rendement de l'agriculture avec ses composantes irriguée, pluviale et oasienne. Les mesures proposées consistent à promouvoir des systèmes de production durables à travers l'adaptation des nouvelles variétés, des espèces et des races plus résilientes au changement climatique (HEAT GmbH, ACTERRA Environnement, Climat, 2022).

C'est dans ce cadre que s'inscrit la gestion de la demande des produits alimentaires qui visent la réduction des pertes et du gaspillage. L'étude réalisée par l'Institut National de la Consommation a montré qu'en Tunisie 900 milles unités de pain sont gaspillées par jour, soit une valeur de 100 millions de dinars par an. Sachant que le tunisien consomme en moyenne 70 kg/an de pains qui valent en moyenne 200 dinars/ménage/an. L'étude souligne que cette consommation est élevée par rapport à la moyenne de la consommation dans les pays de la Méditerranée. A titre d'exemple, en France, la consommation moyenne de pain est de 58 kg/personne/an tandis qu'en Algérie, elle est de 60kg/personne/an (Institut National de la Consommation, 2017).

Dans le domaine des ressources naturelles (l'eau et la terre), l'objectif de la stratégie est la valorisation des potentialités naturelles et ce, afin d'atteindre la neutralité de la dégradation des terres et de réhabiliter les sols et améliorer leur capacité de rétention.

Quant au secteur de l'eau, les politiques d'adaptation ciblent les objectifs suivants :

- Renforcer l'efficience d'utilisation de l'eau dans le secteur agricole : L'étude de l'ONAGRI souligne que la valorisation de l'eau passe par une maîtrise des gaspillages, comme par une augmentation de la productivité de l'eau d'irrigation. Cette orientation intègre l'installation de la micro-irrigation qui permet d'augmenter les rendements et de diminuer les besoins en eau. La micro-irrigation comprend les micro-asperseurs, le goutte à goutte et l'irrigation goutte à goutte enterrée.
- Renforcer la mobilisation, le transfert et le stockage des ressources en eau par la mise en place de système de gestion et de valorisation des eaux de pluies (bassin de rétention, lac artificiel . . .), ainsi que la construction et réhabilitation d'ouvrages hydrauliques.

La stratégie « Eau 2050 » met en évidence la nécessité d'une mobilisation des ressources en eau de surface à moyen et long terme, notamment dans les régions du

sud de la Tunisie. La politique hydraulique de la Tunisie vise ainsi une mobilisation accrue des ressources en eau non conventionnelles issues principalement du traitement des eaux usées et du dessalement des eaux saumâtres et semi saumâtres afin de renforcer d'abord l'approvisionnement en eau potable et augmenter l'offre en eau pour le secteur agricole irrigué, ainsi que les autres activités économiques (Tourisme, Phosphate).

Dans ce cadre, plusieurs projets de dessalement à grande échelle sont en cours de réalisation dont on cite :

- Le projet de dessalement de Sfax mis en place à Gargour en 2021: Ce projet va permettre d'assurer l'approvisionnement en eau potable avec une capacité de 1000000 m³ par jour et qui pourrait atteindre 200 mille m³/jour d'ici 2035.
- La station de dessalement d'eau de mer à Sousse qui permettrait de dessaler près de 50 milles mètres cubes d'eau de mer par jour et pourrait atteindre 100 milles mètres cubes par jour.

Actuellement, le programme hydraulique vise l'approvisionnement de l'eau au profit des régions du Cap Bon, de Sfax et du Sahel. La capacité totale serait de 206 000 m³ par jour à l'horizon 2025.

3.2 Scénarios des politiques d'adaptation du secteur agricole simulés

L'exercice de simulation réalisé dans cette étude s'est basé sur les scénarios établis dans le cadre de la stratégie « Eau 2050 ». Cette stratégie a permis d'estimer le bilan hydrique de la Tunisie à l'horizon 2050 sur la base des scénarios économique, social et de gouvernance du secteur de l'eau.

Dans cette étude, deux scénarios de politiques d'adaptation du secteur de l'eau au changement climatique ont été choisis. Le premier scénario, appelé scénario de tendance renforcée (RTS), est un scénario tendanciel basé sur la gestion de la demande et orienté vers la recherche de l'équilibre hydrique.

En menant une gestion optimisée de l'offre disponible afin de préserver les ressources en eau qui vont diminuer suite au changement climatique, la croissance de la production agricole, qui utilise plus de 80% des ressources en eau, est limitée à 1 % par an afin de diminuer les prélèvements annuels et préserver les ressources en eau conventionnelles. La priorité d'approvisionnement est donnée pour l'eau potable. Les

autres secteurs économiques, l'industrie et les services, continuent leur tendance de croissance actuelle, tout en gardant les mêmes taux d'élasticité de la demande en eau par rapport à leur production.

Cependant, via des politiques d'économie d'eau et une optimisation de la demande du secteur agricole à travers des cultures moins consommatrices d'eau, l'élasticité de la production agricole par rapport à l'eau sera réduite de 0.3%, passant de 0.5% à 0.2%. Ainsi, les prélèvements annuels en eau à usage agricole ne seront que de 2780 millions de m³ (Mm³) à l'horizon 2050 contre 2682 Mm³ en 2020.

Du côté de l'offre, afin de mobiliser des ressources en eau additionnelles et réduire les impacts du changement climatique sur le secteur de l'eau, un ensemble de politiques hydrauliques ont été proposées afin de mobiliser un volume total d'eau de 4622 Mm³ en 2050. Les ressources conventionnelles représentent un volume total de 3745 Mm³ à travers des politiques d'économie d'eau sur les pertes de distribution, la réhabilitation des ouvrages existants et de leur maintenance.

Les ressources non conventionnelles seraient de 877 Mm³ en 2050 moyennant essentiellement la mise en place des stations de dessalement pour un volume de 752 Mm³ et le reste par la réutilisation des eaux usées. Le coût total des investissements hydrauliques a été estimé à 1.1% du PIB chaque année, avec une croissance moyenne de l'investissement public de 2% et une propension à importer des équipements beaucoup plus élevés, soit 60%. Cela s'explique par le volume des importations des technologies nécessaires dans la construction des stations de dessalement ou pour les stations d'épuration des eaux usées dont l'énergie utilisée est l'énergie solaire ((MARHP, GIZ,STUDI, Octobre 2022).

