African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28 Février 2025

Progrès technique et les ressources en eau face au problème des changements climatiques : analyse théorique

Technological Progress and Water Resources in the Face of Climate Change: A Theoretical Analysis

Auteur 1 : AMGHAR Ahmed.
Auteur 2 : HSSOUNE Abdelkarim.

AMGHAR Ahmed
Docteur en sciences économiques,
Université Ibn Zohr Agadir, Maroc
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales d'Agadir
Laboratoire d'Etudes et de Recherches Appliquées en Sciences Economiques

HSSOUNE Abdelkarim
Docteur en sciences économiques,
Université Ibn Zohr Agadir, Maroc
Faculté des Sciences Juridiques Economiques et Sociales d'Agadir
Laboratoire d'Etudes et de Recherches Appliquées en Sciences Economiques

Déclaration de divulgation : **L'auteur n'a pas connaissance de quelconque financement qui pourrait affecter l'objectivité de cette étude.**

Conflit d'intérêts : **L'auteur ne signale aucun conflit d'intérêts.**

Pour citer cet article : **AMGHAR .A & HSSOUNE .A (2025) « Progrès technique et les ressources en eau face au problème des changements climatiques : analyse théorique », African Scientific Journal « Volume 03, Num 28 » pp: 0933 – 0963.**

Date de soumission : Décembre 2024

Date de publication : Février 2025

DOI : 10.5281/zenodo.14979918
Copyright © 2025 – ASJ

AFRICAN SCIENTIFIC JOURNAL
MANAGEMENT AND ECONOMIC DEVELOPMENT

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Résumé

Cet article examine en profondeur l'impact des changements climatiques sur la disponibilité des ressources en eau et explore le rôle crucial du progrès technique pour pallier la dégradation de l'offre face à une demande croissante. Dans cette étude, nous adoptons une approche théorique, déductive et comparative fondée sur les modèles économiques classiques (Solow, Stiglitz, Hartwick). Ce positionnement épistémologique, ancré dans le paradigme de la soutenabilité faible, permet de concilier efficacité économique et durabilité environnementale face aux défis climatiques. À partir d'une analyse théorique reposant sur ces modèles, l'étude met en lumière le déséquilibre engendré par une exploitation intensive héritée de la révolution industrielle et la raréfaction progressive des ressources hydriques accentuée par le réchauffement planétaire. L'article souligne que, dans un contexte où la gestion conventionnelle de l'eau montre ses limites, le recours aux technologies innovantes telles que le dessalement, la réutilisation des eaux usées et l'optimisation des systèmes d'irrigation apparaît comme une stratégie déterminante pour réduire les externalités négatives liées à la surexploitation de cette ressource.

Par ailleurs, en s'appuyant sur le concept de soutenabilité faible, l'étude démontre qu'il est envisageable de compenser la diminution des ressources naturelles grâce à l'investissement dans des avancées technologiques et le renouvellement des infrastructures. Ce faisant, l'article propose un cadre conceptuel où le progrès technique permet non seulement de maintenir un niveau de consommation par tête stable, mais aussi de favoriser une croissance économique durable, même en présence de pressions environnementales importantes. L'analyse intertemporelle présentée insiste sur la nécessité d'une coordination étroite entre politiques publiques et initiatives privées afin de mettre en place des mesures d'adaptation efficaces aux effets du changement climatique.

En conclusion, notre analyse démontre que le progrès technique, associé à une gestion coordonnée des ressources non conventionnelles, constitue le levier essentiel pour assurer la sécurité hydrique et promouvoir un développement économique résilient face aux défis climatiques.

Mots clés : les externalités négatives, ressources en eau, progrès technique, les changements climatiques, ressources en eau non conventionnelles.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Abstract

This paper provides an in-depth examination of the impact of climate change on water resource availability and explores the critical role of technological progress in mitigating supply degradation amid increasing demand. This study adopts a theoretical, deductive, and comparative approach based on classical economic models (Solow, Stiglitz, Hartwick). This epistemological positioning, rooted in the paradigm of weak sustainability, seeks to reconcile economic efficiency with environmental sustainability in the face of climate challenges. Through a theoretical analysis of these models, the study highlights the imbalance caused by intensive exploitation inherited from the industrial revolution and the progressive scarcity of water resources exacerbated by global warming. The paper emphasizes that, in a context where conventional water management shows its limitations, the use of innovative technologies such as desalination, wastewater reuse, and the optimization of irrigation systems appears as a decisive strategy to reduce the negative externalities associated with the overexploitation of this resource.

Furthermore, by adopting the weak sustainability approach, the study demonstrates that it is feasible to compensate for the decline in natural resources through investment in technological advancements and infrastructure renewal. In doing so, the article proposes a conceptual framework in which technological progress not only maintains a stable level of per capita consumption but also fosters sustainable economic growth even in the face of significant environmental pressures. The intertemporal analysis presented underscores the need for close coordination between public policies and private initiatives to implement effective adaptation measures against the effects of climate change.

In conclusion, this study highlights that technological progress, combined with a coordinated management of non-conventional water resources, serves as the key driver for ensuring water security and fostering resilient economic development in the face of climatic challenges.

Keywords: Negative externalities, Water resources, Technological progress, Climate change, unconventional water resources.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

1. Introduction

L'exploitation des ressources naturelles est depuis longtemps une question centrale dans le domaine économique et environnemental. Néanmoins, ce n'est qu'avec l'avènement de la révolution industrielle au XVIII siècle que la gestion de ces ressources, particulièrement celle de l'eau, est devenu une préoccupation majeure. La transition d'une société basée sur l'activité agricole vers une économie industrialisée s'est accompagnée d'avancées technologiques significatives, d'une amélioration des infrastructures de transport et d'une intensification de l'extraction des ressources naturelles. Si cette transformation a largement contribué à l'essor économique des nations industrialisées, elle a également engendré une exploitation massive et souvent non durable des ressources naturelles, en particulier celles en eau.

Certes, cette transition a augmenté la productivité des économies occidentales et crée une croissance économique rapide, mais elle a généré également une exploitation massive des ressources naturelles, entre autres, les ressources en eau. Les économistes classiques tels que Ricardo, Malthus et Jevons ont rapidement souligné la nature limitée des ressources naturelles et les risques d'une surexploitation compromettant la durabilité de la croissance économique. Une gestion inefficiente des ressources hydriques, qu'elles soient renouvelables ou épuisables, entraîne des coûts sociaux considérables, exacerbés par des externalités environnementales. L'une des manifestations les plus notables de ces externalités est l'accélération des changements climatiques, notamment à travers les émissions de gaz à effet de serre qui altèrent profondément le cycle hydrologique.

L'eau est l'une des ressources naturelles qui subit une pression importante lors de son usage. Cette pression est due, d'un côté à la montée des besoins en cette matière, liés notamment à l'usage industriel, et agricole et par la suite touristique ; d'un autre côté, à la dégradation de l'offre en eau, au fil du temps, suite aux effets des changements climatiques. Cette situation soulève une question fondamentale : **comment concilier la croissance économique, qui requiert une utilisation accrue des ressources hydriques, et la nécessité de préserver cette ressource dans un contexte de pressions climatiques et environnementales croissantes ?**

Dans ce contexte, l'objet de cette étude est d'analyser comment le progrès technique peut pallier les déséquilibres de l'offre en eau induits par les changements climatiques. Nous nous appuyons sur une analyse théorique fondée sur les principaux modèles économiques (notamment ceux de Solow, Stiglitz et Hartwick) et adoptons le paradigme de la soutenabilité faible. Cette approche méthodologique déductive et comparative permet d'établir un cadre conceptuel robuste pour évaluer l'impact de l'innovation technologique, à travers des solutions telles que le dessalement,

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

la réutilisation des eaux usées et l'optimisation des systèmes d'irrigation, sur la gestion de l'offre en eau, tout en réduisant les externalités négatives associées à une exploitation non maîtrisée. Par ailleurs, cette étude insiste sur la nécessité d'une coordination étroite entre politiques publiques et initiatives privées afin de mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces aux effets des changements climatiques. En définitive, notre démarche vise à concilier les exigences du développement économique avec les impératifs de préservation environnementale, tout en offrant une vision intégrée des dynamiques de substitution entre capital naturel et progrès technologique.

2. Théorie des externalités

En économie, l'externalité désigne un avantage ou un dommage causé par un agent économique à un autre, sans pour autant qu'il soit internalisé dans la structure des prix. En d'autres termes, lorsqu'un agent procure un avantage dont bénéficie un autre sans compensation financière, ou qu'un consommateur subit une perte causée par l'activité d'une entreprise sans que celle-ci ne paie l'indemnisation, on parle d'externalité. Une telle définition ne fait pas l'objet d'un consensus unanime. En effet, le concept a fait l'objet de multiples tentatives de clarifications et d'identification dans la littérature économique. Baumol et Oates dans leur ouvrage « *the theory of environmental policy* » reconnaissent que la notion d'externalités n'est pas bien saisissable et qu'ils n'ont pas pu identifier avec précision toutes ses ramifications (Baumol et al., 1988, p. 14). Les racines du concept d'externalités remontent aux travaux d'Alfred Marshall sur les effets externes. Ce dernier n'utilise pas le concept dans son contexte actuel, mais dans le cadre d'une tentative d'explication de la contradiction entre la loi des rendements décroissants défondue par la théorie classique et la réalité empirique des rendements croissants (Furlan, 1994, p. 5). Marshall essaye d'expliquer la diminution des coûts observée dans les entreprises industrielles, en avançant deux hypothèses, l'une s'agit des économies internes, l'autre dépend des économies externes (Furlan, 1994, p. 5). -les économies internes concernent principalement la gestion de l'entreprise, de son organisation et de sa taille. Les économies externes relèvent particulièrement des effets bénéfiques issus de l'environnement industriel externe tel que la localisation de l'entreprise et l'évolution du secteur d'activité (Furlan, 1994, p. 5). Ainsi, selon l'analyse de Marshall, les effets externes ne sont pas perçus mais interprétés. Son approche repose sur un raisonnement déductif, cherchant à expliquer l'origine de l'existence des économies liées rendements croissants, plutôt sur une analyse empirique des firmes (Furlan, 1994, p. 7). Par ailleurs, il faut attendre l'analyse de Pigou au début du XX siècle, pour donner au concept des externalités une nouvelle impulsion, plus formelle et

