

Consommation énergétique des cultures d'oignon et de pomme de terre dans la province d'El Hajeb (Maroc)
Vers une efficacité énergétique des exploitations maraichères

Khalil Allali, Boubaker Dhehibi, Shinan Kassam and Aden Aw-Hassan

Résumé - L'efficacité de l'utilisation de l'énergie figure parmi les principales conditions d'une agriculture durable. La présente étude présente donc un double objectif. D'une part, elle cherche à déterminer la consommation énergétique pour la production des cultures d'oignon et de pomme de terre dans la province d'El Hajeb. D'autre part, elle vise à évaluer la performance de l'utilisation de l'énergie pour ces deux cultures. Les données utilisées ont été collectées moyennant une enquête auprès de 60 producteurs maraichers et ont été traitées selon la méthodologie d'analyse énergétique à travers les outils PLANETE et Excel.

Les résultats de l'analyse énergétique de la culture d'oignon indiquent que la consommation totale d'énergie s'élève à 107483,31 MJ ha⁻¹. La consommation en énergies directes est de 72135,27MJ ha⁻¹ répartie sur les postes suivants : le butane (79,48%), le gasoil (10,29%), l'électricité (9,59%) et l'essence (0,63%). La consommation des énergies indirectes est d'environ 35348,05 MJ ha⁻¹. Ses principaux postes consommateurs d'énergie sont les engrais minéraux (61,53%) et l'eau d'irrigation (30,05%). Les indices d'efficacité, de profitabilité et de productivité énergétiques s'évaluent respectivement à 0,78, -0,22 et 0,54 kg MJ⁻¹. Les émissions de GES sont de l'ordre de 3,47 teq CO₂ ha⁻¹. L'analyse énergétique de la culture de pomme de terre conclue que la consommation totale d'énergie s'établie à 74269,97MJ ha⁻¹. La consommation en énergies directes est de 28521,34MJ ha⁻¹. Elle compte les postes suivants : le butane (70%), le gasoil (19,14%), l'électricité (9,14%) et l'essence (1,72%). La consommation des énergies indirectes est de l'ordre de 45748,63 MJ ha⁻¹. Ses principaux postes consommateurs d'énergie sont les fertilisants (59,54%), les semences (21,16%) et l'eau d'irrigation (10,21%). Les indices d'efficacité, de profitabilité et de productivité énergétiques sont de l'ordre de 1,54, 0,54, et 0,45 kg MJ⁻¹ respectivement. Les émissions de GES sont estimées à 3,63 teq CO₂ ha⁻¹.

Mots clés : Analyse énergétique, consommation énergétique, culture d'oignon, culture de pomme de terre, indicateurs énergétiques, émissions des GES.

**Energy consumption of onion and potato crops in the province of El Hajeb (Morocco):
Towards energy use efficiency in commercialized vegetable production**

Abstract - Efficient use of energy in agriculture is one of the principal requirements for sustainable production. The aim of this study was to determine the amount and efficiency of energy consumed in the production of onions and potatoes in El Hajeb province of Morocco.. Data were collected through administration of a direct questionnaire with 60 farmers and analyzed using conventional energy analysis methodologies with PLANETE and Excel tools.

Our results indicate that total energy consumption in onion production was 107483,31 MJ ha⁻¹. Direct energy consumption was established at 72135,27 MJ ha⁻¹ with contribution by source estimated as: butane (79,48%), diesel (10,29%), electricity (9,59%) and gasoline (0,63%). Indirect energy consumption was estimated at 35348,05 MJ ha⁻¹ and resulted from the use of chemical fertilizers (61,53%) and water for irrigation (30,05%). Energy indices related to energy efficiency ratio, energy profitability and energy productivity were determined to be 0,78, -0,22 and 0,54 kg MJ⁻¹ respectively. GHG emission was found to be 3,47 t CO_{2eq} ha⁻¹. Energy use analyses estimated total energy consumption in potato production at 74269,97 MJ ha⁻¹, with direct energy consumption estimated at 28521,34 MJ ha⁻¹ and by source: butane (70%), diesel (19,14%), electricity (9,14%) and gasoline (1,72%). Indirect energy consumption was determined to be 45748,63 MJ ha⁻¹ and generated through fertilizers (59,54%), seeds (21,16%) and water for irrigation (10,21%). Energy efficiency, energy profitability and energy productivity were estimated at 1,54, 0,54, et 0,45 kg MJ⁻¹ respectively. GHG emission was found to be 3,63 t CO_{2eq} ha⁻¹. These estimates are of significant importance in analyzing national policy related to energy subsidies, and in informing contemporary discussions related to the reform of energy subsidies for the agricultural sector in Morocco.

Keywords: Energy analysis, energy consumption, onion production, potato production, energy indices, GHG emissions.

1. Introduction

L'intensification de l'agriculture et la modernisation de ses techniques de production a engendré une hausse spectaculaire de la productivité et, in fine, des volumes produits dans le monde (Dufumier, 2009). Ce changement radical qu'a connu l'agriculture depuis la seconde partie du XXe siècle avait pour objectif global d'assurer la sécurité alimentaire dans un contexte de hausse continue de la croissance démographique. En parallèle, ce développement technologique a été accompagné de l'augmentation de la dépendance énergétique de l'agriculture surtout en énergie fossiles dont les enjeux économiques et environnementaux sont très sérieux à l'échelle internationale.

Sur le plan économique, les chocs pétroliers des années 1973 et 1979, créés par une augmentation des prix du pétrole, ont entraîné une forte hausse des cours d'énergie (Feschet et *al.*, 2009). Ce qui traduit, d'une part, les phénomènes de rareté des ressources énergétiques conventionnelles présentes dans des stocks limités dans la nature et, d'autre part, la forte demande mondiale en ces sources d'énergie accompagnant la croissance économique et le développement social. Sur le plan environnemental, les enjeux des ressources énergétiques se résument dans leur nature non renouvelable, d'une part, et dans les externalités négatives engendrées par leur utilisation notamment en termes de contribution au réchauffement climatique via l'émission des gaz à effet de serre (GES), d'autre part. L'énergie représente donc un enjeu primordial pour la sécurité alimentaire. Ce qui incite à repenser les pratiques agricoles adoptées afin de parvenir à concilier la sécurité alimentaire de tous et le développement durable.

A l'échelle nationale, les défis énergétiques sont plus accentués puisque le pays demeure non producteurs des énergies fossiles et reste par conséquent dépendant de l'extérieur pour la quasi-totalité de son approvisionnement (importation de 97% des besoins énergétiques). Conscient de sa vulnérabilité, le Maroc a lancé récemment plusieurs plans et programmes visant à promouvoir l'efficacité énergétique dans toutes ses activités économiques notamment l'agriculture et à monter en puissance des énergies renouvelables et inciter à leur utilisation.