On suppose également que l'investissement public pour l'adaptation serait financé par des prêts en devises au taux fixe de 1,7%, équivalent au taux d'intérêt du prêt pour l'unité de dessalement de Sfax actuellement en construction (Japan International Coopération Agence, 2017).

Quant au scénario « Eau et Développement » (WDS), les politiques d'adaptation visent à la fois l'amélioration de l'offre des ressources en eau en quantité et en qualité et la gestion de la demande pour tous les secteurs économiques, notamment l'agriculture.

L'élasticité de la demande de tous les secteurs confondus serait de moins de 0.4, soit 0.1 selon WDS contre 0.5 (RTS) et 0.52 pendant l'année 2020.

Cette réduction de l'élasticité dans tous les secteurs économiques serait réalisée via une politique des prix qui vise une augmentation de la tarification de l'eau.

Pour le secteur agricole, la gestion des ressources en eau s'améliorerait encore plus menant à une élasticité réduite, atteignant 0,15, comparativement à 0,2 dans le scénario RTS.

Le tableau ci-dessous résume les hypothèses sous-jacentes des deux scénarios d'adaptation choisis :

Tableau 10 : Hypothèses sous-jacentes des scénarios d'adaptation

Composantes	Scénario DTS	Scénario WDS
Eau, infrastructures et équilibre hydrique		
Politiques d'offre	Une offre d'eau basée sur une gestion intégrée « eaux de surface / eaux souterraines », les eaux de surface assurant la régularité de l'approvisionnement et les eaux souterraines sa sécurité	Les capacités de mobilisation existantes sont réhabilitées et leur maintenance assurée. La gestion des nappes fait l'objet d'une nouvelle approche participative avec contribution de l'Etat par une politique de recharge systématique. L'apport des ressources non conventionnelles est plus important et mieux programmé avec des règles strictes quant à la qualité et aux impacts écologiques. ✓ La gouvernance est repensée profondément dans la décentralisation, l'autonomisation et la redevabilité
Politiques de demande	Une croissance modérée de la demande d'eau appuyée par un relèvement des tarifs jusqu'à refléter les coûts réels de mobilisation et une compétition sur le niveau de productivité de l'eau utilisée par les opérateurs économiques	Un scénario de stabilisation de la demande d'eau, par le biais de l'application d'un système de quota.
Secteur agricole	Une politique intégrée entre agriculture pluviale et agriculture irriguée et un appui spécifique à l'agriculture pluviale	L'agriculture bénéficie d'une priorité pour l'eau douce et les eaux usées traitées, le patrimoine naturel (zones humides) recueille une part de la ressource à hauteur des besoins de sa pérennité, l'eau potable servie de plus en plus par le dessalement

Composantes	Scénario DTS	Scénario WDS
Agriculture Irriguée	Le scénario d'adaptation 'faible' du secteur Irrigué , qui correspond à une situation où les réformes de l'approche de gouvernance n'ont pas été pleinement réfléchies et où le bilan hydrique n'est pas favorable à l'agriculture irriguée. Ce scénario peut conduire à une réduction des surfaces réellement irriguées à 350 mille à l'horizon 2030 et uniquement 300 mille en 2050, compte tenu de la faible rentabilité des activités agricoles et du risque qui leur est associé.	Le scénario d'adaptation 'forte' du secteur irrigué, nécessitant des réformes institutionnelles qui améliorent les rapports entre les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau et un climat favorable qui incite les producteurs agricoles à intensifier leurs systèmes de culture et à adhérer pleinement à des organisations de filières ; ce scénario peut raisonnablement aboutir à ce que les surfaces réellement irriguées atteignent les 500 mille ha d'ici 2030 et dépassent les 550 mille ha à l'horizon 2050 (y c les doubles cultures)
Ecosystèmes	La protection des écosystèmes est d'un niveau moyen et vise tout juste à stopper les phénomènes de dégradation des ressources naturelles et des espaces de vie en milieu urbain et en milieu rural	Les écosystèmes et les ressources, en particulier les nappes, bénéficient d'une politique déterminée et efficace pour renforcer leur résilience.
Réformes macroéconomiques	les réformes les plus importantes bien qu'identifiées et engagées, ne sont pas achevées	La politique macroéconomique met en œuvre rapidement les réformes nécessaires.
Recherche et Développement, Innovation	Un secteur de la recherche qui demeure désarticulé et sans apport significatif.	Un système d'innovation spécifique à l'eau est mis en place pour lier directement la recherche avec son environnement économique et les opérateurs.

Source : « Stratégie Eau 2050 » (STUDI INTERNATIONAL & GWK, Décembre 2020)

Du côté de l'offre, pour atteindre un taux de croissance élevé du secteur agricole de 3.5% par an, les prélèvements annuels à usage agricole devraient atteindre 3063 Mm³. L'approvisionnement de ces ressources serait réalisé à travers la réutilisation des eaux usées dont le volume total s'élève à 250 Mm³, soit deux fois le volume ciblé dans le scénario RTS.

Ainsi, les investissements totaux devraient se multiplier par deux, passant de 16002 MDT dans le scénario RTS à 30000 MDT dans le scénario WDS. Nous supposons dans ce cas que les investissements publics s'accroîtraient à un rythme beaucoup plus élevé que dans les scénarios précédents avec un taux de croissance de 4,5% (WDS) contre 2% dans les scénarios précédents. En outre, ces investissements dans la construction des stations de dessalement ou d'épuration des eaux usées nécessitent des investissements publics dans les infrastructures, la recherche et développement et les énergies renouvelables nécessaires pour le fonctionnement de ces stations.

Dans notre modèle, les investissements publics représentent un facteur clé de l'évolution de la productivité du travail qui, à son tour, déterminerait la croissance potentielle de l'économie à moyen et long terme.

Ainsi, l'accroissement des investissements publics dans les scénarios d'adaptation ferait progressivement augmenter le taux de croissance de la productivité du travail au-delà de 3 % par an d'ici 2050. Ceci est conforme à la littérature sur la croissance endogène présentée par (Yilmaz P.-R. A., 2013), et par le FMI (Xiao, 2019)¹⁶.