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

structurée. Dans le chapitre VI « divergences entre produit marginal net social et produit marginal net privé » de son ouvrage « Économie du bien-être » publié en 1920, Pigou procure une définition de l'externalité référentielle dans l'analyse économique contemporaine[1] :

« *L'apparition du fait, est qu'une personne A, en profitant d'un service, reçu d'une personne B, contre un paiement, donne l'occasion à ce qu'une autre personne C bénéficie d'un avantage, ou affecté par un préjudice, de la sorte qu'un paiement ne lui puisse être appliqué au cas d'un bénéfice et non plus une compensation au cas d'une perte.* » (Pigou, 1920, p. 159)

Pigou traite les effets externes par l'analyse des produits marginaux nets, qu'il distingue en produit social marginal net PSMN et produit privé marginal net PPMN[2]. Dans cette perspective, il considère que le PSMN est supérieur au PPMN[3] lorsque certaines personnes bénéficient d'un avantage dont il est techniquement difficile d'imposer le paiement (Pigou, 1920, p. 160). Inversement, le PSMN est inférieur au PPMN lorsque des agents économiques génèrent des externalités négatives causent des préjudices à la communauté (Pigou, 1920, p. 161)[4]. Outre, il avançait que la divergence entre le produit social et le produit privé peut être incombée soit à l'absence de compensation pour les avantages ou les préjudices, soit à des améliorations et des inventions nouvelles. Celles-ci, amènent à la diminution du bien-être social, dans la mesure où les inventions nouvelles diminuent la satisfaction octroyée par les procédés et inventions antérieurs[5] (Pigou, 1920, p. 167).

Dans le cas des biens et services environnementaux plusieurs typologies des externalités peuvent être identifiées. Pour mener un présentation synthétique, nous faisons référence à l'analyse développée par Annie Vallée dans son ouvrage « Économie de l'environnement ». Dans ce cadre, on distingue les externalités par rapport à l'enchaînement suivant (Vallée, 2002, p. 53, 56) :

[1] À noter que le terme externalité n'est pas déclaré en lettre pour cette définition.
[2] Il existe deux cas de figures, un, lorsque le produit social marginal net est supérieur au produit privé marginal net, et l'autre, quand le produit marginal net privé est inférieur au produit marginal net privé. Pigou avait donné des exemples pour les deux cas. Pour ce qui concerne, le premier cas, on cite, un phare placé près d'un littoral, et qui donne un avantage important aux navires qui s'approchent de la côte, en leur offrant de l'éclairage pour s'orienter sans problème; des investissements publics routiers augmentant la valeur des terrains ; des lampes installées aux portes des maisons privées jettent de la lumières sur les routes (Pigou, 1920, p. 161); s'agissant du deuxième cas, on cite comme exemples, lorsqu'un propriétaire d'un terrain décide de construire un bâtiment, cela met une grande partie de commodités des voisins en péril : aération, lumière, vision, etc.
[3] Selon Pigou, le produit social net est la contribution globale apportée à la dividende nationale et le produit privé net signifie la contribution apportée à l'entrepreneur (à l'agent en général)(Pigou, 1920, p. 149).
[4] Certaines activités, selon le même auteur, connaissent un produit social net inférieur au produit privé net telles que le bâtiment, l'industrie et le commerce des alcools. En revanche des secteurs comme notamment l'agriculture se caractérisent par la supériorité du PSN par rapport au PPN (Pigou, 1920, p. 79).
[5] Ce que Pigou explique par la réaction psychologique vis-à-vis de l'ancien produit ou procédé ou invention.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

2.1 Des externalités selon leur impact sur les prix

La distinction entre les externalités pécuniaires et technologiques, introduit par Buchanan et Meade, repose sur la nature de l'impact qu'un agent économique exerce sur un autre. D'un côté, certaines externalités affectent indirectement les prix, en modifiant la fonction du coût d'un agent à travers les interaction de marché. Dans ce cas, il s'agit de l'externalité pécuniaire, dans la mesure où elle opère via les mécanismes concurrentiels et les ajustements de prix; d'autre côté, certaines externalités influencent des variables réelles, dans ce cas, elles sont considérées comme non pécuniaires ou technologiques. Un exemple classique explique cette distinction : un apport scientifique peut être profitable à un grand nombre d'individus sans que ceux-ci y contribuent, ni paient une compensation (Pigou, 1920, p. 161).

2.2 Des externalités pertinentes de l'optimum de Pareto

Buchanan et Stubblebine définissent l'externalité pertinente « *Pareto relevant* » par la situation où l'activité de l'agent B (l'émetteur), génère un effet chez l'agent A (la victime ou bénéficiaire), une volonté de réagir à travers, la persuasion, le compromis, l'autorisation, la convention ou l'intervention publique. Tandis qu'une externalité non pertinente au sens de Pareto « *Pareto irrelevant* » se caractérise par l'absence de possibilité d'amélioration du bien-être d'un agent sans détériorer celui d'un autre (Buchanan & Stubblebine, 1962, p. 373, 374), chose qui signifie que son internalisation ne donne lieu à aucun gain net pour la société potentielle. il s'agit d'une externalité non pertinente. De manière plus simple, une externalité est dite Pareto pertinente quand une amélioration de la situation de l'agent victime sans dégrader celle de l'agent fautif. Une telle situation est socialement souhaitable. En revanche, quand l'adoption de mesures par rapport à l'externalité donne lieu à ce que la victime voit sa situation s'améliorer, tandis que celle de l'émetteur se dégrade, l'externalité devient Pareto non pertinente. lorsque le niveau de l'externalité devenu optimal, à partir duquel aucune amélioration de bien-être n'est possible sans engendrer une détérioration pour un autre agent, elle est désormais considérée comme Pareto non pertinente. L'exemple le plus cité dans littérature économique est celui de la pollution[6]

2.3 Des externalités selon le nombre d'agents affectés

La confrontation entre l'émetteur et le récepteur par rapport à l'externalité permet de distinguer deux catégories principales : externalités bilatérales et externalités multilatérales. La première

[6] Certains économistes adoptant une approche tolérante vis-à-vis de la pollution s'appuient sur la notion d'externalité Pareto pertinente (*Pareto relevant externality*). En effet, un niveau zéro de pollution génère une perte économique significative pour les producteurs. C'est dans ce cadre, l'objectif est donc d'identifier un niveau optimal au sens de Pareto relevant.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

catégorie concerne deux agents en confrontation. La deuxième catégorie est le résultat du comportement d'un agent générant un résultat (gain ou dommage) qui affecte au moins deux agents. De manière générale, les problèmes environnementaux donnent lieu à des externalités multilatérales, où un grand nombre d'agents sont concernés (Vallée, 2002, p. 54).

2.4 Des externalités diffuses, statiques et dynamiques

Les externalités diffuses se caractérisent par l'impossibilité d'identifier clairement leur source. En effet, Dans certains cas, il est difficile ou même impossible de détecter l'agent à l'origine de l'externalité (Vallée, 2002, p. 54).

Selon l'analyse de David Pearce en 1976, repris par Annie Vallée dans son ouvrage « Économie de l'environnement » , on distingue les externalités statiques des externalités dynamiques. En effet, l'externalité statique est localisée et produit des effets réversibles sur la société. Ainsi, la politique d'internalisation des coûts externes peut être mise en place de manière efficace. En revanche, l'externalité dynamique est globale et génère des effets irréversibles et toute mesure d'internalisation risque d'être inefficace.

2.5 Des externalités positives ou négatives

L'analyse économique standard repose sur le postulat selon lequel l'efficacité du marché assure la détection et l'intégration de tout gain ou perte dans le système des prix. Néanmoins, il existe des biens et services auxquels cette hypothèse ne s'applique pas, en l'occurrence, les biens et services non marchands, notamment ceux octroyés par l'environnement. Les ressources naturelles sont un élément fondamental de l'environnement, qui satisfont chez l'homme pas divers besoins directs (énergies, alimentation, eau) ou indirects (équilibre écosystémique, régulation climatique). Par ailleurs, les externalités positives apparaissent quand les ressources naturelles (les ressources en eau en sont un exemple) offrent des services et des biens à leurs usagers, mais également à l'ensemble de la société, sans être totalement prises en compte par le mécanisme du prix. En revanche, les externalités négatives surviennent quand l'exploitation d'une ressource naturelle débouchent sur des effets nuisibles au bien-être social, sans que ces coûts ne soient considérés dans le prix marchand.

Les externalités négatives constituent une problématique centrale dans l'analyse économique sur l'eau. Ainsi, conformément aux définitions précitées ci-dessus, l'analyse des externalités négatives en relation avec le problème du déséquilibre entre l'offre et la demande en eau, peut être abordée sous deux angles distincts :

Les externalités négatives liées à la demande en eau : il s'agit dans ce cadre des comportements de certains usagers qui affectent négativement les besoins d'autres utilisateurs,

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

sans qu'une compensation ne soit prévue pour des pertes du bien-être engendrées. Autrement dit, lorsqu'un usage de l'eau dépasse un seuil qui correspond à une quantité rationnelle, portant atteinte ainsi à des capacités de régénération de la ressource, sans qu'aucune indemnisation ne soit imposée, on est en présence d'une externalité négative liées à la demande. Un exemple intéressant est celui de l'irrigation agricole. L'absence de technologies d'économie de l'eau, et le recours à des pratiques irrationnelle sont à l'origine d'une augmentation significatives des ressources en eau dans ce secteur, générant ainsi des externalités négatives accélèrent la pression sur la demande en eau.

Les externalités négatives liées à l'offre en eau : il relève de perturbations qui altèrent la quantité et (ou) à la qualité des disponibilités en eau, générant un coût social, sans pour autant qu'un mécanisme de compensation ne soit instauré. L'exemple le plus marquant, est celui des effets des changements climatiques, qui pèsent lourdement sur l'offre en eau. En effet, les activités anthropiques depuis la révolution industrielle sont la cause principale de la dégradation des ressources hydraulique de la planète. Le réchauffement climatique, illustré par une augmentation de la température moyenne de la Terre en un siècle de 1 degré, a favorisé le phénomène d'évapotranspiration, affectant l'humidité des sols et réduisant la quantité d'eau disponible. De même, les effets des changements climatiques se manifestent également par la baisse des niveaux de précipitations mondiales de 20 %, entre 1961 et 2005 (Woillez, 2019). Aussi, l'externalité négative peut porter sur la qualité de l'offre. Par exemple, lorsqu'une usine s'implante en amont d'une rivière, et rejette des polluants dans les nappes phréatiques, sans supporter le coût des dommages causés à la collectivité.

