

Action 10

Réduire, sur l'exploitation, la consommation d'énergie fossile des bâtiments et équipements agricoles pour limiter les émissions de CO₂ directes

Auteurs

Mélynda Hassouna (INRA-EA)

Pierre Dupraz (INRA-SAE2)

Appui scientifique interne

Fabrice Béline (IRSTEA)

Paul Robin (INRA-EA)

Elisabeth Samson (INRA-SAE2)

Jean-Philippe Steyer (INRA-EA)

Extraction et traitement de données

Lénaïc Pardon (INRA-DEPE)

Elisabeth Samson (INRA-SAE2)

Relecteurs techniques externes

Jean-Luc Bochu (Solagro)

Sylvain Doublet (Solagro)

Nous remercions également les personnes qui suivent pour les informations transmises : Cédric Garnier et Sarah Martin (ADEME), Gérard Amand (ITAVI), Ariane Grisey (CTIFL), Etienne Chantoiseau et Gérard Chassériaux (Unité EPHOR Agrocampus Ouest), Nouraya Akkal (UMR SAS), Etienne Mathias et Edith Martin (CITEPA).

1. Introduction : cadrage et description succincte de l'action

D'après le CITEPA, les émissions de GES liées aux consommations d'énergie fossile de l'agriculture, de la sylviculture et de la pêche s'élèvent à 11 millions de tonnes équivalent CO₂ (MgCO_{2e}). L'agriculture contribue majoritairement à ces émissions et c'est pourquoi cette action concerne les émissions de GES liées aux consommations d'énergie directe de l'exploitation. Seront prises en compte les consommations d'énergie fossile (gaz et fioul) des bâtiments d'élevage, des serres et des engins agricoles donnant lieu à des émissions directes de GES sur l'exploitation. Etant donnée la faible part d'énergie fossile consommée par les bâtiments porcins et bovins, on ne considèrera que les bâtiments de volailles de chair, qui contribuent majoritairement aux consommations de gaz du secteur agricole avec les serres chaudes (maraîchage et ornement). L'objectif de l'action est d'évaluer le potentiel d'atténuation obtenu par l'application de différentes solutions techniques propres aux trois postes évoqués ci-dessus : les bâtiment d'élevage de volailles, les serres chaudes et les engins agricoles (les tracteurs uniquement).

2. Description de l'action

L'agriculture présente à la fois des consommations d'énergie directes, correspondant aux produits énergétiques consommés sur l'exploitation, et indirectes lorsqu'il s'agit de l'énergie consommée lors de la fabrication et du transport des intrants de l'exploitation (Vert (coord.) and Portet, 2010). Actuellement, la consommation énergétique directe de l'agriculture représente 2,4% de la consommation énergétique nationale, soit 3 650 ktep (RICA 2007, enquête énergie 2012). Les principales sources énergétiques sont les énergies fossiles (gaz, gazole, fioul) et l'électricité. A l'échelle de l'exploitation, elles alimentent les engins agricoles, les bâtiments d'élevage (chauffage, ventilation, éclairage, tank à lait), les séchoirs et les serres. Etant donnée la part financière liée à ces consommations et ses fluctuations voire son augmentation, de nouveaux équipements permettant de réaliser des économies d'énergie ou de produire de l'énergie renouvelable sur l'exploitation sont désormais disponibles. Parallèlement, la mise en place de ces leviers d'action induit une diminution des émissions directes de GES de l'exploitation liées à la consommation des énergies fossiles. Cependant, les consommations d'énergie indirectes (i.e. celles liées à la fabrication et au transport des intrants, engrais et aliments pour animaux par exemple) peuvent aussi être affectées par l'utilisation de nouvelles techniques ou la modification des pratiques permettant de réduire le poste énergie directe (effet induit).

Au niveau de la ferme France, le premier poste de consommation directe d'énergie correspond à l'énergie utilisée dans les engins agricoles (Vert J. (coord.) and Portet F., 2010). Le second poste concerne les bâtiments agricoles : serres, locaux d'élevage, séchoirs, ateliers lait.