L'efficacité énergétique définie d'ailleurs par " la possibilité de produire le même niveau d'output avec un minimum de ressources utilisées" (Sherman, 1988 cité par Mousavi Avval et *al.*, 2012) permettra, sur le plan macroéconomique, de réduire le déficit de la balance des paiements, de minimiser la pollution atmosphérique engendrée par l'émission des GES et aussi de promouvoir la compétitivité de l'agriculture marocaine à travers la réduction des coûts de production. Sur le plan microéconomique, si elle est adoptée à l'échelle des exploitations agricoles, l'efficacité énergétique permettra de réduire la facture énergétique et augmentera par conséquent le revenu net du producteur.

Dans ce contexte, les études analysant la consommation énergétique et évaluant l'efficacité énergétique des productions agricoles au Maroc s'avèrent primordiales pour se situer et déceler les pratiques les plus efficaces et durables. C'est dans ce cadre que s'inscrit le présent travail dont l'objectif global est d'évaluer la consommation énergétique des cultures maraîchères notamment l'oignon et la pomme de terre au Maroc à l'échelle de la province d'El Hajeb.

2. Méthodologie d'approche

2.1. Choix des cultures et de la zone d'étude

La présente étude a concerné spécifiquement deux cultures maraîchères : l'oignon et la pomme de terre. Ce choix se justifie d'une part par l'importance de ces cultures au niveau nationale et régionale en termes de superficies et de production (DSS, 2014). A l'échelle nationale, l'oignon et la pomme de terre

représentent respectivement 13,33% et 21% des superficies consacrées au maraîchage. De même, à l'échelle régionale, ces deux cultures occupent respectivement 35% et 44% des sols maraichers. A noter que la région Meknès-Tafilalet couvre respectivement 33% et 17% des productions nationales d'oignon et de pomme de terre. D'autre part, les différentes techniques de production de ces deux cultures utilisant plusieurs sources d'énergie nous interpellent sur la question d'efficacité énergétique de leurs modes de conduite. Cette étude a été conduite dans la province d'El Hajeb qui est connue par la dominance des cultures de l'oignon et de la pomme de terre et leur place importante dans la sole maraîchère. En effet, ces deux cultures représentent respectivement 41% et 32% des superficies maraîchères de la province et 52% et 33% de sa production maraîchère. Les statistiques nationales témoignent qu'en termes de superficies d'oignon et de pomme de terre, la province d'El Hajeb couvre respectivement 60% et 38% des superficies de ces cultures à l'échelle régionale et 16% et 8% à l'échelle nationale. Ceci justifie amplement notre choix pour ces deux cultures et le choix de la province d'El Hajeb comme zone d'Etude.

2.2. Collecte des données et méthode de calcul

Les données concernant le nombre des producteurs d'oignon et de pomme de terre au niveau de la zone d'étude pour la campagne agricole 2012-2013 ne sont pas disponibles. Sous cette contrainte d'absence d'une base de sondage et dans le souci de couvrir l'ensemble de la zone d'étude et de s'assurer de la représentativité de l'échantillon, nous avons choisi de nous baser sur le critère de la superficie emblavée en maraîchage notamment en oignon et pomme de terre pour raisonner la composition finale de notre échantillon. Nous avons opté donc pour un échantillonnage à un seul niveau de stratification. Cette démarche a porté sur les zones d'action des CCA de la province d'El Hajeb au lieu des communes car les données concernant les superficies exploitées en maraîchage à l'échelle communale sont absentes. Ainsi, nous avons procédé à cette stratification en exploitant les données agrégées au niveau des trois CCA présents dans la zone d'étude à savoir : le CCA de Ain Taoujtate, le CCA d'Agourai et le CCA d'El Hajeb. Il est à noter que les zones d'action des CCA correspondent aux cercles communaux de la province. Le nombre des maraîchers à enquêter pour chaque cercle est déterminé par la relation suivante :

$$N_i = (S_i/S) \times N \quad (1)$$

Avec : N_i : nombre de maraîchers à enquêter pour le cercle i ;

S_i : SAU maraîchère du cercle i ;

S : SAU maraîchère de la province d'El Hajeb ;

N : nombre total des maraîchers à enquêter.

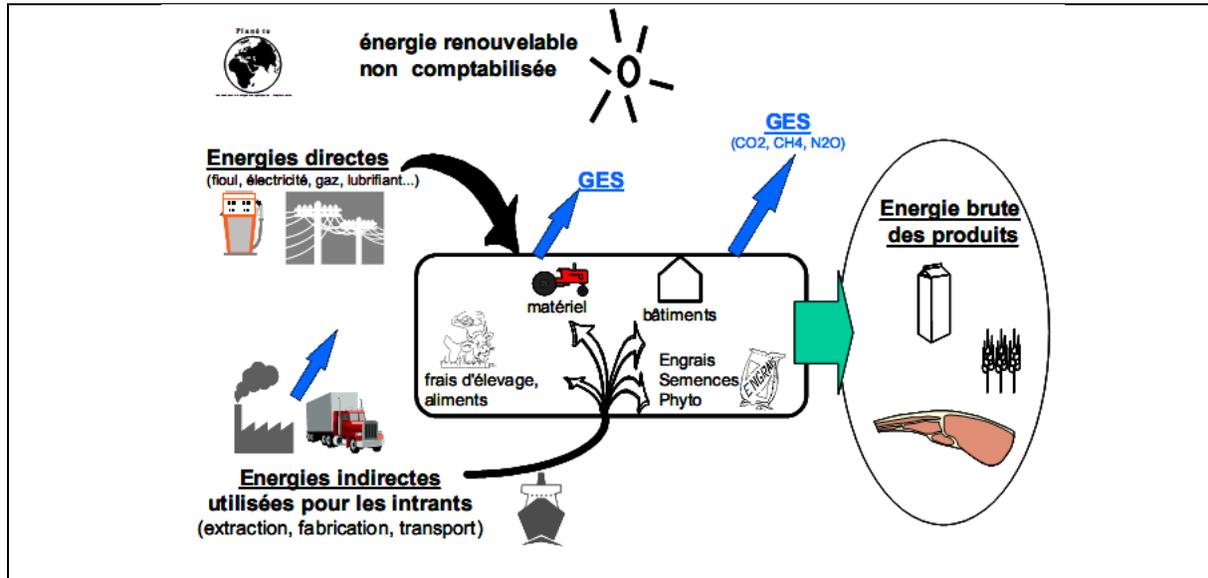
Le nombre d'enquêtes à effectuer a été fixé à 60 producteurs maraîchers et les individus sont tirés aléatoirement dans chaque cercle des trois communaux (El Hajeb, Ain Taoujtate et Agourai).