Quant au financement des politiques d'adaptation envisagées, l'hypothèse retenue dans cet exercice suppose un financement public-privé qui représente 1.1% du PIB par an.

3.3 Effets macroéconomiques des politiques d'adaptation au changement climatique

Les résultats des simulations montrent que le scénario de tendance renforcée (RTS) représente un scénario de relance modérée de l'économie tunisienne. Dans ce

¹⁶ Dans les modèles théoriques de croissance économique, le stock de capital public est un facteur direct de la fonction de production, contribuant ainsi à une croissance plus élevée de la productivité et du niveau de vie. Deuxièmement, les actifs d'infrastructure sont sujets à l'usure, d'où la nécessité d'examiner le stock de capital public net de dépréciation.
(https://www.imf.org/external/np/fad/publicinvestment/pdf/csupdate_aug19.pdf)

scénario qui suppose une croissance faible de la production agricole avec un focus sur la gestion de la demande en eau dans ce secteur, et toutes choses demeurant égales par ailleurs, l'impact économique serait assez limité et insuffisant pour remédier aux déséquilibres internes et externes du pays résultants du changement climatique.

Tableau 11 : Evolution des indicateurs macroéconomiques selon les scénarios d'adaptation RTS et WDS et en écart relatif par rapport au scénario climatique RCPHI

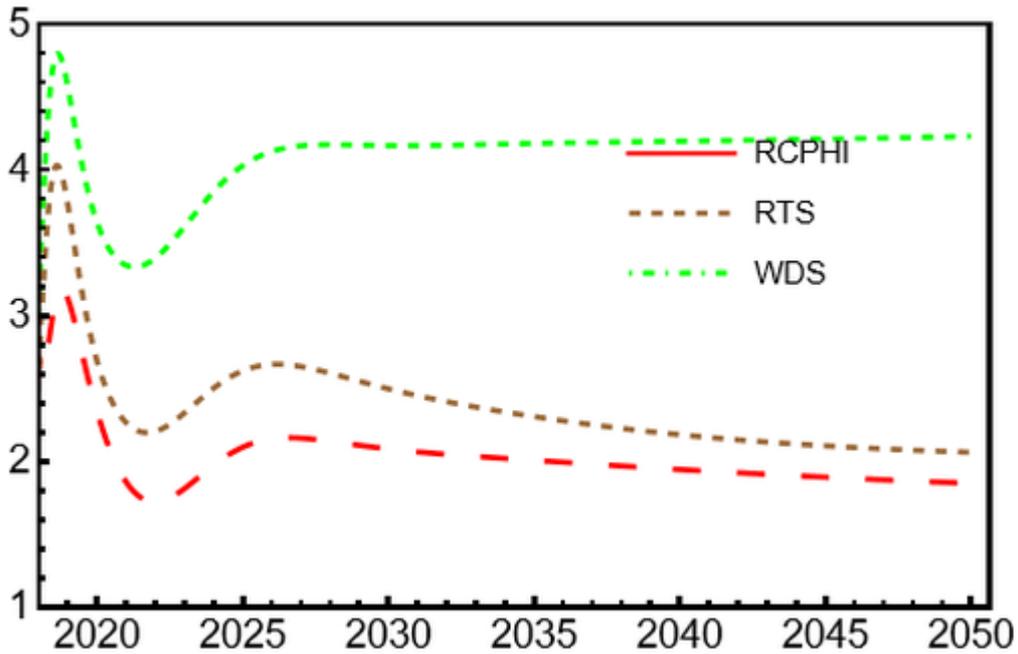
Année	En niveau		En écart relatif par rapport au scénario RCPHI	
	RTS	WDS	RTS/RCPHI	WDS/RCPHI
	PIB par habitant en \$ USD		PIB par habitant en \$ USD	
2030	3897,1	4637,3	2%	22%
2040	4396,9	6441,0	5%	54%
2050	4946,3	9048,6	8%	98%
	Taux d'inflation (en %)		Taux d'inflation (en %)	
2030	6,86	5,44	5%	-17%
2040	7,10	4,74	0%	-33%
2050	6,88	3,93	-7%	-47%
	Taux de chômage (en %)		Taux de chômage (en %)	
2030	11,8	10,3	-27%	-37%
2040	10,5	7,9	-36%	-52%
2050	10,5	6,1	-38%	-64%
	Balance commerciale en % du PIB		Balance commerciale en % du PIB	
2030	-11,4	-10,0	3%	-9%
2040	-11,4	-8,7	-6%	-28%
2050	-12,1	-7,7	-12%	-44%
	Déficit budgétaire en % du PIB		Déficit budgétaire en % du PIB	
2030	7,8	6,0	-7%	-28%
2040	8,6	4,8	-16%	-53%
2050	9,3	3,4	-26%	-73%
	Dettes publiques extérieures en % du PIB		Dettes publiques extérieures en % du PIB	
2030	75,7	64,7	21%	3%
2040	87,8	64,8	18%	-13%
2050	95,6	60,8	12%	-29%
	Balance courante en % du PIB		Balance courante en % du PIB	
2030	-9,7	-8,4	6%	-11%
2040	-10,2	-7,6	2%	-31%
2050	-11,0	-6,9	-5%	-50%

Source : Compilation auteurs

En effet, en comparaison avec le scénario climatique pessimiste présenté dans la section précédente, l'économie tunisienne gagnerait 0.5% par an en termes de

croissance selon le scénario TRS et 2 points de croissance selon le scénario WDS, et ce, conformément à la Stratégie Eau 2050.