L'objectif de l'action "Energie" est l'évaluation de l'impact sur les émissions de GES de la mise en place de certaines solutions techniques sur l'exploitation pour diminuer les consommations directes d'énergie.

Pour cette action, les émissions de GES considérées sont celles liées à la combustion des énergies fossiles utilisées par l'activité agricole. Les émissions liées aux consommations énergétiques pour la production et la fabrication des intrants (fertilisants, produits phytosanitaires, matériel et bâtiment) ne feront pas partie des émissions ciblées car en dehors de l'exploitation. De même, ne seront pas considérées dans cette étude des solutions qui permettront la diminution des consommations électriques, cette diminution ayant uniquement un impact sur les émissions induites de GES (les solutions permettant uniquement une diminution des émissions induites sont en dehors du champ de l'étude).

2.a. Mécanismes en jeu et émissions de GES associées

La combustion d'énergie fossile (produits bruts ou dérivés issus du pétrole, du gaz et du charbon) donne majoritairement lieu à des émissions de GES sous forme de CO₂ (cas d'une combustion complète), mais elle peut aussi donner lieu, dans le cas d'une combustion incomplète, à des émissions d'oxyde d'azote. Le protoxyde d'azote (N₂O) est l'un des oxydes d'azote pouvant se former en cas de combustion avec de l'air comme comburant.

Les facteurs d'émission utilisés dans cette fiche sont ceux donnés par l'ADEME (Ademe, 2010b) et correspondent à ceux utilisés pour les calculs d'inventaire du CITEPA (CITEPA, 2012). Ces facteurs d'émission sont des facteurs d'émission de GES et non pas d'émissions de CO₂ seul (Ademe, 2010a). Les facteurs d'émission donnés par l'IPCC 2006 (IPCC, 2006) ont très peu évolué par rapport à 2000 en ce qui concerne ceux utilisés dans nos calculs, et les modalités de calculs sont restées identiques.

2.b. Sous-actions et éventuelles options techniques instruites dans la fiche

D'après les résultats obtenus par l'ADEME (Ademe, 2011a) avec l'outil ClimAgri, les consommations directes d'énergie de l'agriculture sont majoritairement sous forme de fioul et de gaz (2 459 ktep et 806 ktep respectivement). Les postes "cultures" et "élevages" sont les plus énergivores. Pour le poste "cultures", le fioul et le gaz sont utilisés pour les engins agricoles (les tracteurs essentiellement) et le chauffage des serres. Une partie de l'énergie est également consommée dans les séchoirs à grain. Cependant celle-ci étant faible comparée aux consommations des engins agricoles et des serres, nous avons choisi d'écarter ce poste même si des leviers d'action existent (Services Coop de France et al., 2011a, b).

Pour l'élevage, le chauffage des bâtiments, essentiellement en élevage de volailles de chair, est essentiellement réalisé avec du propane. Pour les élevages de porcs et de bovins, les consommations d'énergie sont majoritairement de nature électrique. En élevage de porcs, des énergies fossiles sont également utilisées pour le chauffage et le fonctionnement des groupes électrogènes. Des solutions existent ou sont en voie de développement pour diminuer ces consommations. Cependant, une première estimation du potentiel d'atténuation de ces consommations d'énergie fossile (et donc des émissions directes) sur la base des données fournies par l'IFIP (IFIP et al., 2007) (43 kWh d'énergie directe consommée par porc produit, dont environ 20% sous forme d'énergie fossile) montre que ce potentiel est 10 fois inférieur à celui calculé pour les élevages de volailles. En élevage bovin, de l'énergie fossile essentiellement sous forme de fioul est consommée pour les soins aux animaux (utilisation de tracteurs pour alimentation, paillage, curage). Le potentiel d'atténuation sera donc indirectement évalué dans cette fiche dans la sous-action portant sur les tracteurs. Le gaz est aussi très utilisé en élevage de veaux pour le chauffage de l'eau pour l'alimentation. Comme pour les porcs, une première estimation du potentiel d'atténuation de ces consommations d'énergie fossile (et donc des émissions directes) sur la base des données fournies par l'IDELE (IFIP et al., 2007) (113 kWh d'énergie directe consommée par veau produit) montre que ce potentiel est environ 10 fois inférieur à celui calculé pour les élevages de volailles (avec des hypothèses hautes sur les facteurs d'atténuation, l'assiette et les consommations d'énergie fossile).