En définitive, deux principales sources d'externalités sont à l'origine du problème du déséquilibre entre la demande et l'offre en eau. D'une part, au niveau de la demande, les comportements de consommation non maîtrisés des usagers débouchant sur la surexploitation des ressources hydrauliques. Ces comportements, ont incité les économistes à proposer des instruments d'interventions afin de réguler la demande ; d'autre part, au niveau de l'offre, les effets des changements climatiques, causés par l'activité humaine, provoquant une dégradation des disponibilités moyennes en eau conventionnelle. Cette question a suscité l'intérêt des théoriciens en sciences économiques, de développé des modèles de croissance durable, prenant en considération la dégradation du capital naturel, en l'occurrence, l'offre en eau conventionnelle.

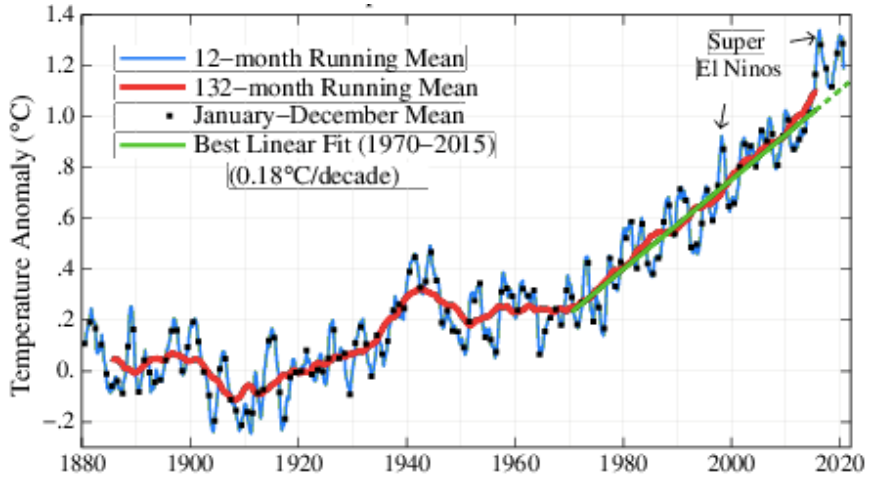
African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

3. Les effets des changements climatiques sur les ressources en eau

3.1 Problème climatique

Personne ne peut nier les possibilités d'existence des changements climatiques, ni leurs effets sur les ressources naturelles, dont les ressources en eau est l'exemple le plus marquant. En fait, de 1920 jusqu'en 2020, la température moyenne globale de la terre a augmenté d'un degré (1 c°) (voir la figure 1). Cette altération de la température moyenne ne se limite pas à une simple augmentation des niveaux de température, mais induit également des perturbations sur le cycle hydraulique, principalement à cause du phénomène de l'évapotranspiration, qui entraîne une perte importante des ressources en eau[7].

Figure 1: Évolution de la température moyenne de la Terre entre la période 1880 et 2020 en C°



Source : Site officiel de l'université de Columbia[8]

L'accumulation historique des émissions de gaz à effet de serre a intensifié d'une manière considérable le réchauffement climatique, influençant non seulement le système hydrique, mais aussi d'autres aspects environnementaux et socio-économique. Parmi les conséquences les plus préoccupantes figurent : la hausse du niveau des mers, la perte de biodiversité, aussi bien au niveaux des écosystèmes terrestres que marins, ainsi que l'augmentation des risques liés à la santé, à l'approvisionnement en moyens de subsistance, à la sécurité alimentaire, et à la croissance économique (Allen et al., 2018, p. 7, 8, 9). Les causes de ces émissions sont généralement incombées aux activités humaines telles que la production et la consommation d'énergie, le transport, la déforestation et l'agriculture (Abbas, 2011, p. 154). Dans ce sens, le

[7] Les effets du réchauffement climatique concernent l'augmentation des niveaux moyens de la température, les effets extrêmes tels que la sécheresse et les inondations (Allen et al., 2018, p. 7).
[8] http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature/

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

dioxyde de carbone (CO_2) est identifié comme le contributeur majeur à l'effet de serre d'origine anthropique. Les projections indiquent que sa concentration atmosphérique pourrait atteindre 750 ppm[9] en 2030, tandis que le seuil limite à ne pas dépasser se situe entre 450 à 550 ppm (Abbas, 2011, p. 154, 155). Une telle situation engendrerait une hausse de la température de la planète de 2,7 à 4,7 entre 2008 et 2100 (Abbas, 2011, p. 155). De plus, la moitié des émissions d'origine anthropique en CO2 cumulées entre 1750 et 2010 est générée au cours des 40 dernières années (Edenhofer et al., 2014, p. 7). Les effets des changements climatiques sont inévitables, à moins qu'une politique globale soit mise en place, par la communauté mondiale. Néanmoins, même si des mesures sont adoptées à l'échelle internationale, leurs bénéfices ne serons pas immédiats, mais s'inscrivent dans une perspective de long terme. Plus la mise en œuvre des politiques d'adaptation est reportée, plus les efforts recquis seront considérables et plus les résultats attendus s'éloigneront dans le temps (Parry et al., 2009, p. 1102).

Par ailleurs, un autre problème majeur concerne le coût d'adaptation aux effets des changements climatiques. En effet, les estimations de ce coût est beaucoup plus important par rapport aux prévisions actuelles (Parry et al., 2009, p. 1102). Même en considérant le scénario 1[10] (le pic en 2015) privilégié par Parry et al, censé être le scénario le plus optimiste, le coût d'adaptation est estimé à 1 billion de dollars par an d'ici 2030[11], un coût qui comprend à titre d'exemple les coûts liés au maintien des capacités d'irrigation dans les zones asséchées (Parry et al., 2009, p. 1103). En définitive, et en rapport avec le prix assumé par l'humanité vis-à-vis des ECC, le rapport Stern publié en 2006, met en avance deux conclusions fondamentales : 1. le coût d'inaction par rapport à la mise en place d'une politique d'atténuation des ECC serait plus important que celui nécessaire pour stabiliser le climat. 2. Les dépenses d'atténuation n'entravent pas le développement économique, mais représente un investissement indispensable pour assurer une transition vers une économie plus durable (Bureau, 2012, p. 183).

[9] PPM (parties par million)est une unité représentant la concentration du CO2 dans l'atmosphère.

[10] C'est le scénario qui réagit plus rapidement aux effets des changements climatiques par l'adoption des procédés d'adaptation, les actions sont mises en place avant 2015, et le pic potentiel devrait arriver en 2015.

[11] Dans le même cadre, Parry remet en question la fiabilité des statistiques avancées par La Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), concernant coût d'adaptation aux effets des changements climatiques. D'après les estimations de la CCNUCC, en optant pour le scénario 1 (pic 2015) générerait un coût d'adaptation qui se situe entre 50 et 170 milliards de dollars (valeur actuelle). Néanmoins, Parry estime que ce chiffre ne reflète pas l'ampleur du défi représenté par les effets des changements climatiques (Parry et al., 2009, p. 1103).

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

3.2 La contrainte climatique source d'externalités négatives sur l'offre en eau

De la définition de l'externalité traitée ci-dessus, on peut déduire qu'une partie des effets des changements climatiques, constitue des externalités négatives, dans la mesure où ces derniers résultent directement des activités anthropiques générées par une partie de la population mondiale, sans le consentement des autres ni leur participation. Pire encore, ces derniers subissent des conséquences néfastes, de manière directe ou indirecte, sans qu'ils reçoivent de compensation[12]. En effet, il existe un lien de causalité avéré entre les activités anthropiques et le réchauffement climatique. Ainsi, selon le GIEC[13], l'activité industrielle humaine, est responsable d'une hausse de 1 c° au niveau de la température de la planète sur 1,5 c° enregistré au-dessus des niveaux préindustriels (Allen et al., 2018, p. 4). Par ailleurs, on distingue deux types d'externalités négatives liées aux changements climatiques : les externalités intra générationnelles, et celles intergénérationnelles. D'une part, pour le premier type, les externalités assumées par les humains, notamment dans des pays non développés, ont pour origine les activités économiques de leurs homologues de la même génération, appartenant à des pays développés. Les effets subis dans cette catégorie sont généralement immédiats, et un exemple typique est celui de la pollution, qui affecte l'air, l'eau et le sol, réduisant ainsi la qualité de vie des individus les plus vulnérables; d'autre part, pour le second type, il s'agit des conséquences négatives que les générations futures devront subir en raison des activités économiques des générations présentes. Ce type d'externalités se manifeste sur des horizons temporels longs, ce qui rend l'identification des responsables difficile. Les générations futures pourraient ainsi subir les effets irréversibles des changements climatiques, sans avoir participé aux décisions qui les ont engendrés. Dans les deux cas, la partie lésée subit un coût supplémentaire lié aux effets externes, qui devrait toujours pris en compte dans tout analyse économique. Par ailleurs, analyser la question des effets des changements climatiques sur les générations futures, nous amène à un débat majeur opposant deux écoles de la pensée économique : l'économie de l'environnement et l'économie écologique. l'économie de L'environnement, ancrée dans la pensée néoclassiques, affirment que le fait de cesser le développement économique, sous prétexte de préserver l'environnement contre les effets des changements climatiques, au profit des générations futures reviendrait à imposer une dictature

[12] De plus, les pays développés ne respecte pas la limite d'émissions des GES à ne pas dépasser, comme l'illustre le graphique disponible sur le site https://jancovici.com/changement-climatique/economie/la-croissance-economique-fait-elle-de-leffet-de-serre/

[13] Le rapport du groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (EIEC), « Réchauffement climatique de 1,5 c° » 2018

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

en faveur de celles-ci, au détriment du bien-être des générations actuelles. Une telle conviction est justifiée par deux éléments principaux : 1. les générations futures, bénéficiant d'un capital économique accumulé au fil du temps, disposeront de ressources financières et technologiques suffisantes pour faire face aux effets des changements climatiques (Nordhaus, 2007, p. 18). 2. le progrès technique joue un rôle majeur dans la réduction du coût d'adaptation chez les génération futures (Godard, 2007, p. 495). Ainsi, la capacité des générations futures à développer et exploiter des solutions technologiques avancées leur permettra d'atténuer les impacts négatifs du réchauffement climatique. Cependant, les partisans de l'économie écologique sont beaucoup plus préoccupés à l'avenir des générations futures. Ils considèrent que les effets des changements climatiques sont d'une ampleur que tout retard dans les politiques d'atténuation augmentera les coûts d'adaptation supportés par les générations futures, d'une manière exponentielle. De plus, pour les écologistes, les émissions des gaz à effet de serre génèrent des dommages irréversibles, justifiant l'urgence d'entreprendre des mesures drastiques pour préserver le climat, et donc pour maintenir un niveau du bien-être chez les générations futures, au moins égal à celui des générations actuelles.