Une fiche d'enquête a été élaborée et testée auprès d'un nombre restreint d'agriculteurs non inclus dans l'échantillon final. Cet outil est conçu pour collecter les données quantitatives sur les entrées et sorties énergétiques pour chaque culture. Pour être plus précis dans la collecte des données sur les énergies consommées et faciliter la tâche à l'agriculteur enquêté, la fiche d'enquête a été présentée par opération culturale, chaque culture traitée à part. Ainsi, au niveau de chaque opération culturale, des questions concernant les intrants énergétiques directes et indirectes ont été considérées.

L'enquête a été conduite en directe auprès des producteurs d'oignon et de pomme de terre de la province d'El Hajeb. L'ensemble des données retenues auprès des agriculteurs concernent la campagne agricole 2012/2013. L'analyse des données collectées a été réalisée grâce au bilan PLANETE (méthode Pour L'Analyse Energétique de l'Exploitation), un outil d'analyse énergétique permettant de mesurer l'énergie fossile consommée directement ou indirectement à travers les intrants pour faire fonctionner le système

et permet d'avantage d'estimer les émissions des GES à l'échelle d'une exploitation agricole (Figure 1). Cet outil a été conçu principalement pour réaliser l'analyse énergétique à l'échelle d'une exploitation agricole en tenant compte de tous ses systèmes de culture et d'élevage. Or, son utilisation dans cette étude a concerné spécifiquement deux cultures maraîchères notamment l'oignon et la pomme de terre chacune analysée à part entière.

Figure 1 : Schéma général du principe du bilan PLANETE



Source : Bochu, 2007.

Le principe des calculs consiste à convertir les quantités physiques d'inputs et d'outputs -évalués à l'hectare- en énergies consommées et produites grâce à des coefficients énergétiques unitaires exprimés en MJ/unité. Ces coefficients et facteurs sont issus de la bibliographie internationale sur les analyses de cycle de vie et les écobilans (Bochu, 2007). Les calculs de conversion se font selon la formule suivante :

$$E_{i/o} = Q_i \times EE_i \quad (2)$$

Avec : $E_{i/o}$: Energie de l'input ou de l'output spécifique (MJ) ;
 Q_i : Quantité physique de l'input ou de l'output spécifique (unité) ;
 EE_i : Equivalent énergétique unitaire de l'input ou de l'output spécifique (MJ/unité).

Les étapes de l'analyse énergétique suivies dans cette étude se présentent comme suit :
 Analyse de la consommation énergétique (énergies directes et indirectes) ;
 Etablissement du bilan énergétique (consommation et production énergétiques) ;
 Evaluation de la performance énergétique ; et
 Estimation des émissions en GES et évaluation du pouvoir de réchauffement global.

Cette analyse a été conduite de manière globale pour chaque culture d'une part et selon les classes des producteurs de chaque culture d'une autre part. Pour la production d'oignon et de pomme de terre, les inputs énergétiques utilisés se répartissent en énergies directes et énergies indirectes. Les énergies directes (ED) correspondent aux quantités consommées sur le site de production. Alors que les énergies

indirectes (EI) représentent les énergies consommées lors de la fabrication et le transport d'un intrant ; en d'autres termes, elles correspondent à l'énergie incorporée dans les facteurs de production.

Les énergies directes incluent les produits pétroliers et l'électricité utilisés pour la production de chaque culture étudiée. Les produits pétroliers considérés sont le gasoil (EG) consommé par les machines agricoles pour la réalisation des différentes opérations agricoles (labour, traitements phytosanitaires, etc.) ; et le butane (EB) utilisés dans les opérations de pompage d'eau d'irrigation et l'essence (EE) utilisé comme carburant pour les moteurs de pulvérisation des traitements phytosanitaires. L'électricité (EEL) peut aussi s'utiliser pour le pompage de l'eau d'irrigation. Les énergies indirectes regroupent l'énergie incorporée dans les semences (ES), l'eau d'irrigation (EEA), le fumier (EF), les engrais minéraux (EEM), les traitements phytosanitaires (ETP) et les machines agricoles (EM). L'énergie de l'eau d'irrigation considérée représente l'énergie indirecte pour l'arrivée de l'eau à la parcelle. Elle intègre l'énergie de fabrication et d'entretien du matériel et des canaux d'irrigation. Les engrais minéraux sont réputés pour être de gros consommateurs d'énergie dans leur cycle de production. Les éléments nutritifs considérés dans notre étude sont l'azote, le phosphore, la potasse et le soufre. Les coefficients énergétiques prennent en compte l'extraction minière, la formulation, le conditionnement, le transport et la distribution (Bochu, 2007). L'énergie séquestrée dans les machines agricoles représente l'énergie incorporée dans les matières premières, l'énergie de fabrication, de réparation et de maintenance (Mousavi Avval *et al.*, 2012). Son équivalent énergétique correspond à l'amortissement énergétique horaire (AE) qui peut être mesuré à travers l'équation suivante :

$$EE = AE = \frac{(M \times EA)}{CTA} \quad (3)$$

Avec : AE : l'amortissement énergétique horaire ;
M : la masse de la machine en kg ;
EA : énergie annuelle de l'équipement ;
CTA : la capacité de travail annuel en h/an.

Le bilan énergétique se compose d'entrées énergétiques représentées par les énergies consommées (directes et indirectes) et de sorties énergétiques ou énergies produites. Pour les productions d'oignon et de pomme de terre, les outputs considérés sont les rendements en bulbes (cas de l'oignon) et en tubercules (cas de la pomme de terre) convertis en Mégajoules. En se basant sur les équivalents énergétiques obtenus, nous procédant à l'évaluation des performances de l'utilisation de l'énergie pour les productions d'oignon et de pomme de terre. Ainsi, les indices énergétiques retenus sont : le ratio énergétique, la productivité énergétique, l'intensité énergétique, le gain énergétique net et la profitabilité énergétique.