Les substitutions des énergies fossiles par des énergies renouvelables produites sur l'exploitation peuvent également être envisagées comme levier d'action, mais les coûts des investissements sont très importants et les rendent difficiles à mettre en place sur le terrain (notamment pour l'éolien et le solaire). L'utilisation du bois comme énergie de substitution n'a pas été évaluée dans cette fiche, le bois étant essentiellement produit en dehors de l'exploitation, cette solution ne rentrait pas dans le périmètre de l'étude. La méthanisation peut constituer une solution technique pertinente pour produire de l'énergie pouvant se substituer au propane par exemple (chauffage des bâtiments d'élevage). La méthanisation est traitée dans une autre fiche (Action 9).

Cette action sera donc divisée en plusieurs sous-actions correspondant aux différents postes identifiés (serres, engins agricoles et bâtiments d'élevage de volailles de chair). A chaque poste vont correspondre plusieurs solutions techniques qui constitueront le "grain", c'est-à-dire le niveau, qui permet de faire les calculs (d'assiette, de potentiel d'atténuation et de coût).

Les sous-actions identifiées et rentrant dans le périmètre de l'étude sont les suivantes :

- Réduire la consommation d'énergie liée au chauffage des bâtiments d'élevage avicoles (modification du mode de chauffage, amélioration de l'isolation) ;
- Réduire la consommation d'énergie liée au chauffage des serres (utilisation de matériel de stockage de l'eau chaude, amélioration de l'isolation) ;
- Réduire la consommation d'énergie des engins agricoles (bancs d'essai moteur, formation à l'éco-conduite).

2.c. Rapports et expertises majeurs ayant déjà examiné/évalué l'action

On trouve dans la littérature plusieurs études sur la question de l'énergie en agriculture. La plupart de ces études aborde la question par une entrée économique et mentionne juste son enjeu environnemental sans aborder la quantification des émissions de GES. Dans l'étude "Prospective Agriculture énergie 2030 : l'agriculture face aux défis énergétiques" (Vert (coord.) and Portet, 2010), un bilan des connaissances a été réalisé et celui-ci a permis d'identifier les grands enjeux pour l'agriculture française dans les prochaines décennies. Ce rapport a également mis en évidence le poids important des consommations d'énergie indirectes dans le bilan énergétique de la ferme France. Dans cette étude, 4 scénarios d'évolution à l'horizon 2030 ont été proposés. Pour l'ensemble de ces scénarios, deux des objectifs opérationnels étudiés rejoignent ceux proposés dans cette fiche : "Réduire les consommations de fioul et de gaz des exploitations" et "Concevoir et promouvoir des bâtiments et des équipements agricoles économes en énergie". Néanmoins, les différents scénarios analysés reposent sur des hypothèses fortes sur le plan économique et sur les évolutions technologiques, avec notamment des hypothèses sur le développement des énergies renouvelables et des biocarburants. Il en est de même pour les études "Projections des émissions/absorptions de GES dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010 et 2020" (de Cara and Thomas, 2008) et "Analyse économique de la dépendance de l'agriculture à l'énergie" (ADEME, 2012).