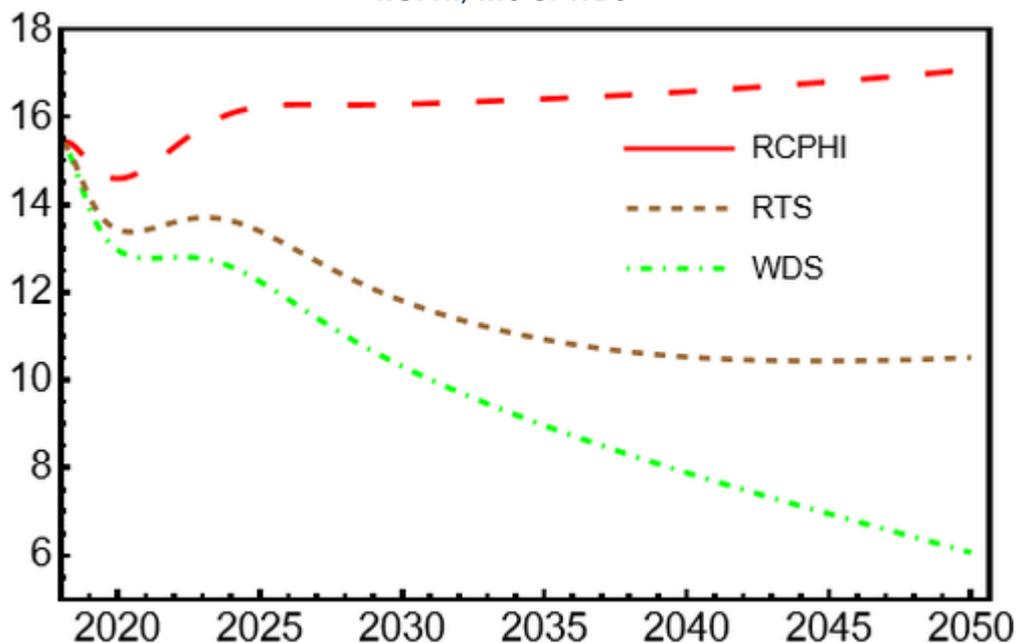
Figure 23 : Evolution du taux de croissance du PIB selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS



Source : Compilation auteurs

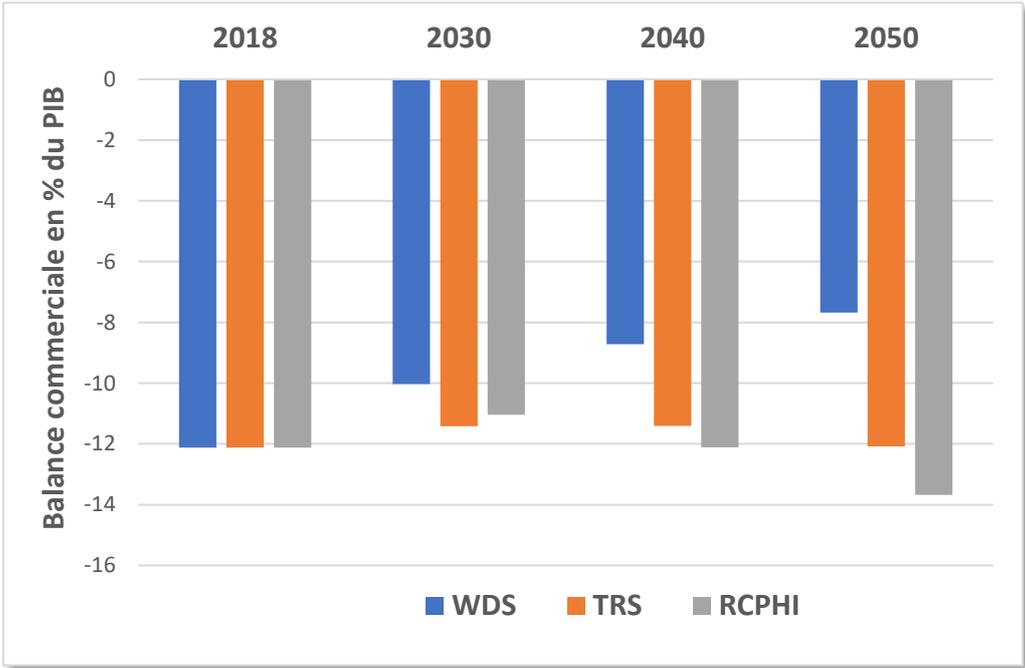
Ce gain de croissance de l'activité économique serait à même d'induire un gain au niveau de l'emploi, ramenant ainsi le taux de chômage à un niveau relativement bas par rapport au scénario climatique RCPHI. Sa valeur baisserait de 2% seulement pour le scénario RTS et 6% pour le scénario WDS.

Figure 24 : Evolution du taux de chômage selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS



En parallèle, les exportations augmenteraient fortement en raison d'une forte croissance de la productivité, et les importations de biens intermédiaires et de biens d'équipement diminueraient régulièrement. Ainsi, le déficit de la balance commerciale diminuerait à 12.7% en % du PIB selon le scénario RTS et serait réduit à 7.7% du PIB selon le scénario WDS, contre 13. 7% selon le scénario RCPHI.

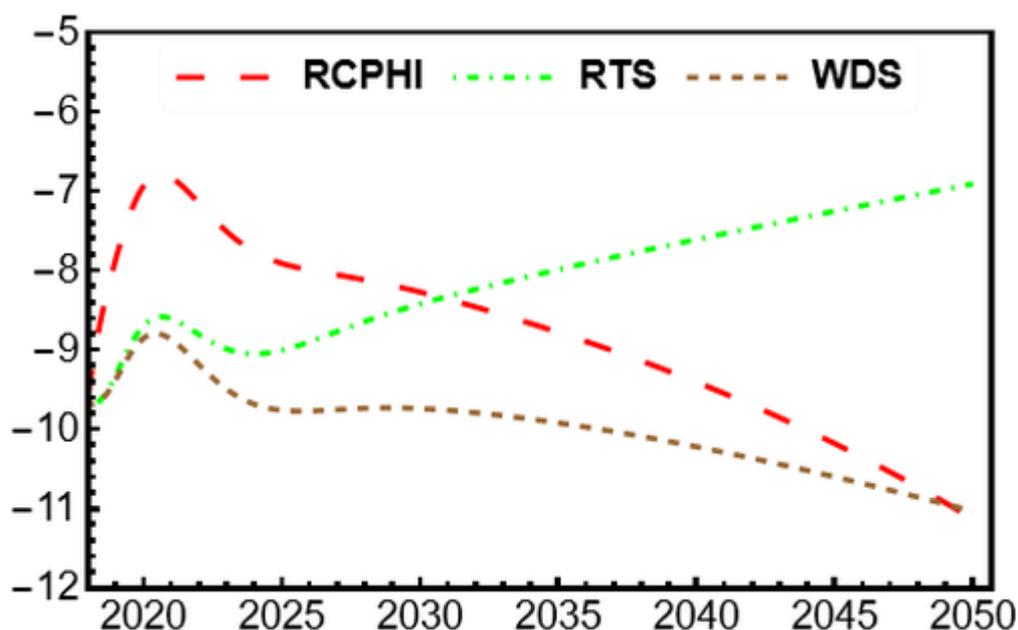
Figure 25 : Balance commerciale de la Tunisie



Source : Compilation auteur

Le compte des revenus s'améliorerait également dans les deux scénarios. Néanmoins, le compte financier, selon le scénario RTS, serait marqué par la hausse des crédits extérieurs pour financer les investissements hydrauliques. Cet effet combiné à la baisse légère du déficit commercial conduirait à un déficit de la balance courante quasi similaire à son niveau dans le scénario RCPHI, soit 11% du PIB contre 11.1% pour le scénario RCPHI.