Le ratio énergétique (RE) appelé aussi indice d'efficacité énergétique est le rapport entre l'énergie produite est l'énergie séquestrée dans les facteurs de production. Cet indice relève l'influence des intrants exprimés en unité d'énergie sur l'énergie de sortie. Pour améliorer le ratio énergétique dans un système, il est possible soit de réduire l'énergie séquestré dans les intrants par l'optimisation de la consommation d'énergie ou en augmentant le rendement en produit en réduisant les pertes (Kitani, 1999 cité par Mousavi Avval *et al.*, (2012).

$$RE = \frac{\text{Energie totale produite (MJ. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Energie totale consommée (MJ. ha}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

La productivité énergétique (PDE) est la mesure de la quantité d'un produit obtenu par unité d'énergie d'entrée. Elle se calcule donc par le rapport entre le rendement de la culture et l'énergie consommée.

$$\text{PDE (kg. MJ}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Rendement de la culture (kg. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Energie totale consommée (MJ. ha}^{-1}\text{)}} \quad (5)$$

L'énergie spécifique (ES) est l'inverse de la productivité énergétique et correspond à la valeur d'énergie nécessaire pour produire une unité d'output.

$$\text{ES (MJ. kg}^{-1}\text{)} = \frac{1}{\text{PDE (kg. MJ}^{-1}\text{)}} = \frac{\text{Energie consommée (MJ. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Rendement de la culture (kg. ha}^{-1}\text{)}} \quad (6)$$

Le gain d'énergie net (GEN) est la différence entre la sortie de l'énergie brute produite et l'énergie totale requise pour son obtention.

$$\text{GEN (MJ/ha)} = \frac{\text{Energie totale produite (MJ/ha)}}{\text{(MJ/ha)}} - \frac{\text{Energie totale consommée (MJ/ha)}}{\text{(MJ/ha)}} \quad (7)$$

La rentabilité énergétique (PBE) est obtenue par le rapport entre le gain énergétique net et l'énergie consommée.

$$\text{PBE} = \frac{\text{GEN (MJ. ha}^{-1}\text{)}}{\text{Energie totale consommée (MJ. ha}^{-1}\text{)}} \quad (8)$$

Les émissions des GES lors de la production d'oignon et de pomme de terre proviennent de la consommation des énergies directes et indirectes. Les principaux GES émis sont le CO₂ et le N₂O. La quantification des émissions de chacun de ces gaz est effectuée à partir de ratios unitaires d'émission et a permis le calcul du pouvoir de réchauffement global qui représente le cumul pondéré des quantités des gaz estimées :

$$1 \text{ t CO}_2 = 1 \text{ t éq CO}_2 \quad (9)$$

$$1 \text{ t N}_2\text{O} = 310 \text{ t éq CO}_2 \quad (10)$$

3. Résultats et discussion

3.1. Analyse énergétique de la culture d'oignon

a) Consommation en énergies directes

Sur la base de l'équivalence énergétique, la consommation moyenne en énergies directes pour l'ensemble des producteurs d'oignon enquêtés est de l'ordre de 72135,27 MJ/ha. En prenant chaque poste d'énergie à part, les producteurs enquêtés consomment en moyenne 57333,93MJ/ha de butane, 7424,01MJ/ha de gasoil, 6920,14MJ/ha d'électricité et 457,19MJ/ha d'essence.

D'après les résultats empiriques, le principal poste de consommation d'énergie directe pour la production d'oignon est le butane. Il représente 79,48% de la consommation totale en énergies directes. Il est suivi du gasoil (10,29%) puis de l'électricité (9,59%) et en dernier lieu l'essence (0,63%). La part importante qu'occupe le butane dans la consommation totale en énergies directes revient à son utilisation fréquente dans le pompage d'eau d'irrigation. Ceci s'explique essentiellement par la subvention accordée à ce bien. Dans les études d'Aval et Moghaddam (2013) et de Barber (2004) conduites respectivement en Iran et en Nouvelle-Zélande, les énergies directes utilisées pour la production d'oignon sont le gasoil et l'électricité.

Le butane qui représente le poste principal de consommation d'énergie directe pour la production d'oignon au Maroc n'est pas du tout utilisé dans les autres pays.

L'analyse énergétique de l'oignon par opération culturale conclue que l'irrigation est l'opération la plus consommatrice en énergies directes. En effet, elle consomme en moyenne 68211,79 MJ/ha soit 94,56% de la consommation totale. Elle est suivie du travail du sol avec niveau de consommation de 3208,52MJ/ha et puis du traitement phytosanitaire qui utilise 714,96 MJ/ha en termes d'énergies directes. En termes de coûts de production, l'opération d'irrigation présente une part importante (20%). D'où l'intérêt de rationaliser les pratiques d'irrigation sur le plan technique (débit, durée, fréquence) pour assurer une meilleure allocation à la fois des ressources en eau et en énergie et obtenir une facture optimale.

D'après les résultats dégagés de l'analyse, la consommation totale en énergie directe suit une tendance haussière avec l'augmentation de la taille des parcelles. En effet, les petits producteurs dont la taille des parcelles d'oignon est inférieure à 2 ha consomment la moindre quantité d'énergie, soit 41895,28MJ/ha. Les classes moyennes qui suivent à savoir [2,5[ha et [5,10[ha consomment des quantités respectives de 66180,30MJ/ha et 67896,62MJ/ha. Les grands producteurs dont les superficies des parcelles dépassent les 10 ha consomment des quantités d'énergie directe beaucoup plus importantes qui atteignent les 104065,48MJ/ha soit 2,48 fois plus grande que celles consommées par les petits producteurs. Cette différence en matière de consommation en énergies directes revient essentiellement aux différences enregistrées en matière d'énergies de pompage d'eau d'irrigation dont le poids est très important.

b) Consommation en énergies indirectes

L'énergie indirecte utilisée pour la production de l'oignon consiste dans l'énergie séquestrée dans les facteurs de production à savoir : les semences, les engrais minéraux, les traitements phytosanitaires, l'eau d'irrigation et le matériel agricole. Néanmoins, la consommation moyenne en énergies indirectes pour la totalité des producteurs d'oignon enquêtés est de 35348,05MJ/ha. L'énergie séquestrée dans les différents intrants énergétiques est de 115,40MJ/ha dans les semences, 21749,48MJ/ha dans les engrais minéraux, 839,41MJ/ha dans les traitements phytosanitaires, 10623,76MJ/ha dans l'eau d'irrigation et 2020,01MJ/ha dans le matériel agricole. Cependant, les principaux postes de consommation d'énergie indirecte pour la production d'oignon sont représentés par les engrais minéraux (61,53%) et l'eau d'irrigation (30,05%). Ils sont suivis par le matériel agricole (5,71%), les traitements phytosanitaires (2,37%) et les semences en dernier lieu (0,33%).

Concernant les engrais minéraux, l'élément majoritairement utilisé et séquestrant le plus d'énergie est l'azote dont la consommation est de 17062,03 MJ/ha soit 78,45% du total des engrais, suivi du phosphore consommant 3777,71MJ/ha soit 17,37%. Les quantités de potassium et de soufre sont très minimes et sont respectivement de l'ordre de 715,09MJ/ha et 194,66MJ/ha. En comparant les résultats de l'utilisation des énergies indirectes obtenus par cette étude et ceux des études Aval et Moghaddam (2013) et de Barber (2004), il s'avère que le poste le plus consommateur d'énergies indirectes dans tous les pays considérées à savoir l'Iran et la Nouvelle-Zélande est représenté par les engrais minéraux. En comparant spécifiquement entre la consommation en éléments fertilisants pour les producteurs des trois pays, il ressort que les producteurs d'oignon marocains utilisent plus d'engrais minéraux que les producteurs iraniens et zélandais notamment en éléments d'azote et de phosphore. La quantité de potassium utilisée est par contre moindre au Maroc. Parmi tous ces éléments fertilisants, l'azote représente l'élément le plus énergivore puisque sa fabrication nécessite le plus d'énergie (ceci se traduit dans son coefficient énergétique très élevé en comparaison aux autres éléments fertilisants). Concernant le poste d'eau d'irrigation, les producteurs marocains en consomment plus que les producteurs iraniens. En effet, le

niveau de consommation de cette énergie indirecte est de l'ordre de 12174 MJ/ha au Maroc et 10624 MJ/ha en Iran.