La question des consommations d'énergie en agriculture et des émissions de GES inhérentes est au centre des outils ClimAgri® (Ademe, 2011a) et Dia'terre® (Ademe, 2011b) développés par l'ADEME. ClimAgri est un outil et une démarche de diagnostic énergie-gaz à effet de serre pour l'agriculture et la forêt, à l'échelle des territoires, et Dia'terre® concerne les exploitations agricoles. Dia'terre® est notamment utilisé dans le cadre du Plan de Performance Energétique du Ministère en charge de l'agriculture (voir section 5.1.b).

3. Etat des connaissances sur les phénomènes/mécanismes sous-jacents et leur quantification

L'ADEME a financé il y a quelques années deux études sur l'utilisation rationnelle de l'énergie (URE) dans les serres (CTIFL et al., 2007) et les bâtiments d'élevage (IFIP et al., 2007). Ces études ont permis, grâce à des enquêtes dans des exploitations, d'évaluer les consommations d'énergie de ces deux postes par type de production, et de donner la répartition des effectifs par type d'énergie consommée. A la fin de ces rapports, des orientations techniques permettant de diminuer les consommations d'énergie (fossile et électrique) ont été analysées, et certaines préconisées.

Pour améliorer la performance énergétique en agriculture, plusieurs outils permettant l'évaluation des consommations d'énergie et des émissions de GES du secteur agricole ont été développés, notamment les outils ClimAgri® (Ademe, 2011a) et Dia'terre® (Ademe, 2011b). Ces outils ont mobilisé une partie des connaissances acquises au cours des projets consacrés à l'utilisation rationnelle de l'énergie financés par l'ADEME.

Pour les serres, les consommations d'énergie par unité de surface utilisées dans cette fiche sont issues de l'étude ADEME, Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres (CTIFL et al., 2007). Les valeurs retenues sont les suivantes : 160 kWh en ornemental et 315 kWh en maraîchage. Selon Brajeul et al. (2011) et le RICA 2010, les surfaces de serres chauffées (hors tunnels hors gel) s'élèvent à 1 300 ha pour le maraîchage et à 1 237 ha pour l'ornemental. Différents leviers d'action permettant de diminuer ces consommations ont pu être identifiés sur la base du rapport ADEME (2008) et des Certificats d'économie d'énergie (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/6-le-secteur-de-l-agriculture.html>). Cependant, certaines solutions ont été écartées après discussions avec le CTIFL (Centre Technique Interprofessionnel des Fruits et Légumes) et l'unité EPHOR (unité Environnement Physique de la plante HORTicole, Agrocampus Ouest) car jugées trop coûteuses à mettre en place (par exemple la pompe à chaleur) ou applicables à une assiette trop réduite ; elles ne font donc pas partie des solutions retenues dans notre étude.

Toujours pour les serres, les facteurs d'atténuation pour les solutions retenues proviennent soit des indications portées sur les Certificats d'économie d'énergie, soit directement d'informations transmises par le CTIFL et l'unité EPHOR. Deux solutions ont pu donner lieu à un chiffrage de potentiel d'atténuation : l'installation de ballon d'eau chaude standard ou de type open buffer (7% d'atténuation attendue) et l'installation d'un double écran thermique (entre 5 et 22% d'atténuation attendue). Un gain non négligeable pourrait aussi être obtenu par l'entretien des sondes et des chaudières déjà en place, le remplacement des plus anciennes, et la mise en place d'une aide technique pour le choix des films plastiques, mais pour ces solutions plus simples et rapides à mettre en œuvre, aucune donnée chiffrée concernant les facteurs d'atténuation n'est disponible pour le moment (CTIFL et al., 2007).

Pour les bâtiments d'élevage de volailles, les consommations de gaz propane par animal produit proviennent d'une étude de l'ITAVI (ITAVI, 2010) et sont données pour les principales filières d'élevage de volailles de chair. Les chiffres montrent une variabilité importante des consommations de propane entre productions. Nos évaluations seront donc réalisées pour les 10 principales filières volailles de chair dont les effectifs proviennent des statistiques agricoles 2010.