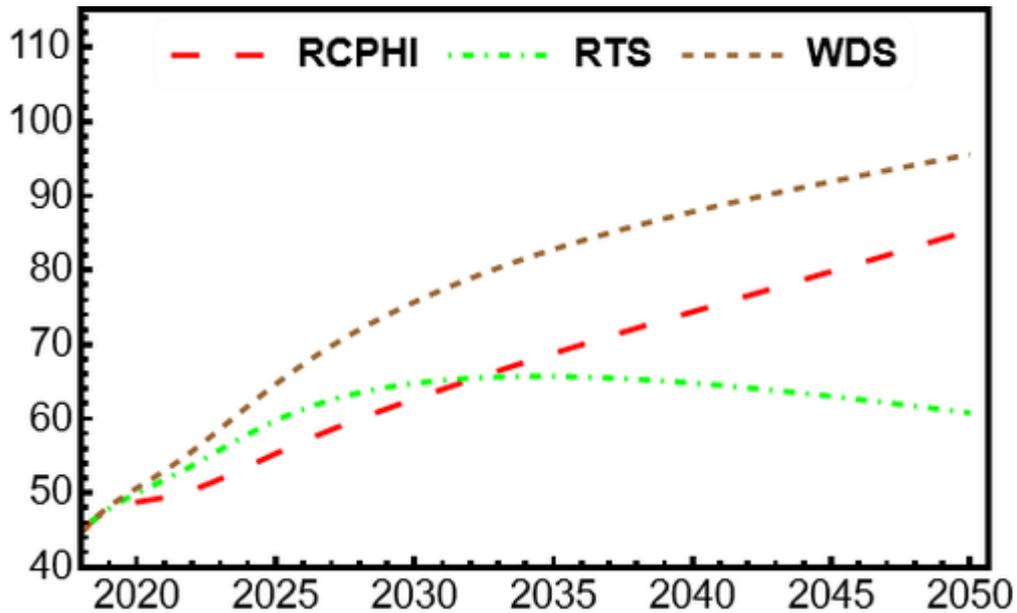
Figure 26 : Evolution du solde courant en % du PIB selon les scénarios RCPHI, RTS et WDS



Les investissements hydrauliques envisagés dans le scénario (RTS) pèseraient sur les dépenses publiques, entraînant ainsi une hausse du déficit budgétaire par le paiement du service de la dette. Malgré le taux d'intérêt très bas retenu, ces financements auraient un impact négatif sur la dette publique extérieure par l'accumulation des crédits extérieurs et le paiement des intérêts, induisant ainsi une hausse importante de la dette publique externe qui serait de 95.6% du PIB à l'horizon 2050, marquant ainsi le niveau le plus haut dans les différents scénarios simulés.

Le ratio de la dette extérieure par rapport au PIB connaîtrait une trajectoire descendante après avoir augmenté dans un premier temps, se situant en dessous des niveaux observés dans le scénario RCPHI et même dans le scénario BAU, pour atteindre un peu moins de 60 % à long terme.

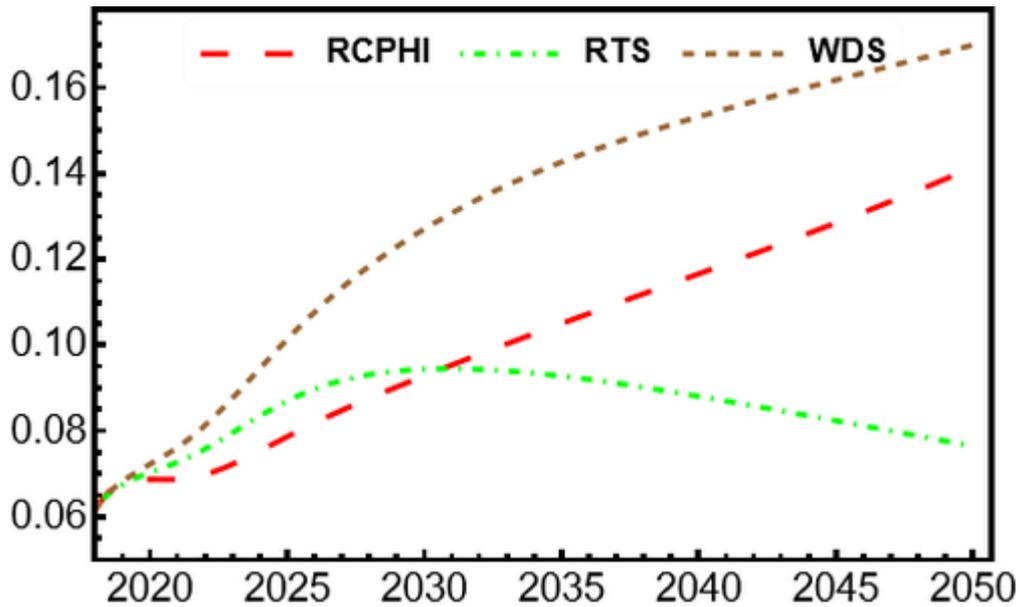
Figure 27 : Evolution de la dette publique extérieure selon les scénarios d'adaptation en comparaison avec le scénario RCPHI



Cette baisse réduirait le risque-pays et le taux d'intérêt sur les emprunts extérieurs de l'Etat, engendrant ainsi une situation macroéconomique caractérisée par une soutenabilité de la dette extérieure et une situation financière de plus en plus stable. Les simulations montrent, cependant, des résultats différents quant au scénario WDS, marquant une dynamique économique et une stabilité financière beaucoup plus importante que le scénario RTS. En dépit du double coût d'investissement nécessaire pour mettre en œuvre les politiques d'adaptation prévues dans le scénario "Eau et Développement", une amélioration de tous les indicateurs macroéconomiques et financiers serait constatée au cours des trois prochaines décennies.