En ce qui concerne l'énergie incorporée dans les traitements phytosanitaires tous types considérés, les producteurs iraniens consomment 1192 MJ/ha alors que les producteurs marocains utilisent environ 839 MJ/ha. Ceci est en concordance avec le nombre moyen de traitements phytosanitaires appliqués qui représente 6,2 pour les producteurs iraniens et 3,7 pour les producteurs marocains. La décomposition de cette énergie consommée selon la nature des traitements permet de conclure que les agriculteurs iraniens consomment plus d'herbicides et d'insecticides alors que les agriculteurs marocains utilisent plus de fongicides. En Nouvelle-Zélande, les producteurs d'oignon utilisent beaucoup plus de traitements phytosanitaires. Convertie en unité énergétique, la consommation d'énergie indirecte de ce poste est de 12050 MJ/ha. Cette forte consommation a été expliquée par Barber (2004) par le fait que la campagne agricole étudiée (2000/2001) a été très humide et a connue d'importantes précipitations. Il a mentionné que le niveau normal d'application de fongicides est d'environ 1/5 à 1/4 du montant calculé.

L'analyse de la consommation d'énergies indirectes par classe de producteurs révèle qu'en général les grands producteurs consomment plus d'intrants énergétiques que les petits. En effet, la consommation minimale est enregistrée pour la classe des producteurs dont les parcelles ne dépassent pas les 2 ha et représente 29460,27MJ/ha, alors que la consommation maximale est notée chez la classe des producteurs dont les parcelles entre 5 et 10 ha et s'élève à 46342,58MJ/ha soit 1,57 fois plus grande que la première. La différence entre les consommations des classes "[5,10[ha" et "≥10ha" n'est que de 12%. L'importante consommation en énergies indirectes de la classe "[5,10[ha" revient surtout à sa forte consommation en engrais minéraux qui détient une part importante (61,53%) entre les autres sources d'énergies.

c) Bilan énergétique

Le bilan énergétique représente une synthèse des inputs et outputs énergétiques. D'après le bilan présenté dans le tableau 1, plusieurs constats peuvent être tirés. Premièrement, l'énergie moyenne consommée pour l'ensemble de l'échantillon par hectare d'oignon est de l'ordre de 107483,31MJ/ha et la quantité d'énergie produite rapportée à l'hectare s'élève à 84269,17MJ/ha. Deuxièmement, la quantité des énergies directes dépassent largement la quantité des énergies indirectes. En effet, les énergies directes représentent 67,11% des entrées alors que les énergies indirectes ne correspondent qu'à 32,89% du total de l'énergie consommée.

Tableau 1 : Bilan énergétique pour la production d'oignon

Postes	< 2 ha	[2,5[ha	[5,10[ha	≥ 10 ha	Echantillon total	% Energie Input	
Inputs énergétiques							
Energies Directes	Gasoil	7212,94	4891,27	11581,00	4748,33	7424,01	6,91%
	Essence	138,33	329,04	520,64	937,21	457,19	0,43%
	Butane	34544,00	60960,00	50319,71	69951,60	57333,93	53,34%
	Électricité	0,00	0,00	5475,27	28428,33	6920,14	6,44%
	TOTAL	41895,28	66180,30	67896,62	104065,48	72135,27	67,11%
Energies Indirectes	Semences	88,20	98,70	144,33	148,23	115,40	0,11%
	Engrais	16037,98	16535,42	32495,78	28528,30	21749,48	20,24%
	Phytosanitaires	609,52	710,39	990,17	1174,67	839,41	0,78%
	Eau d'irrigation	11179,20	11120,62	10556,81	9193,60	10623,76	9,88%

	Matériels	1545,36	1894,95	2155,49	2166,00	2020,01	1,88%
	TOTAL	29460,27	30360,09	46342,58	41210,79	35348,05	32,89%
Consommation énergétique totale		71355,55	96540,39	114239,20	145276,27	107483,31	100%
Outputs énergétiques							
Production énergétique totale		74755,56	77678,57	82254,55	108629,17	84269,17	—

Source: Enquêtes, 2014.

Troisièmement, 73,58% de la consommation énergétique moyenne de l'ensemble des producteurs d'oignon enquêtés se répartissent entre les postes « butane » (53,34%) et « engrais » (20,24%). Ce sont en conséquence les principaux postes qu'il faut viser pour toute action d'économie d'énergie. Et quatrièmement, les entrées et les sorties augmentent avec la taille des parcelles avec des entrées supérieures en moyenne que les sorties sauf pour la classe des petits producteurs dont les superficies inférieures à 2 ha.

d) Indices de performance énergétique

Le calcul des indices de performance énergétique pour la totalité de l'échantillon démontre que le gain énergétique net est négatif, le ratio énergétique est inférieur à 1 et la profitabilité énergétique présente aussi une valeur négative. Ceci revient au fait que la consommation énergétique totale surpasse la production énergétique totale. La productivité énergétique explique qu'une unité d'énergie consommée en MJ permet d'obtenir 0,54 kg d'oignon. L'énergie spécifique traduit qu'un kilogramme d'oignon séquestre environ 1,85 MJ d'énergie. L'analyse par classe de parcelle révèle que les petits producteurs présentent les meilleures valeurs de ces indices contrairement aux grands producteurs. Ceci résulte globalement de leur faible utilisation en intrants agricoles et leur faible niveau de mécanisation.

e) Estimation des GES

Les principaux gaz à effet de serre produits lors de la production d'oignon sont le dioxyde de carbone CO₂ et le protoxyde d'azote N₂O dont les valeurs d'émission sont respectivement 2,68 t/ha et 2,54 kg/ha. D'après la figure 8, 79% des émissions de CO₂ proviennent de l'utilisation des engrais minéraux, 9% de la combustion du butane pour le pompage d'eau d'irrigation, 6% lors de la fabrication du matériel agricole, 3% dans l'utilisation de l'électricité pour l'irrigation, 2% lors de la combustion du gasoil pour la réalisation des différentes opérations culturales (travail du sol, irrigation et pulvérisation des traitements phytosanitaires) et 1% lors de l'utilisation des produits phytosanitaires.