Différentes solutions techniques pour diminuer les consommations d'énergie des élevages avicoles sont proposées dans le rapport ADEME, Utilisation de l'énergie dans les bâtiments d'élevage (IFIP et al., 2007), et certaines ont été reprises dans le Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage du RMT Elevage, Environnement (Institut de l'Elevage et al., 2010). L'utilisation d'échangeurs de chaleur air-air fait partie des solutions retenues et devant l'intérêt de la filière (pour le moment en production standard essentiellement) pour cette solution, l'optimisation technique des échangeurs s'accélère depuis quelques années. Pour les échangeurs, la réduction des consommations d'énergie, et *a fortiori* des émissions de GES, sera fonction du matériel mis en place et du nombre d'échangeurs (réduction entre 15 et 50%). La variabilité des performances est importante car ces chiffres sont basés sur très peu d'études et sur du matériel en cours de développement. D'autres appareils de chauffage de nouvelle génération tels que les aérothermes peuvent permettre selon l'ITAVI une atténuation de l'ordre de 25%. Selon l'ITAVI (ITAVI, 2008b), 70% des pertes d'énergie par convection en élevage avicole se font par le toit. De plus, les pertes radiatives constituent la majorité des calories perdues en début de lot, période à laquelle la consommation de propane est la plus élevée et où le renouvellement d'air est le plus faible. C'est pourquoi l'amélioration de l'isolation (et étanchéité) des bâtiments d'élevage avicole fait aussi partie des solutions retenues dans cette fiche, avec un facteur d'atténuation variant entre 30 et 50%.

Encore une fois, d'autres solutions plus simples et plus économes comme l'optimisation des réglages ou la modification des pratiques d'élevage (démarrage en poussinière) pourraient permettre également une économie d'énergie substantielle. Mais malheureusement, même si ces bonnes pratiques sont recommandées dans le Guide des bonnes pratiques d'élevage, aucune étude ne permet aujourd'hui d'évaluer les facteurs d'atténuation.

Pour les engins agricoles, les effectifs de tracteurs ont été estimés sur la base des recensements de matériels réalisés en 2005 par (<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf07p029-30.pdf>) et des données du bureau de coordination du machinisme agricole (<http://www.pardessuslahaie.net/frontend.php/bcma/18>). Nous avons choisi de nous focaliser sur les tracteurs, car le parc des autres engins utilisés pour le travail mécanisé en agriculture et les consommations de fioul associées sont très mal connues. Selon Vigier et al. (2012), 10% des émissions du secteur 1A4c calculées par le CITEPA seraient dues à d'autres engins que les tracteurs, comme ceux de la sylviculture et des coopératives agricoles ou entreprises de travaux agricoles. Cette donnée valide notre choix et nous avons conservé cette hypothèse par la suite.

Les deux mesures retenues pour les tracteurs sont : la formation à l'éco-conduite et le passage sur banc d'essai moteur. Ces deux mesures sont celles préconisées par l'association AILE (Association d'Initiatives Locale pour l'Energie et l'Environnement) impliquée dans le projet européen Efficient 20 (<http://fr.efficient20.eu>) qui a pour objectif la diminution de 20% de la consommation de carburant des tracteurs et la création d'une base de données sur les consommations à l'échelle européenne. En France, le passage sur banc d'essai moteur fait partie des actions donnant droit à des Certificats d'économie d'énergie (http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/agri_se_01.pdf). La réduction attendue est de l'ordre de 10%. Pour l'éco-conduite, d'après les études et tests réalisés sur le terrain, selon l'association AILE, le bénéfice attendu est de l'ordre de 20%.

Comme pour les postes précédents, d'autres actions très simples qui impliqueraient les constructeurs de matériels pourraient être mises en place (compteur pour évaluer les consommations par type d'utilisation, amélioration des manuels d'utilisation), adaptation des moteurs aux travaux mais aucune étude n'est disponible actuellement pour évaluer le facteur d'atténuation.