Par ailleurs, la spécificité des ressources en eau, comme un bien naturel lié à la sécurité alimentaire, la survie et la vie en général, rend les effets des changements climatiques, ressentis par la population mondiale. Ainsi, à cause des activités humaines, illustrées notamment par les émissions des gaz à effets de serre, la population mondiale connaît des périodes, de plus en plus difficiles, caractérisées par des perturbations climatiques, avec la diminution des niveaux de précipitations et la gravité du phénomène de l'évaporation, ce qui réduit les disponibilités de l'offre en eau. Les organismes internationaux tirent la sonnette d'alarme et appellent à adopter une approche participative dans la lutte contre les effets des changements climatiques, à travers la coordination et les synergies, aussi bien sur le plan global que sur le plan décentralisé.

3.3 La nature de la protection contre les effets des changements climatiques

La protection contre les effets des changements climatiques constitue un bien collectif, (Parry et al., 2009, p. 1103) dans la mesure où les bénéfices de cette protection sont accessibles simultanément à l'ensemble des individus, sans possibilité d'exclusion. deux formes globales de mesures sont mises en œuvre à cet effet : les politiques d'atténuation et les politiques d'adaptation.

La majeure préoccupation des économistes des effets de changements climatiques se traduit par l'évaluation de l'efficacité de ces deux types de mesures.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

La politique d'atténuation cherche à réduire les impacts des changements climatiques en limitant les émissions des gaz à effet de serre. Les mesures attendues dans ce cadre sont d'ordre global. Autrement dit, l'adoption d'une telle politiquee demande une concertation commune à l'échelle internationale. Mais le vrai problème est l'incertitude qui est attribuée, d'un côté, aux trajectoires d'émissions climatiques dans les 100 ans suivants[14] ; d'un autre côté, aux paramètres internes du modèles (les coûts des technologies énergétiques, prévisions sur le PIB, etc.) (Rosen & Guenther, 2015, p. 96). Le problème de l'incertitude rend toute modélisation de l'évaluation des coûts d'atténuation et d'adaptation aux changements climatiques complexe. Néanmoins, les résultats issus de ces modèles permettent au moins de présenter une approximation utile aux décideurs afin de mettre en place des mesures de lutte contre les changements climatiques. Quant à la politique d'adaptation, elle concerne toutes mesures visant la lutte contre la vulnérabilité des populations exposées aux effets des changements climatiques. Les mesures d'adaptation reposent sur des pratiques décentralisées, cherchant à adopter des comportements liés aux effets générés par le réchauffement climatique. La littérature économique accorde une attention particulière aux débats liés aux les politiques d'atténuation et d'adaptation aux effets climatiques. Dans ce cadre, ceux-ci, essaient d'analyser les coûts et les bénéfices en relation avec les deux politiques. Dans ces perspectives notre réflexion s'appuie sur les résultats du rapport de Stern et celui du groupe intergouvernemental des experts sur le climat (GIEC).

3.3.1 Rapport de Stern

Le rapport de Stern constitue une étude particulière, dans la mesure où il est le premier rapport de haut niveau réalisé par un économiste sur les impacts des changements climatiques sur la croissance et le développement économiques. Commandé par le gouvernement britannique, ce rapport a été dirigé par Nicholas Stern, économiste et ancien vice-président de la banque mondiale.

Selon des estimations avancées par ce rapport, le coût annuel d'une politique d'atténuation permettant de maintenir les émissions des GES en co^2 entre 500 et 550 ppm est autour de 1 % du PIB mondial[15], sous condition que des actions fortes sont rapidement prises (Stern et al., 2006, p. vii). Le rapport de Stern affirme que des facteurs tels que la vitesse de l'innovation

[14] Pour réduire cette incertitude, on opte pour l'usage d'une large gamme de trajectoire, on modélisant par l'approche des simulations.
[15] Stern a remonté le taux à 2 % en 2010 https://www.wikizero.com/en/Stern_Review

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

technologique, la présence des bénéfices-annexes[16], les décisions politiques, pourraient aussi affecter le coût de 1 % du PIB dans un sens comme dans l'autre (Stern et al., 2006, p. vii). Stern met en garde contre les conséquences d'une inaction prolongée. En effet, Plus la mise en peuvre de politiques d'atténuation est retardée, plus l'objectif de stabilisation des émissions des CO^2 à 500-550 ppm devient difficile et coûteux. Alors que l'objectif d'une stabilisation des émissions des CO^2 à un niveau de 450 ppm est déjà jugé extrêmement complexe et onéreux pour l'économie mondiale (Stern et al., 2006, p. vii). Stern qualifie le changement climatique de « plus grande défaillance du marché ». Pour y faire face, il propose dans son rapport une série de mesures d'atténuation. On cite dans ce sens (Stern et al., 2006, p. viii) : le captage et le stockage extensif du carbone, en vue de réduire l'effet sur l'atmosphère, tout en continuant à l'utiliser ; réduire les gaz à effet de serre issus des secteurs tels que la déforestation, l'agriculture et l'industrie ; la taxation des émissions carboniques ; l'encouragement de l'innovation et l'adoption des technologies à faible émission en carbone ; promouvoir l'efficacité énergétique. S'appuyant sur le protocole du Kyoto et la Convention Cadre des Nations Unies sur les CC, le rapport de Stern insiste sur la nécessité d'une coopération mondiale coordonnée, sans laquelle, les efforts isolés sont insuffisants dans la lutte contre les effets des changements climatiques. Dans les mêmes perspectives, le rapport de Stern propose des soubassements fondamentaux pour une future convention mondiale (Stern et al., 2006, p. ix) : l'élargissement des marchés de carbone pour soutenir des voies de développement sobre en carbone ; la coordination technologique et le soutien du R&D énergétique, devrait permettre l'adoption des technologies à faible émission carbonique ; le renforcement des politiques du reboisement à l'échelle internationale, suite à la place qu'occupe celle-ci dans la réduction des émissions des gaz à effet de serre ; introduire la variable du changement climatique dans les politiques du développement des pays pauvres et en développement, et soutenir celles-ci par les bailleurs des fonds. Aussi, inculquer chez les individus la culture de l'adaptation aux changements climatiques, à travers la mise en exergue des impacts des CC et promouvoir des mesures pour y faire face, notamment, l'adoption d'une agriculture moderne basée sur la culture des variétés plus résistante à la sécheresse et aux inondations. En somme, Stern recommande une réaction rapide avec une fermeté et résolution issues de tous les acteurs concernés, aussi bien à l'échelle globale qu'à l'échelle individuelle, ceci en vue de lutter ensemble contre le problème du changement climatique.

[16] Les bénéfices-annexes sont la traduction de *co-benefets*. Ils signifient des avantages indirects de la réduction des émissions des GES, l'exemple le plus connu est la propreté de l'air.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

3.3.2 Rapports du groupe intergouvernemental des experts sur le climat (GIEC)[17]

Les rapports du groupe intergouvernemental des experts sur le climat (GIEC) constituent les analyses les plus reconnues et approuvés par la communauté internationale en matière des changements climatiques[18]. Ils mobilisent une large participation scientifique et intègrent une approche multidisciplinaire. Le travail du GIEC repose sur des cycles d'évaluations. Dans ce cadre, on se réfère aux rapports issus du cinquième cycle d'évaluation. En fait, tout comme le rapport de Stern, les rapports du 5ème cycle sur le changement climatique réalisés par le GIEC, affirment l'urgence d'adopter des mesures ambitieuses et rapides. Ces mesures concernent aussi bien les politiques d'atténuation que les politiques d'adaptation. En fait, Le GIEC identifient de multiples trajectoires d'atténuation permettant de limiter le réchauffement climatique en deçà de 2 degré Celsius, par rapport aux niveaux préindustriels (Pachauri et al., 2014, p. 20). Cependant, il met en garde contre les effets potentiellement négatifs que certains efforts d'atténuation peuvent avoir sur le développement durable, chose qui nécessite une évaluation complète des politiques climatiques (Pachauri et al., 2014, p. 5). Afin de maintenir un développement durable, tout en luttant contre les effets des changements climatiques, il est indispensable de mener une politique d'atténuation fondé sur l'action collective. Le GIEC insiste sur le fait que toute tentative d'atténuation ne peut être efficace sans une coopération internationale renforcée (Pachauri et al., 2014, p. 5). Dans ce sens, la lutte contre le comportement de « passager clandestin » constitue un enjeu crucial, qui nécessite l'intégration des mécanismes de régulation et de sanction aux accords climatiques internationaux, en vue de garantir une répartition équitable des efforts[19](Pachauri et al., 2014, p. 5). Le rapport de synthèse du GIEC affirme que la politique d'atténuation génère des bénéfices et des co-bénéfices[20], ainsi que des risques liés aux effets secondaires (Pachauri et al., 2014, p. 17).

[17] Le groupe intergouvernemental des experts sur le climat (GIEC) est une institution intergouvernementale, située sous la tutelle de l'organisme météorologique mondial et du programme des Nations unis pour l'environnement. Il se compose de trois groupes de travail : le groupe de travail I, s'intéresse aux éléments scientifiques sur le climat, le groupe du travail II, se charge des conséquences de la vulnérabilité et de l'adaptation, le groupe III s'occupe de l'atténuation des changements climatiques (Site officiel du GIEC : https://www.ipcc.ch/languages-2/francais/)

[18] Contrairement aux rapport de Stern, les rapport du GIEC sont soumis à un processus rigoureux de revue critique internationale. Leur publication est conditionnée par une approbation mot à mot des représentants gouvernementaux de toutes les zones géographiques du monde (Godard, 2007, p. 480-481).