Le poste qui émet la quasi-totalité de N₂O est celui des engrais minéraux (plus de 99% des émissions) notamment l'azote tant lors de sa fabrication que lors de son apport sur les sols. En traduisant ces émissions en pouvoir de réchauffement global (PRG), exprimé en équivalent CO₂ (éq CO₂), les résultats montrent que l'oignon présente un potentiel de réchauffement de l'atmosphère de l'ordre de 3,467 téq CO₂/ha. Le gaz carbonique (CO₂) contribue par 77,29% dans le potentiel de réchauffement de l'atmosphère avec une moyenne de 2,68 téq CO₂/ha alors que le de protoxyde d'azote N₂O participe à hauteur de 22,71% dans le PRG puisque ses émissions sont de 0,78 téq CO₂/ha. En comparant entre les différentes classes des producteurs en matière de PRG, nous notons que ce dernier rapporté à l'hectare augmente avec l'augmentation de la taille des parcelles.

3.2. Analyse énergétique de la culture de pomme de terre

a) Consommation en énergies directes

L'analyse de l'utilisation des énergies directes pour la production de pomme de terre annonce que la consommation totale de ce type d'énergie est de 28521,34 MJ/ha. La consommation moyenne de chacune de ses composantes est de 5458,43MJ/ha pour le gasoil, 490,45MJ/ha pour l'essence, 19964,40MJ/ha pour le butane et 2608,06MJ/ha pour l'électricité. Le principal poste de consommation d'énergies directes est le butane (70%), suivi du gasoil (19,14%) et puis de l'électricité (9,14%) et en dernier lieu l'essence (1,72%).

En analysant la consommation d'énergie directe par opération culturale, nous remarquons que l'activité la plus énergivore est l'irrigation (84,35%), suivi du travail du sol (11,56%), puis le traitement phytosanitaire (3,05%) et en dernier lieu l'entretien de la culture et la récolte avec 0,52% chacune. En comparant les résultats de cette étude en matière d'énergies directes avec ceux des études de Mohammadi et *al.*, (2008), Ghahderijani et *al.*, (2012), Barber (2004) et Pimentel et *al.*, (2002, cité par Barber, 2004), il s'avère que le butane n'est pas utilisé par les producteurs de pomme de terre iraniens, néerlandais et américains pour le pompage d'eau d'irrigation alors qu'il représente le principal poste de consommation en énergies directes pour les producteurs marocains. En Iran, le seul poste d'énergie directe conventionnelle considérée dans les études de Mohammadi et *al.*, (2008) et Ghahderijani et *al.*, (2012) conduites dans différentes provinces est le gasoil. Cette source d'énergie est consommée lors des opérations de travail du sol, de plantation, d'irrigation, d'application des traitements phytosanitaires, d'apport des engrais et de récolte.

En Ardabil, la consommation de gasoil est de 12897.24MJ/ha et, en Esfahan, elle est de 5638 MJ/ha. Au Maroc, la consommation moyenne de gasoil est de 5458,43 MJ/ha. Or, dans ce pays, le gasoil n'est pas la seule énergie directe utilisée pour la production de pomme de terre. Il ne présente que 19,14% du total de ce type d'énergie. Ce qui incite à revoir les pratiques agricoles des agriculteurs marocains afin d'optimiser leur consommation en énergies directes d'une part et opter pour les sources énergétiques alternatives d'autre part pour être énergétiquement plus performants et intelligents. En Nouvelle-Zélande et aux Etats-Unis, les sources d'énergies directes utilisées dans la production de pomme de terre sont le gasoil et l'électricité. Le gasoil est utilisé dans l'ensemble des opérations culturales. Sa consommation est de 294L/ha en Nouvelle-Zélande soit 11966 MJ/ha, de 424L/ha en Etats-Unis soit 17257 MJ/ha et de 134L/ha au Maroc soit 5458MJ/ha. Ces résultats reflètent indirectement les degrés de mécanisation de la production de la pomme de terre dans chaque pays. Les Etats-Unis sont donc en première place, suivis de la Nouvelle-Zélande et puis du Maroc. Concernant l'électricité, elle est mobilisée lors du pompage d'eau d'irrigation. Sa consommation en Nouvelle-Zélande est de 360 KWh/ha soit 3456 MJ/ha ; en Etats-Unis, elle est de 47 KWh/ha soit 451 MJ/ha ; et au Maroc, elle s'est de 272 KWh/ha soit 3973 MJ/ha. Plusieurs variables engendrent ces différences de consommation d'énergie à savoir la source d'eau d'irrigation (eau pompée ou eau de surface), la pluviosité de l'année, les pratiques des agriculteurs, la profondeur de l'eau souterraine, etc.

La consommation d'énergies directes augmente avec l'augmentation des tailles des parcelles. En effet, les producteurs ayant des superficies inférieures à 2 ha consomment 16449,89MJ/ha, ceux disposant de superficies entre 2 et 5 ha consomment 29049,70MJ/ha, ceux possédants des parcelles entre 5 et 10 ha utilisent environ 34083,13 MJ/ha et ceux dont les superficies dépassent les 10 ha consomment 46561,98 MJ/ha. L'étude énergétique de Ghahderijani et *al.*, (2012) a été aussi conduite selon les tailles des parcelles concernant la culture de pomme de terre. Les classes adoptées sont celles des petits producteurs ayant des superficies inférieures à 1 ha, des moyens producteurs dont les superficies sont entre 1 et 5 ha et les grands producteurs dont les superficies sont supérieures à 5 hectares. Cette analyse a abouti à un résultat inverse comparativement à notre étude : la consommation énergétique diminue avec

l'augmentation des tailles des parcelles. En effet, les petits producteurs atteignent des niveaux de consommation moyens de 50548,8MJ/ha, les moyens utilisent 44795,9MJ/ha et les grands consomment environ 42963,4MJ/ha. L'Iran bénéficie donc d'une économie d'échelle en matière de consommation énergétique avec l'augmentation des tailles des parcelles alors que le Maroc connaît une dés-économie d'échelle à ce niveau.

b) Consommation en énergies indirectes

Les sources d'énergie indirecte consommée pour la production de la pomme de terre sont : les semences, l'eau d'irrigation, les fertilisants (engrais chimiques et fumier organique), les traitements phytosanitaires, les matériels agricoles, la paille et le plastique (pour le traitement pré-germinatif). La consommation moyenne en énergies indirectes pour la culture de pomme de terre est de 45748,63MJ/ha. Les principaux postes de consommation d'énergies sont les fertilisants qui consomment environ 27240,53MJ/ha, les semences dont la consommation est de 9681,82MJ/ha et l'eau d'irrigation dont la consommation est de 4671,79 MJ/ha.