4. Degré et mode de prise en compte des principaux postes d'émissions concernés par l'action dans le cadre de l'inventaire national 2010 et perspectives d'évolution

Les émissions de GES liées aux consommations d'énergie fossile du secteur agricole sont comptabilisées dans la catégorie Energie (1A4C). Cette section traite des émissions liées à la combustion des énergies fossiles pour les activités agricoles, sylvicoles et aquacoles, et englobe à la fois les sources fixes (notamment le chauffage) et les sources mobiles (engins agricoles). Dans ses calculs d'inventaires, le CITEPA se base sur les consommations d'énergie fossile annuelles données (par type de combustible) par le Comité professionnel du pétrole (CPDP). Cependant, les calculs d'inventaires réalisés dans cette étude pour les consommations de gaz des serres et des bâtiments d'élevage ont mis en évidence des différences importantes avec les résultats du CITEPA basé sur les consommations données par le CPDP. Le CPDP donne pour 2005 une consommation de gaz pour les activités agricoles (serres + bâtiments d'élevage) d'environ 260 ktep et pour 2011, 230ktep. Nos estimations réalisées sur la base de consommations relevées en 2005 et 2006 (CTIFL et al., 2007 ; IFIP et al., 2007) aboutissent à 526 ktep. En outre, cette valeur est certainement sous-estimée car elle ne prend pas en compte les tunnels hors gel et l'utilisation de gaz en élevages bovins et porcins. Par conséquent, les diminutions d'émissions quantifiées dans cette étude ne pourraient être prises en compte que si le CITEPA modifiait ses modalités de calculs ou si le CPDP revoit ces estimations de consommations par type d'énergie pour le secteur agricole.

5. Calcul du potentiel d'atténuation et du coût de chaque sous-action

5.1. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action 1

La sous-action 1 concerne l'atténuation des émissions de GES liées au chauffage des bâtiments d'élevage de volailles de chair. Pour ce faire, des modifications du mode de chauffage peuvent être envisagées (installation de matériels de nouvelle génération ou d'échangeurs de chaleur) et l'isolation améliorée.

5.1.a. Potentiel d'atténuation unitaire

• Inventaire des effets sur les émissions

Les solutions techniques auront un effet sur les émissions directes de GES liées à la consommation de propane, et un effet induit sur les émissions de GES en amont de l'exploitation liées à l'exploitation et l'acheminement du gaz. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux du bilan carbone® et sont donnés en Annexe (Tableau 1).

Certaines solutions comme les échangeurs de chaleur et l'isolation peuvent également avoir des répercussions sur les conditions d'ambiance et les émissions de GES et d'ammoniac des effluents. En effet, des essais sur des bâtiments d'élevage équipés d'échangeurs de chaleur ([http://www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/ATWEB0101/DC37FBACD6150009C1257A77002A0949/\\$FILE/Aviculture-r%C3%A9cup%C3%A9ration-de-chaleur-Enqu%C3%AAta-%C3%A9leveurs-2012.pdf?OpenElement](http://www.synagri.com/ca1/PJ.nsf/ATWEB0101/DC37FBACD6150009C1257A77002A0949/$FILE/Aviculture-r%C3%A9cup%C3%A9ration-de-chaleur-Enqu%C3%AAta-%C3%A9leveurs-2012.pdf?OpenElement)) ont montré pour certains élevages une amélioration des conditions d'ambiance (moins de NH₃), une litière plus sèche (moins de CH₄) et aussi moins d'effluents à sortir du bâtiment (induisant une économie de carburant). Par contre, certains éleveurs ont également noté une augmentation du taux de poussières dans l'air (impact sur la santé de l'éleveur et des animaux). De tels effets pourraient également être observés avec l'installation d'une dalle bétonnée dans les bâtiments (amélioration de l'isolation). Aujourd'hui, la prise en compte de ces effets n'est pas possible car aucune donnée quantitative n'existe. Néanmoins, des projets financés par l'ADEME (AFAV) et le CASDAR ("Néo-Dinde", Modélisation Energie) permettront à moyen terme d'obtenir des données concernant ces effets.