En effet, le revenu par habitant augmenterait rapidement pour atteindre 9 000 euros en 2050, tandis que les importations de denrées alimentaires tomberaient en dessous de 2 % du PIB, ce qui rapproche la Tunisie d'une sécurité alimentaire quasi totale.

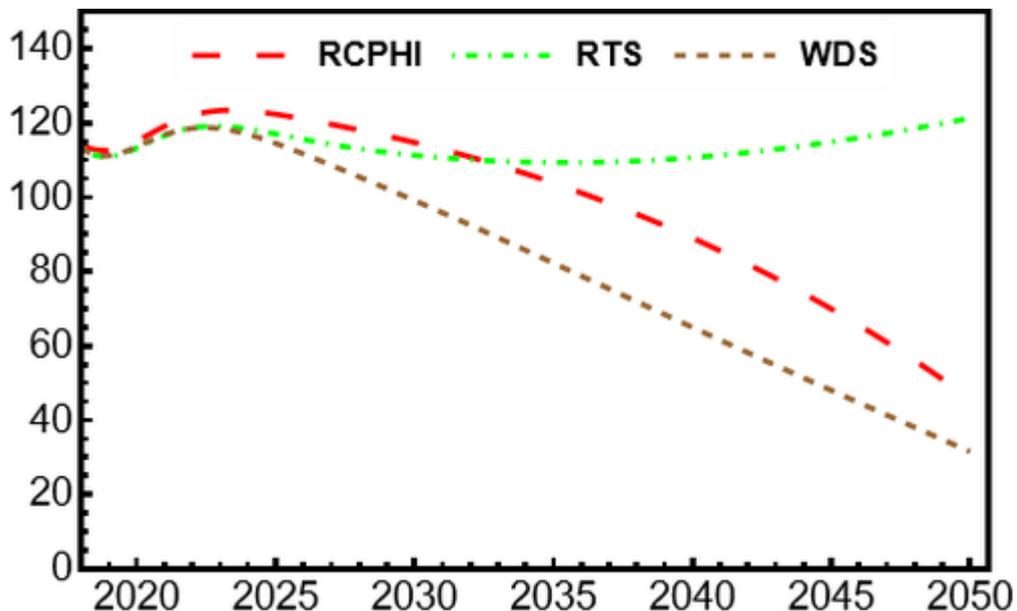
Figure 28 : Risque pays selon les scénarios BAU, RCPHI, RTS et WDS



Source : Compilation auteurs

De surcroît, après une légère baisse au cours de la première décennie, les réserves de change en jours d'importations s'orienteraient de plus en plus vers des niveaux durables et se placeraient sur une trajectoire ascendante pour converger vers les niveaux enregistrés dans le scénario BAU.

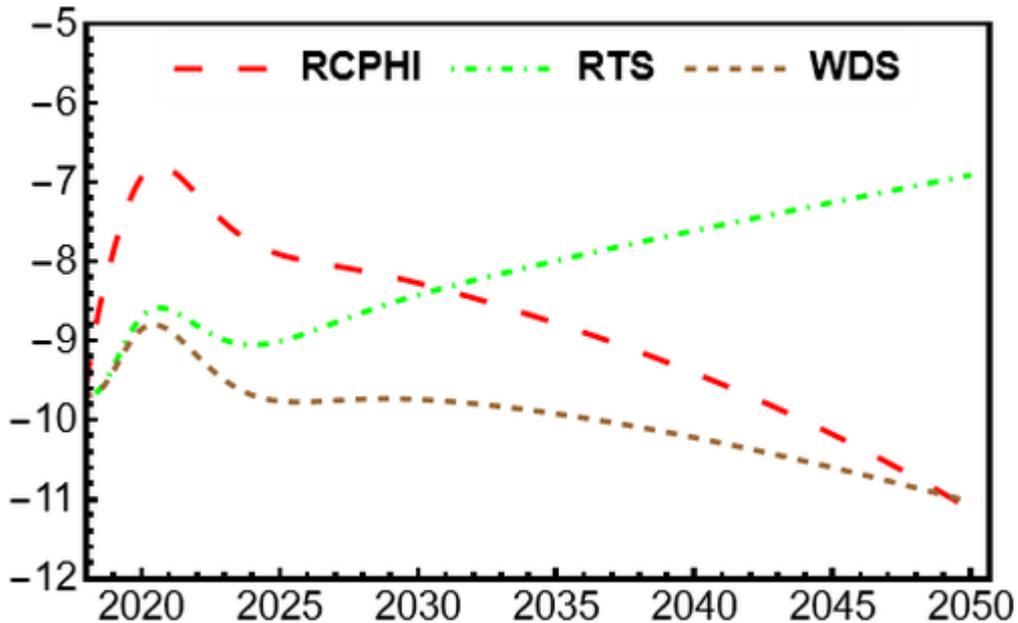
Figure 29 : Evolution des réserves de change en jours d'importations



Source : Compilation auteurs

De même, le compte courant en 2050 se contracterait à -7.6% du PIB contre -16% dans le scénario du changement climatique RCPHI.

Figure 30 : Déficit courant en % du PIB, selon les différents scénarios d'adaptation en comparaison avec le scénario RCPHI



Source : Compilation auteurs

La mise en œuvre d'un plan d'adaptation intégré qui s'articule autour de tous les secteurs économiques et les réformes macroéconomiques susceptibles d'accroître la productivité du travail et d'améliorer la productivité de l'eau, constituent à cet effet une solution efficace. Ces politiques d'adaptation envisagées dans le scénario WDS permettraient, d'une part, de résoudre le problème de pénurie d'eau à moyen et long terme et d'améliorer, d'autre part, la trajectoire de développement économique de la Tunisie, ainsi que la maîtrise des déséquilibres internes et externes du pays.

Conclusion

En Tunisie, les effets du changement climatique sont déjà perceptibles et seront significatifs à l'horizon 2050. Ils constituent ainsi l'un des principaux défis auquel est exposé le pays en matière de développement.