Cependant, l'énergie séquestrée dans les fertilisants représente 59,54% du total des énergies indirectes consommées. Les semences et l'eau d'irrigation représentent respectivement 21,16% et 10,21%. L'énergie séquestrée dans les fertilisants est majoritairement due à l'utilisation de l'azote (81,59%) qui contient 22226,55MJ/ha, suivi du phosphate 12,65% utilisé à hauteur de 3444,98MJ/ha, puis du potassium (4,72%) et en dernier lieu le fumier (0,8%) et le soufre (0,2%) dont les quantités sont relativement minimes (228,16MJ/ha et 55,76MJ/ha respectivement).

En comparant les résultats de cette étude avec ceux des pays d'Iran, de Nouvelle-Zélande et des Etats-Unis, il s'avère que dans tous ces pays, le principal poste consommateur d'énergie indirecte est la fertilisation. Les semences n'ont pas été considérées dans l'étude de Barber (2004) conduite en Nouvelle-Zélande alors qu'elle occupe le deuxième poste consommateur d'énergie indirecte pour les autres pays. L'énergie séquestrée dans l'eau d'irrigation n'a pas été intégrée dans les études réalisées en Nouvelle-Zélande et en Etats-Unis. Mais en Iran, elle occupe la troisième place après les fertilisants et les semences.

En analysant la composition du poste le plus consommateur d'énergie indirecte à savoir « les fertilisants », malgré la différence des éléments fertilisants prises en considération dans chaque étude, l'azote demeure l'élément le plus énergivore dans toutes les zones d'étude. En vue de percevoir des économies d'énergie lors de la production de pomme de terre, la rationalisation de la fertilisation surtout azotée est indispensable. La consommation d'énergies indirectes augmente avec l'augmentation des tailles des parcelles. En effet, les producteurs ayant des superficies inférieures à 2 ha consomment 41801,01MJ/ha, ceux dont les superficies varient entre 2 et 5 ha consomment 44814,68 MJ/ha, ceux possédant des parcelles entre 5 et 10 ha utilisent environ 49353,37MJ/ha et ceux dont les superficies dépassent les 10 ha consomment 53327,69MJ/ha.

c) Bilan énergétique

D'après le bilan présenté dans le tableau 2, nous constatons que l'énergie moyenne consommée pour l'ensemble de l'échantillon par hectare de pomme de terre est de l'ordre de 74269,97MJ/ha et la quantité d'énergie produite rapportée à l'hectare s'élève à 114634,09MJ/ha. Ainsi, les sorties dépassent les entrées concernant le système de culture de la pomme de terre. La structure de la consommation énergétique est dominée par les énergies indirectes qui représentent 61,60% de la consommation totale alors que les énergies directes ne représentent que 38,40% du total. En analysant cette structure selon les postes de consommation, nous relevons que 76,59% de la consommation énergétique moyenne de l'ensemble des producteurs de pomme de terre enquêtés se répartissent entre les postes « fertilisants » (36,68%),

« butane » (26,88%) et semences (13,04%). Ce sont en conséquence les principaux postes qu'il faut viser pour toute action d'économie d'énergie. L'analyse selon les classes des producteurs montre globalement que les entrées et les sorties augmentent avec la taille des parcelles.

Tableau 2 : Bilan énergétique pour la culture de pomme de terre

Postes	< 2 ha	[2,5[ha	[5,10[ha	≥ 10 ha	Echantillon total	% Energie Input	
Inputs énergétiques							
Energies Directes	Gasoil	3034,00	7063,49	4431,78	6410,25	5458,43	7,35%
	Essence	226,36	468,95	617,89	1037,50	490,45	0,66%
	Butane	13189,53	20147,28	22487,47	32004,00	19964,40	26,88%
	Électricité	0,00	1369,98	6546,00	7110,23	2608,06	3,51%
	TOTAL	16449,89	29049,70	34083,13	46561,98	28521,34	38,40%
Energies Indirectes	Semences	9545,45	9600,00	9888,89	10000,00	9681,82	13,04%
	Fertilisants	23488,52	26690,86	30220,19	33602,66	27240,53	36,68%
	Phytoprotecteurs	329,78	436,22	574,81	621,23	454,77	0,61%
	Eau d'irrigation	5054,01	4506,36	4724,19	4329,90	4671,79	6,29%
	Matériels	1423,56	1610,35	2006,34	2720,90	1730,71	2,33%
	Paille	1520,59	1529,28	1504,50	1593,00	1527,83	2,06%
	Plastique	439,09	441,60	434,44	460,00	441,18	0,59%
	TOTAL	41801,01	44814,68	49353,37	53327,69	45748,63	61,60%
Consommation énergétique totale	58250,90	73864,37	83436,50	99889,67	74269,97	100%	
Outputs énergétiques							
Production énergétique totale	107263,64	115575,00	119983,33	118162,50	114634,09	—	

Source: Enquêtes, 2014.

d) Indices de performance énergétique

Le gain énergétique net de l'ensemble de l'échantillon est positif et égale à 40364 MJ/ha ; le ratio énergétique stipule que l'énergie produite est 1,54 fois l'énergie consommée ; la rentabilité énergétique précise que le gain énergétique net moyen est 0,54 fois supérieur que l'énergie consommée ; la productivité énergétique implique qu'une unité d'énergie consommée en MJ permet d'obtenir 0,45kg de pomme de terre ; et l'énergie spécifique éclaire qu'un kilogramme d'oignon séquestre environ 2,24 MJ d'énergie. L'analyse par classe de parcelle révèle que les petits producteurs présentent les meilleures valeurs de ces indices contrairement aux grands producteurs. Ceci résulte globalement de leur faible utilisation en intrants agricoles et leur faible niveau de mécanisation.

e) Estimation des GES

Les principaux gaz à effet de serre produits lors de la production de pomme de terre sont le dioxyde de carbone CO₂ et le protoxyde d'azote N₂O dont les valeurs d'émission sont respectivement 2,61 t/ha et 3,30 kg/ha. D'après les résultats empiriques, 15, 84,67% des émissions de CO₂ proviennent des engrais minéraux, 6,63% des matériels agricoles 3,37% du butane, 2,89% du fumier organique, 1,46% de la combustion de gasoil, 0,50% des produits phytosanitaires et 0,46% du plastique utilisé pour stimuler la germination des tubercules de pomme de terre.