[19] Action menée de manière individuelle, où un agent économique (individu, entreprise, État, etc.) évite de participer à une action collective visant la lutte contre les effets des changements climatiques, afin de maintenir ses intérêts individuels.

[20] Au-delà de l'évolution sémantique du concept co-bénéfice, il convient de retenir que ces derniers sont des avantages indirects qui peuvent être perçus à court terme, tandis que les avantages directs représentent l'objectif fondamental pour lequel une politique climatique est mise en œuvre. Pour une analyse approfondie de ce concept,

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Cependant, ces risques demeurent largement inférieurs aux conséquences graves irréversibles d'une inaction ou d'une réponses insuffisante au changement climatique (Pachauri et al., 2014, p. 17). Dans ces perspectives, et pour parvenir à une atténuation des effets des changements climatiques, des actions sont indispensables à entreprendre par les décideurs politiques, les entreprises et les individus. On cite en particulier l'amélioration de l'efficacité énergétique et la promotion des énergies propres (Pachauri et al., 2014, p. 20).

Selon rapport du GIEC, l'adaptation aux changements climatiques consiste d'abord à réduire la vulnérabilité des structures de développement face aux aléas climatiques (Pachauri et al., 2014, p. 19). Cette approche est fondamentale pour garantir l'efficacité des politiques d'adoption, qui doivent être intégrées dans les programmes gouvernementaux et mises en œuvre aussi bien à des niveaux nationaux qu'à des niveaux locaux (Pachauri et al., 2014, p. 19). L'opérationnalisation de ces efforts repose sur plusieurs axes stratégiques : privilégier les groupes les plus exposés à la vulnérabilité face aux effets des changements climatiques ; élargir les options économiques pour réduire les risques de perte ; proposer des soutiens aux entités qui en ont besoin, en termes d'information, de cadre juridique, et d'aides financières (Pachauri et al., 2014, p. 19). Afin de faire réussir ces efforts, le GIEC met l'accent dans ses travaux sur l'importance que jouent les collectivités locales et le secteur privé dans la facilitation de l'adaptation des communautés, des ménages et de la société civile et dans gestion efficaces des politiques d'adaptation (Pachauri et al., 2014, p. 19). Aussi, les travaux met en avant l'importance de la richesse culturelle locale, notamment les savoirs traditionnels et les expériences rituelles, dans l'adaptation aux effets des changements climatiques (Pachauri et al., 2014, p. 19). C'est ainsi qu'il est indispensable que les populations autochtones soient intégrées dans la prise de décisions vis-à-vis des politiques d'adaptation[21]. Des transformations régulières au niveau économique, social, technologique ainsi qu'au niveau de la gouvernance, sont essentielles pour améliorer l'adaptation et assurer le développement durable. Ces transformation concernent plusieurs domaines : la réduction de la consommation en énergies dans les zones urbaines et la promotion des villes durables, l'économie d'usage en eau par le

il est recommandé de consulter l'article « Les co-bénéfices des politiques climatiques : un concept opérant pour les négociations climat ? » (Cassen et al., 2015)

[21] Dans le cadre de l'économie institutionnelle, Elinor Ostrom, dans son ouvrage « *Governing the commons : The evolution of institutions for collective action* » souligne que la mise en place d'une institution solide pour gérer une ressource naturelle (eaux, forêt, pâturage, etc.) repose sur plusieurs facteurs. Notamment, elle insiste sur la nécessité de la prise en considération du contexte local, y compris les conditions climatiques, ainsi que l'implication des communautés locales dans la gouvernances des ressources. Pour une analyse approfondie de ces principes, il est recommandé de consulter l'ouvrage « *Governing the commons : The evolution of institutions for collective action* ».

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

développement d'alternatives aux ressources conventionnelles, telles que le recyclage d'eau, l'adoption d'une agriculture durable (des pratiques et techniques économes en eau), ainsi que la sylviculture durable (gestion durable), la protection des écosystèmes pour l'importance des services qu'ils offrent (le stockage du carbone comme exemple) (Pachauri et al., 2014, p. 20). En définitive, le rapport souligne que l'atténuation et l'adaptation sont deux politiques intrinsèquement liées. Leur succès repose sur la mise en place d'éléments indispensables, telles que : une gouvernance efficace, de bonnes institutions, l'investissement dans l'innovation et dans les technologies et les infrastructures écologiques, des modes de vie nouveaux favorisant le développement durable (Pachauri et al., 2014, p. 26).

4. L'approche de la soutenabilité faible et le rôle du progrès technique dans la gestion de l'offre en eau

La théorie de la soutenabilité faible constitue l'une des plus marquants de l'intégration de l'environnement dans l'économie. Elle s'inscrit dans le cadre de l'approche « anthropocentré », considérant la croissance durable est possible à condition d'une exploitation maîtrisée de l'actif naturel. Cette approche part du fait que les modes de consommation évoluent de manière continue, ce qui permet une substituabilité entre les besoins des agents économiques et, généralement, entre les ressources utilisées pour les satisfaire. C'est dans ce cadre que nous traitons les modèles économiques les plus influents qui analysent la possibilité d'une croissance durable malgré la finitude des ressources naturelles.

Par ailleurs, depuis la publication, en 1972, du rapport Meadows, commandité par le club de Rome, la question de la croissance économique, en relation avec l'exploitation des ressources naturelles, restait au sommet des débats des années 1970. Dans ce cadre, des économistes tels que Dasgupta-Heal, Solow et Stiglitz, Hartwick ont contesté les résultats du rapport de Meadows, et ont proposé des modèles qui retracent les conditions d'une trajectoire optimale d'une croissance durable, et soutenaient ainsi son existence et sa possible réalisation, même en présence d'une finitude des ressources naturelles. Ces modèles s'inscrivent dans le cadre de la théorie de la soutenabilité faible, qui se basent sur deux principes essentiels. Premièrement, d'une possible substituabilité entre les facteurs de la production, notamment, la substituabilité du facteur ressource naturelle par les autres facteurs entrant dans le processus de la production. Deuxièmement, le rôle du progrès technique, qui réside dans sa capacité à transformer une production à rendements décroissants ou constants à une production à rendements croissants. L'approche de la soutenabilité faible est particulièrement pertinente dans notre étude, car elle

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

met en avant le rôle du progrès technique comme facteur de compensation de la dégradation du capital naturel.

Dans ce travail, nous nous concentrons sur trois modèles économiques majeurs, qui illustrent la relation entre l'exploitation des ressources naturelles, le rôle du progrès technique et la substituabilité entre facteurs de production : le modèle de Solow, le modèle de Stiglitz et celui de Hartwick.

4.1 Modèle de Solow

Un des modèles emblématiques intégrant les ressources naturelles dans la théorie de la croissance économique est celui de Robert Solow. Ce modèle examine les conditions nécessaires pour atteindre une croissance optimale à long terme, en tenant compte de l'exploitation des ressources naturelles épuisables. La formulation de base du modèle de Solow se présente comme suit (Solow, 1974, p. 4) : Q = F (K, L)

K_0 Le stock du capital initial au temps 0 (le présent)

Selon Solow, la consommation agrégée maximale possible à atteindre durablement est réalisable dans le cas où $\dot{K} = 0,\ K = K_0,\ C =$ F $(K_0 L)$. (1)

En introduisant la variable des ressources naturelles dans le modèle, il devient :

Q = F $(K, L)R^h$ (2) R : Flux d'extraction de la ressource naturelle.

En utilisant la fonction Cobb-Douglas, on obtient :

Q = $e^{mgt}L^g R^h K^{1-g-h}$ (3) Avec : mg le taux du progrès technique neutre à la hicksienne[22]

Le problème à résoudre est de déterminer la plus grande c_0 possible pour la fonction définie comme suit : $y(t) \geq 0 \quad (\forall\ t\ \geq 0)$ Sc $L_0 \int_0^{+\infty} y(t)e^{(m+n)t}\,dt \qquad \bar{R} \leq 0$ (3)

Pour résoudre le problème, Solow part de la minimisation de la somme suivante :

$\int_0^{+\infty} y(t)e^{(m+n)t}\,dt$ (4)

Si le résultat de la minimisation de (4) est supérieur à $\frac{\bar{R}}{L}$, la valeur de c_0 choisie est trop grande et doit ainsi être réduite ; si la valeur de la minimisation est inférieure à $\frac{\bar{R}}{L}$, c_0 choisie est si petite, et doit alors être augmentée. La résolution du problème est établie lorsque c_0 choisie donne lieu à une valeur de minimisation de (4) qui soit exactement égale à $\frac{\bar{R}}{L}$.

[22] La neutralité selon Hicks porte sur la production, autrement dit l'effet du progrès technologique porte sur la production, et la proportion des facteurs $\frac{F_L}{F_K}$ reste inchangée. (Zind, 1981).

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

- En cas d'absence du progrès technique, l'analyse de la durabilité de la croissance avec l'exploitation des ressources naturelles était faite par Solow, en utilisant la fonction (3) rapportée sur le travail L, (la productivité moyenne du travail). La fonction est reformulée de la façon suivante : $\frac{Q}{L} = e^{mgt}(\frac{R}{L})^{h}(\frac{K}{L})^{1-g-h}$ (5)

En absence du progrès technique, et du fait que la ressource naturelle est épuisable, l'unique moyen pour maintenir l'existence d'un flux de consommation positif est d'accélérer suffisamment l'accumulation du capital pour que $\frac{K}{L}$ tend vers l'infini, et compenser ainsi la tendance du $\frac{R}{L}$ vers 0. (Solow, 1974, p. 15, 16). Néanmoins, selon Solow, il semble que le maintien du progrès technologique est probablement nécessaire à l'existence d'un flux de consommation positif (Solow, 1974, p. 16).

En définitive, le modèle de Solow met en évidence qu'une croissance durable en présence des ressources naturelles, en particulier épuisables, est conditionnée par le fait que l'élasticité de substitution entre la ressource naturelle et les facteurs (capital, travail) soit supérieure ou égale à 1 (Solow, 1974, p. 24). En outre, Solow stipule que la substitution entre le progrès technique et les facteurs de production est un garant de la durabilité de la croissance, même en présence des ressources épuisables. De plus, dans une hypothèse d'absence du progrès technologique, Solow insiste sur le fait que pour maintenir une consommation positive, il est nécessaire d'avoir une accumulation rapide et suffisante du capital, afin de compenser la tendance du ratio R/L vers zéro par celle de K/L vers l'infini (Solow, 1974, p. 15, 16).