La hausse de la température, la baisse des précipitations et l'intensification de la fréquence et de la durée des événements extrêmes auraient des répercussions négatives sur les rendements des cultures et les ressources en eau et en sol, et ce en quantité et en qualité.

L'ampleur et le coût des pertes économiques causées par ce phénomène seront très importants et varient considérablement selon les scénarios d'inflation utilisés et se traduisent par une dégradation des principales variables macroéconomiques en comparaison avec une situation de statu quo (scénario BAU).

Les résultats des simulations des scénarios climatiques montrent des déficits public et courant excessifs, conduisant à des équilibres publics externes insoutenables.

La persistance de tels déséquilibres macroéconomiques serait accentuée en cas d'augmentation de l'inflation alimentaire mondiale.

En l'absence de politiques d'adaptation, le changement climatique risque d'exacerber la situation économique. Les solutions d'adaptation sont ainsi étroitement liées aux priorités économiques du pays et à sa capacité de financement.

Ainsi, la mise en œuvre des politiques d'adaptation hydrauliques telles que la construction des stations de dessalement, la mise en place des unités d'épuration des eaux usées, la maintenance et la construction de nouveaux barrages contribueraient certes à la résolution du problème de pénurie d'eau à moyen et long terme et à la réduction du déficit hydrique. Ces solutions, toutes choses égales par ailleurs, permettront d'améliorer légèrement la trajectoire de développement économique de la Tunisie. L'efficacité de ces politiques, voire leur durabilité, sont subordonnées à une meilleure gestion des ressources en eau, tout en améliorant la productivité de l'eau dans tous les secteurs économiques via une optimisation des ressources disponibles, une meilleure gestion de la consommation des ménages, tout en éliminant toutes les pertes et le gaspillage. En outre, il est recommandé d'« Envisager une tarification régionale incluant une péréquation (quote-part identique pour tout le pays) sur le coût

lié à la mise à disposition de la ressource et un prix régional (variable) qui traduit la performance de l'agence de distribution » (STUDI INTERNATIONAL & GWK, Décembre 2020) .

Même avec les augmentations planifiées de l'approvisionnement en eau, la réalisation simultanée de la sécurité de l'eau et du développement économique exige des réductions significatives de l'élasticité de l'eau dans la production agricole, industrielle et de services grâce à l'adoption de techniques de production économes en eau. Ces améliorations devraient également s'accompagner d'une croissance rapide des niveaux de productivité à l'échelle de l'économie.

Un investissement public efficace dans un effort majeur visant à stimuler cette croissance de productivité est donc crucial. Nos résultats montrent que le développement économique et la sécurité de l'eau ne sont pas orthogonaux si de telles politiques publiques stimulant la productivité sont mises en œuvre en même temps que des méthodes de production économes en eau et des mesures d'adaptation.

Cela nécessiterait des investissements publics importants dans les domaines de la recherche et développement, l'éducation, l'infrastructure et les énergies renouvelables.

Le secteur privé devrait aussi investir dans les technologies et l'innovation, notamment en R&D, TIC, changement organisationnel et capital humain qui sont les principaux leviers de la productivité du travail comme souligné dans (Ben Khalifa, 2021)

Bien que les décideurs aient reconnu la gravité du problème et élaboré des stratégies d'adaptation à long terme comprenant des investissements dans l'approvisionnement en eau, la réduction des pertes dans le processus de distribution et la réhabilitation des réservoirs existants, ces stratégies sont coûteuses et nécessitent la participation du secteur privé aux côtés du secteur public.

En effet, l'augmentation de l'approvisionnement en eau nécessiterait la construction d'installations de dessalement et de traitement des eaux usées, ainsi que des ressources énergétiques pour alimenter ces unités, ce qui, dans la structure économique actuelle du pays, nécessite des investissements intensifs et des importations. Ainsi, la structure de financement et les coûts des politiques d'adaptation devraient jouer un rôle central dans la détermination de leur impact économique global et de leur efficacité pour stabiliser l'économie à long terme.

Les principales recommandations s'articulent autour du principe de la nécessité de concevoir et de mettre en œuvre une stratégie d'adaptation intégrée qui permet de réduire les contraintes structurelles au développement économique en général et au développement du secteur agricole en particulier, notamment l'accès au financement des exploitants agricoles sur le marché des crédits qui représente une contrainte majeure pour couvrir les besoins de financement nécessaires pour la mise en œuvre des politiques d'adaptation indispensables pour réduire les effets néfastes du changement climatique.

Bibliographie

Rapports et documents officiels

- ADVI. (2018). *Analyse des Instruments de financement du secteur agricole*. Agence Italienne pour la Coopération au Développement, APIA, BNA.
- Banque Mondiale. (2019). *Tunisie - Analyse des Besoins - 31-10-18 - FINAL*.
- BCT. (2022). *Rapport annuel de la BCT*. Banque Centrale de la Tunisie.
- Borio , C., & Disyata, P. (2011, May). Global imbalances and the financial Crisis: Link or No Link? *BIS Working Papers No 346*.
- CAR/PAP. (2017). Programme national de surveillance intégrée pour les indicateurs relatifs à la côte et à l'hydrographie.
- CNULCD. (2020). *Plan National de Gestion de la Sécheresse - Tunisie*.
- FAO. (2018). *The future of food and agriculture- Alternative pathways to 2050*. Rome: 224 pp. Licence:CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- FAO_UNU-Eau. (2018). *Progrès relatifs aux niveaux de stress hydrique Cadre de référence mondial pour l'indicateur 6.4.2 des ODD*. Rome.
- HEAT GmbH, ACTERRA Environnement, Climat. (2022). *Stratégie de neutralité carbone et de Résilience au Changement Climatique*. Ministère de l'Environnement.
- Institut National de la Consommation. (2017). Principaux résultats des enquêtes et sondages sur le gaspillage alimentaire.
- INS. (2021). *Enquête Nationale sur le Budget, la Consommation et le Niveau de vie des ménages*.
- MARHP. (2020). *Rapport National du Secteur de l'Eau*.
- MARHP, AVFA. (2016). *Référentiel du développement agricole durable en Tunisie*. Ministère de l'Agriculture, des Ressources Hydrauliques et de la Pêche et Agence de la Vulgarisation et de la Formation Agricoles (AVFA).
- MARHP, GIZ,STUDI. (Octobre 2022). *Elaboration de la vision et de la stratégie du secteur de l'eau à l'horizon 2050-Etape 4*.
- Ministère de l'environnement. (2022). *Contribution Déterminée au niveau National-Tunisie*.
- Ministère de l'environnement. (Octobre 2021). *Contribution Déterminée au niveau National Actualisée Tunisie*.
- ONAGRI. (2020). *Indicateurs clés des filières agricoles en Tunisie*.
- ONAGRI. (2021, Aout). Evolution des incendies et des forêts en Tunisie. *Note de veille*.
- STUDI INTERNATIONAL & GWK. (Décembre 2020). *Réalisation des Etudes Prospectives Multithématiques et Etablissement de Modèles Prévisionnels Offre-Demande (Bilans)*. MARHP, GIZ.