Le poste qui émet la quasi-totalité de N₂O est celui des engrais minéraux (plus de 99% des émissions) notamment l'azote tant lors de sa fabrication que lors de son apport sur les sols. En traduisant ses émissions en pouvoir de réchauffement global (PRG), exprimé en équivalent CO₂ (éq CO₂), les résultats montrent que la pomme de terre présente un potentiel de réchauffement de l'atmosphère de l'ordre de 3,628 téq CO₂/ha. Le gaz carbonique (CO₂) contribue de 71,82% dans le potentiel de réchauffement de l'atmosphère avec une moyenne de 2,61 téq CO₂/ ha alors que le de protoxyde d'azote N₂O participe à hauteur de 28,17% dans le PRG puisque ses émissions sont de 1,02 téq CO₂/ha. En comparant entre les différentes classes des producteurs en matière de PRG, nous notons que ce dernier rapporté à l'hectare augmente avec l'augmentation de la taille des parcelles.

4. Conclusions et recommandations

L'énergie est essentielle à la sécurité alimentaire et au développement. Or, la production alimentaire et les modèles actuels d'utilisation de l'énergie ne sont plus viables sur le long terme. Si nous nous dirigeons vers une utilisation réduite et plus rationnelle des combustibles fossiles dans la chaîne de production agricole, plusieurs opportunités s'offrent à nous en termes économiques et environnementaux. L'analyse énergétique représente donc dans ce contexte un outil d'aide à la prise de décision fondamentale qu'on doit intégrer dans différentes démarches de conseil global et démarches de réflexion. Puisque l'énergie utilisée dans le secteur agricole varie selon les itinéraires techniques et les pratiques utilisées dans l'exploitation, cet outil de diagnostic permettra d'envisager des économies d'énergie contribuant ainsi à l'amélioration de l'efficacité énergétique et la réduction des émissions des GES en agriculture.

Les études sur l'analyse énergétique des productions agricoles réalisées au Maroc sont peu nombreuses ce qui traduit un déficit important en matière de recherche. Les cultures maraîchères comptent parmi les productions agricoles les plus intensifs en intrants notamment en ressources énergétiques. Cette étude vient donc pour analyser et évaluer la consommation énergétique de deux cultures maraichères : l'oignon et la pomme de terre au Maroc spécifiquement au niveau de la province d'El Hajeb. Pour atteindre cet objectif, une enquête a été réalisée auprès d'un échantillon de 61 producteurs d'oignon et de pomme de terre dans la province d'El Hajeb. Le choix de cette zone se justifie par l'importance des cultures choisies dans la sole maraîchère.

Les résultats de l'analyse énergétique de l'oignon révèlent que la consommation totale d'énergie s'établit à 107483,31 MJ/ha. Celle-ci se répartie en énergies directes (67,11%) et en énergies indirectes (32,89%). Le principal poste de consommation d'énergies directes est le butane (79,48%). Les postes importants de consommation d'énergies indirectes sont les engrais minéraux (61,53%) et l'eau d'irrigation (30,05%). La production énergétique totale est évaluée à 84269,17 MJ/ha. L'analyse énergétique de la pomme de terre conclue que la consommation totale d'énergie est représentée par 74269,97 MJ/ha. Elle se répartie en énergies directes (38,40%) et en énergies indirectes (61,60%). Le principal poste de consommation d'énergies directes est le butane (70%). Les postes les plus consommateurs d'énergie sont les fertilisants (59,54%), les semences (21,16%) et l'eau d'irrigation (10,21%). La production énergétique de la pomme de terre est de 114634,09 MJ/ha.

L'évaluation énergétique via les indices de performance énergétique dégage que l'efficacité, la rentabilité et la productivité énergétiques sont 0,78, -0,22 et 0,54 kg/MJ respectivement pour l'oignon et 1,54, 0,54, et 0,45 kg/MJ pour la pomme de terre. L'analyse des émissions des GES suggère que le pouvoir de réchauffement climatique global est d'environ 3,47 téq CO₂/ha pour la production d'oignon et de 3,63 téq CO₂/ha pour la production de pomme de terre. Le poste le plus émetteur des GES est la fertilisation surtout azotée.

L'analyse énergétique par classe de producteurs tant pour l'oignon que pour la pomme de terre ressort que la consommation d'énergie augmente avec l'augmentation des parcelles. Ainsi, les grands producteurs consomment plus d'énergie que les petits producteurs.

A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons formuler les recommandations suivantes :

Concernant l'amélioration de l'efficacité énergétique pour les productions maraîchères :

- La fertilisation (surtout azoté) doit être adaptée aux besoins des cultures pour optimiser l'énergie indirecte consommée par ce post et diminuer les émissions en GES notamment le CO₂ et le N₂O ;
- Une gestion rationnelle de l'irrigation en termes de fréquence, de durée et de période d'application permettra diminuer la pression sur la nappe phréatique et aura une incidence positive sur la consommation en énergies directes conventionnelles ;
- Opter pour les sources d'énergie alternatives pour le pompage d'eau d'irrigation (principale opération agricole consommatrice d'énergie pour les cultures maraîchères) notamment le solaire photovoltaïque pour le pompage d'eau d'irrigation à la place des énergies fossiles ;
- Cibler la subvention du butane puisque son utilisation pour le pompage d'eau d'irrigation n'est pas viable sur les plans énergétique et environnemental ;
- Recourir aux semences certifiés surtout pour la production de pomme de terre afin de diminuer l'énergie indirecte consommée par ce poste (une faible dose de semis engendre des rendements intéressants) et encourager la voie de recherche au Maroc concernant la production de semences ;

Sur le plan de recherche concernant le domaine d'efficacité énergétique :

- Conduire des recherches approfondies pour générer des coefficients énergétiques unitaires spécifiques au contexte marocain voir même le contexte régional ;
- Prévoir un système de collecte et d'analyse des données sur l'énergie afin d'améliorer la connaissance sur son utilisation en agriculture ;
- Promouvoir la production de référentiels technico-économiques pour aider à la rationalisation de l'utilisation de l'énergie pour les productions agricoles ;
- Recourir à la méthodologie d'analyse énergétique dans des études plus fines qui cherchent à évaluer, optimiser et comparer des pratiques culturelles spécifiques ;
- Intégrer des enquêtes spécifiques sur la consommation d'énergie dans le cadre du système de statistique agricole ;
- Insérer des questions dans le recensement général agricole (RGA) sur les aspects énergétiques ;
- Développer le conseil en énergie au sein de l'Office National du Conseil Agricole (ONCA).

Références bibliographiques (a compléter les références qui figurent dans le corps du texte)

Dufumier, 2009
Feschet et al., 2009
Sherman, 1988 cité par Mousavi Avval et al., 2012
DSS, 2014
Bochu, 2007.

Draft Manuscript-Targeted Journal:
Energy Economics Journal (<http://www.journals.elsevier.com/energy-economics/>).

Kitani, 1999 cité par Mousavi Avval et al., (2012).

Aval et Moghaddam (2013)

Barber (2004)

Mohammadi et al., (2008),

Ghahderijani et al., (2012),

Pimentel et al., (2002, cité par Barber, 2004

Ghahderijani et al., (2012)