On doit noter que ce qui est présenté comme résultats pour les ressources épuisables est valable pour les ressources inépuisables (Fagnart & Germain, 2012, p. 33).

4.2 Modèle de Stiglitz

Le modèle de base est représenté comme suit (Stiglitz, 1974, p. 124) :

Q = F $(K, L, R, t) = K^{\alpha 1}L^{\alpha 2}R^{\alpha 3}e^{\lambda t}$ (6), avec $\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 = 1$

On a : R : le taux d'exploitation des ressources naturelles ; L : l'offre de travail ; λ : le taux de progrès technologique, supposé constant et Q : la production.

La production Q peut être orientée soit vers la consommation C ou vers l'investissement K̇, tel que Q = C + K̇ (7). On suppose que l'amortissement de la production Q est négligeable, et on considère que la croissance de la population est constante, avec un taux de n égal à L̇/L.

La différentielle logarithmique de la fonction de production (6) donne la formule suivante : $g_Q = \alpha 1 g_K + \alpha 2 n + \alpha 3 g_R + \lambda$ (8) / avec g_Q = Q̇/Q ; g_K = K̇/K ; etc., représente la croissance de la grandeur en question.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Nous avons β = Q/K le ratio Production / capital (Productivité du capital) s = Ḱ/Q (9) et x = 1-s (x : la part de la production destinée à la consommation)

En équilibre, $\alpha 1\beta = g_Q - g_R$ (10), c'est-à-dire que la productivité marginale du capital est égale à la différence entre les taux de croissance de la production et de la ressource exploitée.

Stiglitz définit, pour tout sentier équilibré à long terme, les taux de croissance de Q, R, et de β comme suit : $g_Q = \frac{\alpha 2n + \lambda - \alpha 1\beta}{\alpha 1 + \alpha 2} + \alpha 1\beta$ (11) / $g_R = \frac{\alpha 2n + \lambda - \alpha 1\beta}{\alpha 1 + \alpha 2}$ (12)

$g_\beta = g_Q - g_K = \frac{\alpha 2n + \lambda - \alpha 2\beta x}{\alpha 1 + \alpha 2} - (1 - \alpha 1)\beta$ (13) avec, $\beta_x = c/K$

Le taux d'exploitation de la ressource par rapport à son stock est représenté par la forme y = R/S et la croissance de celui-ci est présentée comme suit : $g_y = \dot{y}/y = g_R + y$ (14)

Le modèle de Stiglitz tente ensuite d'analyser un possible maintien d'une croissance durable en présence d'une ressource naturelle épuisable.

$\beta \to \beta^*$ et $x \to x^*$ implique que d'après (12) g_R soit constant et d'après (14) y = $-g_R$.

Selon le modèle, le point (β^*, β_x^*) est un point selle, puisqu'il n'existe qu'un seul sentier qui converge vers ce point[23]. Le travail de Stiglitz tire les résultats suivants à l'équilibre :

-y*= $\frac{gc(1-\alpha 1)(\alpha 2n + \lambda)}{\alpha 3}$ (15) et -y*= $\frac{(\alpha 2n + \lambda)(s* - \alpha 1)}{\alpha 1\alpha 3 + \alpha 2 s*}$ (16) avec s représente l'épargne.

Tout sentier où la consommation évolue à un taux constant, doit d'une manière asymptotique présenter des taux constants d'épargne, de substitution des inputs à la ressource, ainsi que du ratio flux/stock de la ressource naturelle (proposition 1) (Stiglitz, 1974, p. 126)

Aussi une augmentation du taux d'épargne accroît le taux de la croissance ainsi que le rapport capital/production, ceci engendre la diminution de l'usage des ressources naturelles. (Proposition 2) (Stiglitz 1974, p. 127)

Également, une efficiente croissance implique un taux d'épargne inférieur à $\alpha 1$, la part du capital. (Proposition 3) (Stiglitz, 1974, p. 134)

L'apport majeur du modèle de Stiglitz réside dans l'effet du progrès technologique sur la préservation des ressources naturelles. En effet, d'après la relation (15), $g_c < \frac{\alpha 2n + \lambda}{1 - \alpha 1}$, ce qui implique que la condition nécessaire et suffisante pour maintenir durablement un même niveau de la consommation par tête est que le taux du progrès technique rapporté au taux de croissance

[23] Voir l'article de Stiglitz « *Growth with Exhaustible Natural Resources* : *Efficient and Optimal Growth Paths* », particulièrement, la figure 1, dans la page 126, représentant la courbe qui retrace les sentiers de croissance en termes de β *et* βx.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

de la population soit supérieur ou égal à $\alpha 3$, l'élasticité de la production à la ressource naturelle $\frac{\lambda}{n} > \alpha 3$ (proposition 4) (Stiglitz, 1974, p. 134)

Par ailleurs, Stiglitz préconise qu'en termes d'une analyse intertemporelle, des sentiers de croissance associés à des taux d'épargnes plus grands engendrent une consommation actuelle plus faible que la consommation future.

***Cas particulier**, (cas d'absence de progrès technique ($\lambda = 0$) sous les hypothèses : n= g_c= 0. Dans ce cas, il n'existe qu'un seul sentier (au plus) satisfaisant une croissance équilibrée, c'est le cas où le taux d'épargne est égale à la part des ressources naturelles (s*=$\alpha 3$) (proposition 5a) (Stiglitz, 1974, p. 134)

Une autre proposition importante définissant le sentier efficient de la croissance proclame que pour maintenir un niveau constant de la consommation par tête, sous l'hypothèse de zéro progrès technologique, et zéro croissance démographique, une condition nécessaire et suffisante doit avoir lieu, c'est que la part de ressource naturelle $\alpha 3$ soit inférieur à celui du capital $\alpha 1$. $\alpha 3 < \alpha 1$ (proposition 5b) (Stiglitz, 1974, p. 134)

Autrement dit, sans progrès technique, une croissance équilibrée à long terme reste envisageable dans une économie reposant davantage sur le capital plus que sur les ressources naturelles. L'accumulation du capital joue un rôle compensatoire, permettant de pallier la dégradation du stock de ressources naturelles et d'assurer la continuité de la production.

Par ailleurs, en présence du progrès technologique, il est possible de maintenir des sentiers de croissance soutenable, caractérisés par une production sans déclin, même en cas de diminution continue de l'usage des ressources naturelles. En définitive, la régression de celle-ci ne met pas en cause la croissance, grâce à l'existence du progrès technique, il est possible de réduire la dépendance aux ressources naturelles, assurant ainsi la pérennité de la croissance. En fait, en présence des rendements d'échelle croissants ($\alpha 1 + \alpha 2 + \alpha 3 > 1$), le taux du progrès technologique requis pour compenser les impacts négatifs de la diminution de la ressource naturelle est faible. En optant à la fonction Cobb-douglas le taux requis du progrès technologique correspond à la formule suivante $(\alpha 1 + \alpha 2 - 1)n + \lambda > 0$ (Stiglitz, 1974, p. 131)

En outre, le travail de Stiglitz s'est également intéressé à la recherche de la croissance optimale. Dans ce cadre, l'objectif de son modèle est d'identifier les conditions d'un équilibre qui maintient à un niveau constant la consommation par tête.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Pour résoudre le problème, Stiglitz faisait mobilise l'analyse par l'approche optimale[24].

Pour déterminer le sentier optimal de la croissance, voici le modèle à maximiser (Stiglitz 1974, 132).

max $\int_0^{\pm\infty} u(c)e^{-(\delta-n)^t}dt$ (17) tel que , c : la consommation et δ : le taux d'actualisation

Soit u (c) = $\frac{c^v}{v}$ (18) avec v <1 , ≠ 0 S.C $\begin{cases} C = Q - \dot{K} \\ \int_0^{+\infty} R\,dt \leq s \circ \end{cases}$ (19)

On considère : $u(c) = \ln(c)$ qui correspond à v = 0 (cas particulier)

D'où, pour qu'un optimum existe, faut-il que : $\delta > n + \frac{\lambda - \alpha 3 n}{\alpha 2 + \alpha 3}$ (20)

En outre, sous les conditions du maintien des rythmes constants des g_x (la croissance de la part de la consommation dans la production) ; g_β (la croissance de la productivité du capital) et de g_y (la croissance de la part des ressources naturelles exploitées sur le stock de celles-ci), la trajectoire optimale de croissance correspond aux valeurs d'équilibres suivants (Stiglitz, 1974, p. 134):

$\beta^* = \frac{\delta\alpha 2 + \lambda(1-v)}{\alpha 1(1-\alpha 1-\alpha 3 v)}$ (21) $s* = 1 - x = \frac{\alpha 1[(1-\alpha 1-\alpha 3 v)n+\lambda-\alpha 3\delta]}{\lambda(1-v)+\alpha 2\delta}$ (22) $y^* = \frac{\delta(1-\alpha 1)-v\lambda}{1-\alpha 1-\alpha 3 v}$ (23)

Dans le cas où la fonction d'utilité est de type logarithmique, le ratio y est défini comme la différence entre la préférence pour le présent (taux d'actualisation) et le taux de croissance de la population. Autrement dit, plus le taux d'actualisation est élevé, plus l'exploitation des ressources naturelles progresse plus vite.

Les résultats obtenus selon le modèle de Stiglitz démontrent que la trajectoire[25] $\{\beta(t); x(t)\ et\ y(t)\}$ convergeant vers les valeurs définies par les relations 21, 22 et 23, est la trajectoire optimale de l'économie. (Stiglitz, 1974, p. 134)

4.3 La règle de Hartwick

Cas du modèle avec ressources non renouvelables

Afin d'approfondir l'analyse du traitement l'efficience d'exploitation des ressources naturelles dans le cadre du modèle de Hartwick, il convient d'expliciter les principales variables économiques utilisées (Hartwick, 1977, p. 973) :

[24] C'est une théorie mathématique, dont l'objectif est de déterminer les solutions optimales en fonction de critères d'optimisation prédéfinis. Elle permet d'analyser un système dynamique, décrit par une variable (variable d'état), vérifiant une ou multiples lois d'évolution. De plus, le système étudié peut être influencé par des variables de contrôle. (Ionel Sorin, 2018).Pour une analyse approfondie sur cette théorie, il est recommandé de consulter le cours de contrôle optimal, réalisé par ciuperca et Ionel Sorin. http://math.univ-lyon1.fr/~ciuperca/polytech-mam5-controle//cours-controle-opt-2018-2019.pdf

[25] L'une des conditions fondamentales du modèle de Stiglitz est définie comme suit : $\beta_0 = K_0^{\alpha 1-1} L_0^{\alpha 2} S_0^{\alpha 3} y_0^{\alpha 3}$ (voir le modèle de Stiglitz) (Stiglitz, 1974, p. 136).