Articles scientifiques

- Ben Khalifa, A. (2021). *Investissement dans l'économie de la connaissance, innovation et productivité : cas des entreprises manufacturières tunisiennes.* , ITCEQ.
- Borio , C., & Disyatat, P. (2015, October). Capital flows and the current account: Taking financing (more) seriously. *BIS Working Papers*.
- Chebbi, H., Pellissier, J., Khechimi, W., & Rolland, J. (2019). *Rapport de synthèse sur l'agriculture en Tunisie*. CIHEAM-IAMM. pp.99. fihal-02137636f.
- Deandres, C., Pommier, D., Ben Souissi, J., Tounsi, K., Jouili, M., & Balaghi, R. (2021). *PNA Tunisie-Adapt'Action, Impacts du changement climatique sur la sécurité alimentaire*. AFD, MARHP, SUEZ.
- GIEC. (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A.* Geneva, Switzerland: IPCC.
- Godley,, W., & Lavoie, M. (2012). *Monetary Economics-An Integrated Approach to Credit, Money, Income, Production and Wealth*.
- Goldey , W., & Lavoie, M. (2007). Fiscal policy in a stock-flow consistent (SFC) model. *EconPapers*, vol. 30, issue 1, 79-100.
- Günther Fischer, F. O. (s.d.). *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3.0)-Model Documentation –*.
- Jouili, M. (2019). Problématique de financement de l'investissement agricole en Tunisie. *NEW MEDIT N. 3/2009*.
- MedECC . (2019). *LES RISQUES LIÉS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES ET ENVIRONNEMENTAUX DANS LA RÉGION MÉDITERRANÉE*.
- Michalis , N., & Gennaro, Z. (2017, Mai 21). Stock-flow Consistent Macroeconomic Models: A Survey. *Working Paper, Levy Economics Institute of Bard College*.
- Mickaël , C., & Edwin, L. (2014). Renouveler la macroéconomie postkeynésienne ? Les modèles stock-flux cohérent et multi-agents. *Revue de la régulation [En ligne], 16 | 2e semestre /, mis en ligne le 19 décembre 2014, consulté le 17 janvier 2024. URL : <http://journals.openedition.org/regulation/11043> ; DOI :. Récupéré sur <https://doi.org/10.4000/regulation.11043>*
- Nikolaus , H. (2012). *Covariance Matrix Adaptation Evolution*. (Research Centre Saclay, Machine Learning and Optimization Team (TAO), Interprète) Univ. Paris-Sud, LRI.
- Xiao, Y. a.-P. (2019). Estimating the stock of public capital in 170countries.
- Yilmaz, D. S., & Godin, A. (2020). "Modelling Small Open Developing Economies in a Financialized World: A Stock-Flow Consistent Prototype Growth Model,". *Working Paper 5eb7e0e8-560f-4ce6-91a5-5, Agence française de développement*.
- Yilmaz, D., & Godin, A. (2020). MODELLING SMALL OPEN DEVELOPING ECONOMIES IN A FINANCIALIZED WORLD: A STOCK-FLOW CONSISTENT PROTOTYPE GROWTH MODEL. *RESEARCH PAPERS, AFD*.
- Yilmaz, D., Ben Nasr, S., Mantes, A., Ben Khalifa, N., & Daghari, I. (2023, Juin). Climate change, loss of agricultural output and the macroeconomy: The case of Tunisia. *Research Document-AFD-ITCEQ*. Récupéré sur <https://www.afd.fr/en/ressources/climate-change-loss-agricultural-output-and-macro-economy-case-tunisia>
- Yilmaz, P.-R. A. (2013). *Aid Allocation, Growth And Welfare With Productive Public Goods*. International Journal of Finance & Economics, John Wiley & Sons, Ltd., vol. 18(2), pages 103-127.

Sites Web

- FERDI. (2019, Septembre 15). *Indicateur de vulnérabilité physique au changement climatique*. Récupéré sur www.FERDI.fr: [https://ferdi.fr/donnees/indicateur-de-vulnerabilite-physique-au-changement-climatique#:~:text=L'indicateur%20de%20vuln%C3%A9rabilit%C3%A9%20physique,PVCCI%20Subnational\)%20%C3%A0%20ces%20chocs](https://ferdi.fr/donnees/indicateur-de-vulnerabilite-physique-au-changement-climatique#:~:text=L'indicateur%20de%20vuln%C3%A9rabilit%C3%A9%20physique,PVCCI%20Subnational)%20%C3%A0%20ces%20chocs).
- INM. (2020). *Climat-C*. Récupéré sur Le portail climatique de l'INM: <https://climat-c.tn/INM/web/>
- INS. (2021). *Statistiques Tunisie*. Récupéré sur Agriculture, Données structurelles: <http://dataportal.ins.tn/fr/DataAnalysis>
- University of Notre Dame. (2023). *Notre Dame Global Adaptation Initiative (ND-GAIN)*. Récupéré sur Country Index|Explore Index: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>
- World Reseach institute. (2018). *Espace mondial l'Atlas*. Récupéré sur Stress hydrique, projections en 2040: <https://espace-mondial-atlas.sciencespo.fr/fr/rubrique-ressources/carte-5C33-stress-hydrique-projections-en-2040.html>

Tél. : (+216) 71 802 044
Fax : (+216) 71 787 034
E-mail : boc@itceq.tn
Adresse : 27, Rue du Liban
1002 Tunis Belvédère

www.itceq.tn