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Capital reproductible K (t), ressource épuisable y(t), produit x(t), consommation courante c (t), coût d'extraction ay(t) tel que a est le coût mesuré par unité de production correspondant à l'extraction d'une unité de ressource épuisable et Dk représente l'investissement[26].

On a $x(t) = c(t) + DK + ay(t)$ (24)

La fonction d'investissement ou d'épargne selon Hartwick prend la forme suivante :

$Dk = (f_y - a)\, y(t)$ (25). Cette forme indique que l'investissement en capital est égal à la relation produit de la différence unitaire entre la productivité et a le coût du facteur ressource naturelle par le flux de la ressource en t. Selon Hartwick l'efficience d'exploitation de la ressource naturelle est caractérisée par $\frac{d \log (f_y - a)}{dt} = f_k$ (26)

(25) et (26) correspondent à des dynamiques de l'économie. (Hartwick, 1977, p. 973).

La fonction de production est présentée dans le modèle de Hartwick comme suit :

$Dx = f_k\, Dk + f_y Dy$ (w)[27]

Une équation importante est obtenue par Hartwick :

$\beta\left[f_y\, D_y + (f_y - a)\, y\right] = f_y\, D_y + (f_y - a)\, y$ (27)

Étant donné que $0 < \beta < 1$, alors $f_y\, D_y + (f_y - a)\, y = 0$

D'après (w) on déduit que $Dx = 0$

Et puisque $c(t) = (1 - \beta)\, x(t)$, on arrive ainsi au résultat que la consommation par tête est constante dans le temps.

-<u>l'introduction d'un taux de dépréciation du capital δ</u>

On considère que le capital reproductible se déprécie avec un taux de δ, la fonction épargne-investissement de Hartwick (y) devient $Dk + \delta k = (f_y - a)\, y(t)$. Dans ce cas-là, $Dc = -\delta f_k k$.

En introduisant la dépréciation du capital reproductible dans le modèle de Hartwick, ce dernier démonte que la règle d'investissement-épargne ne suffit pas à garantir le maintien de la consommation par tête constante. Il avançait que si une diminution de la consommation par tête est constatée, cela résulte du fait qu'une partie de la production doit être allouée à la compensation de la dépréciation actuelle du capital reproductible.

[26] La notation D, suivi d'une variable, correspond à la dérivée de celle-ci par rapport au t comme par exemple (Dk= dk/dt) (Hartwick, 1977, p. 973).

[27] La fonction de production Cobb-Douglas présentée par Hartwick sous la forme suivante : X= F (K, Y, L) = $K^{\alpha} Y^{\beta} L^{\gamma}$ (1), avec $\alpha + \beta = 1$

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

En définitive, Hartwick souligne que pour maintenir la consommation par tête constante, en cas d'absence de la dépréciation du K, il est nécessaire que toutes les rentes issues de l'exploitation des ressources naturelles soient investies dans la construction du nouveau capital reproductible. Dans ce sens, les investissements réalisés, bénéficiant d'un avancement important au niveau technologique, peuvent compenser la dégradation des ressources naturelles. Néanmoins, Hartwick, en ajoutant l'élément de la dépréciation du capital, suivant un taux de δ, la consommation par tête n'est plus constante, suite à une perte accaparée par une quantité assignée à la compensation de ladite dépréciation.

Cas du modèle avec des ressources non renouvelables et renouvelables

soit le modèle de base suivant (Hartwick, 1978, p. 85): $Y = f(K, R, H, L, S, Z)$ (28)

Y: Production ; K: Stock du capital reproductible ; R: Flux en ressources venant des ressources non renouvelables ; H: Flux en ressources venant des ressources renouvelables ; L : Flux en travail ; S : Stock en ressources non renouvelables ; Z : Stock en ressources renouvelables et la dépréciation du capital reproductible est la constante δ

Soit la relation suivante : $C = Y - \dot{K} - \delta K$ (29), avec C : la consommation agrégée ; $\dot{K}$: l'augmentation en capital reproductible issue de l'investissement.

L'efficience dynamique exige pour le cas des ressources non renouvelables :

$$\frac{\dot{f_R} - f_S}{f_R} = f_K - \delta \text{ (v)} \quad (30)$$

Et dans le cas des ressources renouvelables, l'efficience dynamique exige :

$$\frac{\dot{f_H} - f_Z}{f_H} + \emptyset(Z) = f_K - \delta \quad (31)$$

Tel que : f_η est la dérivée partielle de la fonction η, avec $\eta = K, R, H, L, S, Z$

$\emptyset_Z$: la dérivée de la fonction de croissance $\emptyset(Z)$ du stock Z

La relation d'épargne- investissement selon Hartwick prend la forme suivante :

$$\dot{K} = f_R R + f_H [H - \emptyset(Z)] \quad (32)$$

L'un des majeurs apports de Hartwick réside dans la démonstration qu'une économie combinant des ressources renouvelables et non renouvelables, il est possible de maintenir une consommation par tête constante[28] à long terme, sous deux hypothèses essentielles : un épargne-investissement qui évolue sous la relation (32) et des efficiences dynamiques (30) et (31)

[28] Dans son article « *Investing returns from depleting renewable resource stocks and intergenerational equity* » Hartwick démontre le résultat d'une consommation par tête constante durablement, voir l'article en question, page 87.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

respectivement liées à l'exploitation des ressources non renouvelables et des ressources renouvelables.

4.5 Limites de la soutenabilité faible

D'après les partisans de la soutenabilité faible soutiennent que le maintien de la croissance durable est possible, tant que certaines conditions soient remplies. L'une des hypothèses centrales de ce courant est la substituabilité du progrès technique au capital naturel, en dépit de la raréfaction, voire même l'épuisement des ressources naturelles. De tels résultats ont toutefois suscité de vifs discussions et débats entre les économistes, notamment les partisans de l'économie écologique, qui défendent un paradigme alternatif : « la soutenabilité forte ».

Le courant soutenant la thèse de la soutenabilité forte repose sur l'idée que la croissance économique est contrainte par l'impact des lois physiques, celles-ci limitent largement les possibilités de substitutions entre le facteur « ressource naturelle » et le facteur « progrès technique ». Il s'appuie notamment sur la loi de la conservation de l'énergie, le deuxième principe de la thermodynamique et notamment la loi de la conservation de la matière. En effet, pour la production d'un bien contenant une masse quelconque, au moins l'équivalent de celle-ci doit être présent dans l'input[29] (Fagnart & Germain, 2012, p. 12). Cela, bien entendu, met en question le principe de la substituabilité du capital naturel par le progrès technique, dans la mesure où le contenu matériel de la production ne peut pas être le résultat des inputs immatériels (Fagnart & Germain, 2012, p. 13).

Costanza, un des pionniers de la soutenabilité forte, définit la croissance durable comme la capacité des écosystèmes à se réparer. C'est dans ce cadre qu'il affirme que le développement économique est l'amélioration de la qualité de vie, et non l'accroissement de la quantité des ressources consommées (Costanza, 1991, p. 342).

De leur part, Dietz et Neumayer insiste sur la nécessité de le capital naturel critique (Dietz & Neumayer, 2007, p. 22). Les deux auteurs ont fortement critiqué la soutenabilité faible et ont même mis en cause l'autre version de la soutenabilité forte portant sur une possible substitution du capital naturel par une autre forme du capital naturel (Dietz & Neumayer, 2007, p. 15).

[29]Une fraction de la masse de l'output peut être conservée dans le bien produit, tandis qu'une autre fraction est convertie en déchet. Fagnart et German, ont proposé un modèle de croissance endogène où le progrès technologique ne permet pas de contourner cette contrainte physique fondamentale. Dans ce sens, la quantité de ressource matérielle x_t nécessaire à la production de y_t est composée d'une partie incorporée dans les biens produits μ_t et d'une autre partie transformée en déchet dans le processus de production χ_t , tel que $x_t = (\mu_t + \chi_t)\, y_t$ (Fagnart & Germain, 2011, p. 6)

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Certains économistes ont même critiqué le concept de l'utilité du développement durable, et proposent des modèles alternatifs. Daniel W. Bromley conteste l'analyse faite par les auteurs de la soutenabilité, basée sur un jeu à somme nulle, où le gain de la génération actuelle serait une perte pour la génération future. Bromley évoque dans ce sens de legs sociaux, et explique que la durabilité nécessite d'aller chercher ce qu'on va transmettre (quoi ?) au lieu de se mêler dans la recherche des quantités à laisser à la génération de l'avenir (combien ?) (Bromley, 1998, p. 83). selon le même auteur, pour atteindre des résultats escomptés, les économistes peuvent contribuer à en faire, via le renforcement de la rationalité procédurale du décideur, en mettant en garde contre les coûts inutiles, en proposant des informations sur les coûts d'opportunité, les coûts et bénéfices marginaux, ainsi que des éclaircissements sur le caractère d'irréversibilité des ressources (Bromley, 1998, p. 84).

En outre, dans son article « *Sustainable Development : Is it a Useful Concept ?* » Beckerman remet en cause les définitions de la soutenabilité durable, en dénonçant l'ambiguïté entre leurs démentions. Selon lui, leur aspect technique caractérisé par la recherche des conditions d'un sentier de développement ; d'autre part, la présence d'une injonction éthique exigeant de le poursuivre, sans démontrer pourquoi celle-ci est meilleure que d'autres règles (Beckerman, 1994, p. 193). Sa critique portait également sur la question des besoins, élément fondamental de la définition du développement durable, qu'il réclame inutile car c'est un concept subjectif (Beckerman, 1994, p. 194). Pour beckerman, au lieu de dépenser des sommes colossales de fonds sur la préservation de tous types d'espèces végétales au nom du développement durable qualifié par le même auteur comme concept répugnant, il aurait pu être plus pertinent de les assigner à des problèmes environnementaux plus exigeants tels que l'accès à l'eau potable et le problème de l'assainissement dont souffre une grande partie de la population mondiale (Beckerman, 1994, p. 194, 195).

En dépassant le rythme d'exploitation qui correspond au niveau de reconstitution des ressources en eau, pire encore avec la dégradation de l'offre suite aux effets des changements climatiques, ces ressources deviennent non renouvelables. Ainsi, les modèles de soutenabilité faible offrent un cadre analytique adapté à la gestion des ressources en eau.

En définitive, en s'appuyant sur le cadre analytique de la soutenabilité faible, a mis en avance le rôle central du progrès technologique pour répondre à la dégradation en offre de la ressource naturelle, en particulier, l'eau. Ainsi, tant que l'élasticité de substitution du capital naturel par d'autres formes du capital ne soit pas inférieure à 1, il demeure possible de maintenir un niveau durable de la consommation par tête (Solow, 1974, p.24). Aussi, l'exploitation du capital naturel

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

peut être remédiée à travers la compensation par le progrès technique optimal (Stiglitz, 1974, p. 134) qui facilite la découverte des autres alternatives. Ainsi, selon le même autour, il suffit que le taux du progrès technique par rapport au taux d'évolution de la population soit supérieur ou égal à l'élasticité de la production à la ressource naturelle (Stiglitz, 1974, p. 134). De plus, en investissant les rentes issues de l'exploitation des ressources naturelles dans la construction du nouveau capital reproductible (Hartwick, 1977, p. 973), tel que l'investissement dans des technologies avancées, il est possible d'assurer une croissance durable.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

5. Discussion et Conclusion

L'eau est une ressource naturelle qui souffre d'une forte demande, liée à l'évolution croissante dans le monde des besoins agricoles, industrielles, touristiques, et d'activités municipales, accentuées par la croissance démographique. De même, l'offre en eau subit une grave dégradation, notamment au dernier siècle, issue des impacts des changements climatiques. Une telle situation débouche sur le déséquilibre entre la demande et l'offre en eau. Celui-ci incombe aux caractéristiques spécifiques de l'eau. En effet, ladite ressource est un bien soumis à des propriétés de rivalité et de non exclusivité, ce qui favorise l'émergence de conflits d'usage. De plus, la ressource en eau est caractérisée par son forte exposition aux externalités négatives, non prises en compte par la structure du prix. Certaines externalités portent sur la demande, et d'autres sur l'offre, ce dernier type subit les externalités les plus graves depuis l'ère industrielle, en l'occurrence, les impacts des changements climatiques.

Face à cette situation, plusieurs outils analytiques de l'économie néoclassique ont été mobilisés pour proposer une allocation optimale de la ressource. Deux grandes approches se distinguent :

- **au niveau de la gestion de la demande**, approche qui se fondent, théoriquement, d'une part, sur l'apport de l'analyse de Coase, qui propose des solutions basées sur une bonne définition des droits de propriétés, et sur la réduction des coûts de transactions, pour favoriser des mécanismes de marchés tels que les marchés de l'eau ; d'autre part, sur le résultat de l'analyse de Pigou, qui prône une intervention étatique, illustrée par la taxe écologique. Or, l'approche basée sur la gestion de la demande montre ses limites face à son incapacité à absorber la montée des besoins en eau, et l'insuffisance de l'offre.
- Dans cette perspectives nous avons mis l'accent sur les solutions proposées par la théorie économique, **au niveau de la gestion en offre**. Ainsi, le recours aux outils d'analyse macroéconomique s'avère plus pertinent, en s'appuyant sur l'évaluation des modèles du développement durable, qui ciblent d'un côté, le maintien de l'efficacité économique, et la stabilité sociale ; de l'autre côté, l'assurance durable des services offerts par les ressources naturelles. Ainsi, pour l'évaluation théorique des solutions portées sur la gestion de l'offre en eau, notre analyse est fondée sur l'approche néoclassique, basée sur le paradigme anthropocentré, illustré, particulièrement par la théorie de la soutenabilité faible. Le rôle du progrès technique constitue un pilier majeurs de ce courant. Ainsi, il est démontré à travers les modèles néoclassiques de la soutenabilité faible, que progrès technique joue un rôle déterminant dans la gestion des ressources en eau. Grace aux avancées technologiques, il devient possible de

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

développer des solutions alternatives capables d'améliorer l'offre en eau et de satisfaire les besoins pour cette matière, de plus en plus importants, et ainsi, de maintenir l'approvisionnement en eau stable pour les générations futures. Ceci dit, grâce au principe de la substituabilité des capitaux, défendu par les adeptes de la soutenabilité faible, tels que Solow, Stiglitz et Hartwick. L'application des résultats de la soutenabilité faible, permet de compenser la raréfaction des ressources en eau conventionnelle par des avancées technologiques, qui se manifeste par l'adoption de ressources en eau alternatives, appelées ressources non conventionnelles telles que principalement le dessalement de l'eau de mer, la réutilisation des eaux usées traitées. l'adoption des techniques d'irrigation plus économiques comme l'irrigation localisée est une autre illustration de l'importance de l'application des résultats du progrès technique sur la gestion des ressources en eau.

Dans le modèle du développement durable néoclassique le rôle du progrès technique se manifeste également dans l'adoption des énergies renouvelables pour l'exploitation des RENC. Son importance réside, d'abord, dans sa capacité à réduire la facture énergétique, par rapport aux énergies fossiles, qui constituaient auparavant un obstacle majeur au développement des RENC, et ensuite, dans sa concordance avec les engagements environnementaux visant à réduire les émissions des gaz à effet de serre.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Références bibliographiques

Abbas, M. (2011). L'économie politique du changement climatique. *Recherches internationales*, *89*, 151-180.

Adopted, I. P. C. C. (2014). Climate change 2014 synthesis report. *IPCC: Geneva, Szwitzerland*, 1059-1072.

Allen, M., Babiker, M., Chen, Y., & de Coninck, H. C. (2018). IPCC SR15: Summary for Policymakers. In *IPCC Special Report Global Warming of 1.5 °C*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Baumol, W. J., Oates, W. E., Bawa, V. S., & Bradford, D. F. (1988). *The theory of environmental policy*. Cambridge university press.

Beckerman, W. (1994). 'Sustainable development' : Is it a useful concept ? *Environmental values*, *3*(3), 191-209.

Bromley, D. W. (1998). Searching for sustainability : The poverty of spontaneous order. *Ecological Economics*, *24*(2-3), 231-240.

Buchanan, J. M., & Stubblebine, W. C. (1962). Externality. In *Classic papers in natural resource economics* (p. 138-154). Springer.

Cassen, C., Guivarch, C., & Lecocq, F. (2015). Les cobénéfices des politiques climatiques : Un concept opérant pour les négociations climat ? *Natures Sciences Sociétés*, *23*, S41-S51.

Costanza, R. (1991). Ecological economics : A research agenda. *Structural Change and Economic Dynamics*, *2*(2), 335-357.

Dietz, S., & Neumayer, E. (2007). Weak and strong sustainability in the SEEA : Concepts and measurement. *Ecological economics*, *61*(4), 617-626.

Edenhofer, O., Ramón Pichs-Madruga, Sokona, S., Agrawala, J., Bashmakov, I. A., Blanco, G., & Broome, J. (2014). *Summary for Policymakers. Climate Change 2014 : Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). . https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf

Fagnart, J.-F., & Germain, M. (2011). Quantitative versus qualitative growth with recyclable resource. *Ecological economics*, *70*(5), 929-941.

Furlan, S. (1994). *L'apport de la théorie économique à la définition d'externalité*.

Godard, O. (2007). Le Rapport Stern sur l'économie du changement climatique était-il une manipulation grossière de la méthodologie économique ? *Revue d'économie politique*, *117*(4), 475-506.

African Scientific Journal
ISSN : 2658-9311
Vol : 03, Numéro 28, Février 2025

Hartwick, J. M. (1977). Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources. *The american economic review*, *67*(5), 972-974.

Nordhaus, W. D. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. *Journal of economic literature*, *45*(3), 686-702.

Parry, M., Lowe, J., & Hanson, C. (2009). Overshoot, adapt and recover. *Nature*, *458*(7242), 1102-1103.

Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.

Rosen, R. A., & Guenther, E. (2015). The economics of mitigating climate change : What can we know ? *Technological Forecasting and Social Change*, *91*, 93-106.

Solow, R. M. (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *The review of economic studies*, *41*, 29-45.

Stern, N. H., Peters, S., Bakhshi, V., Bowen, A., Cameron, C., Catovsky, S., Crane, D., Cruickshank, S., Dietz, S., Edmonson, N., Garbett, S.-L., Hamid, L., Hoffman, G., Ingram, D., Jones, B., Patmore, N., Radcliffe, H., Sathiyarajah, R., Stock, M., … Zenghelis, D. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Government of the United Kingdom.

Stiglitz, J. (1974). Growth with exhaustible natural resources: Efficient and optimal growth paths. *The review of economic studies*, *41*, 123-137.

Rosen, R. A., & Guenther, E. (2015). The economics of mitigating climate change: What can we know ? *Technological Forecasting and Social Change*, *91*, 93-106.

Solow, R. M. (1974). Intergenerational equity and exhaustible resources. *The review of economic studies*, *41*, 29-45.

Stern, N. H., Peters, S., Bakhshi, V., Bowen, A., Cameron, C., Catovsky, S., Crane, D., Cruickshank, S., Dietz, S., Edmonson, N., Garbett, S.-L., Hamid, L., Hoffman, G., Ingram, D., Jones, B., Patmore, N., Radcliffe, H., Sathiyarajah, R., Stock, M., … Zenghelis, D. (2006). *Stern Review: The economics of climate change*. Government of the United Kingdom.

Stiglitz, J. (1974). Growth with exhaustible natural resources: Efficient and optimal growth paths. *The review of economic studies*, *41*, 123-137.

Vallée, A. (2002). *Économie de l'environnement*. Paris: Editions du seuil.

Woillez, M.-N. (2019). Revue de littérature sur le changement climatique au Maroc : Observations, projections et impacts. *Papiers de recherche*, 1-33.