Pour les échangeurs, une légère surconsommation d'électricité a également été observée dans certains élevages.

• Quantification de l'atténuation

Pour chaque filière et chaque solution technique, le potentiel d'atténuation unitaire a été évalué de la manière suivante :

Potentiel d'atténuation unitaire (émissions directes CO₂e ; en kg CO₂e/animal produit) = Consommation d'énergie de la filière (kWh/animal produit) x FE propane (émissions directes ; en kg CO₂e/kWh) x Facteur d'atténuation (%)

Les résultats obtenus pour les 10 principales filières de volailles de chair sont illustrés sur les Figures 1 et 2. L'atténuation potentielle unitaire des émissions induites en amont de l'exploitation est d'environ 10% de l'atténuation potentielle unitaire des émissions directes de GES.

Ces résultats ont été obtenus à partir des consommations d'énergie moyenne par filière données en Annexe (Tableau 2) et des facteurs d'atténuation pour chaque option technique donnés au Chapitre 2.c et récapitulés dans le Tableau 3 (en Annexe). Les Tableaux 4 et 5 reprennent les atténuations potentielles unitaires des émissions directes et indirectes calculés pour les différentes filières.

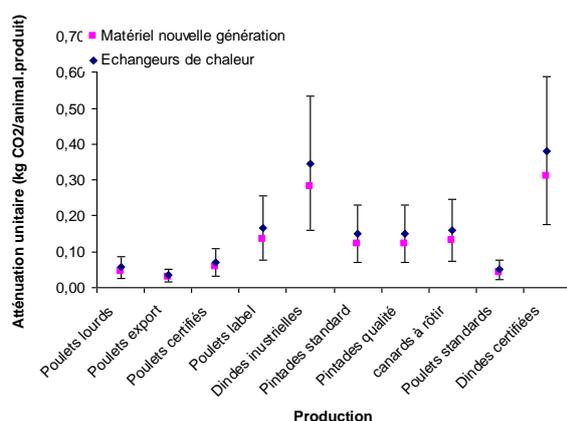


Figure 1. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour des bâtiments d'élevage de volailles de chair par l'installation de matériels de chauffage nouvelle génération ou d'échangeurs de chaleur.

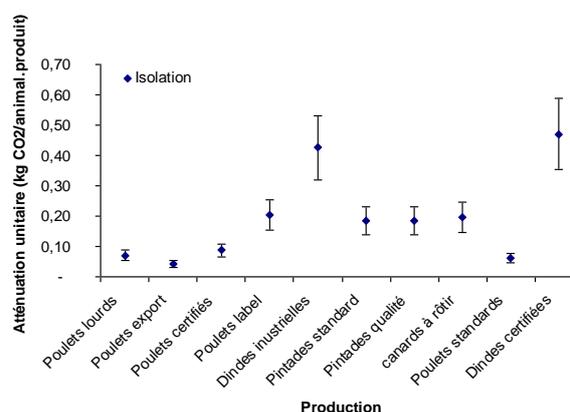


Figure 2. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour des bâtiments d'élevage de volailles de chair par l'amélioration de l'isolation

• Conclusion : atténuation potentielle unitaire de la sous-action

En moyenne pour l'ensemble des filières, les atténuations potentielles par kg de poids vif (PV) sont : $46.10^{-6} \pm 24.10^{-6}$ MgCO₂e/kgPV (pour les échangeurs de chaleur), $37.10^{-6} \pm 20.10^{-6}$ MgCO₂e /kgPV pour le matériel de chauffage nouvelle génération et $56.10^{-6} \pm 30.10^{-6}$ MgCO₂e/kgPV pour l'isolation. Ces valeurs moyennes sont données par kg de poids vif afin de tenir compte de la variabilité du poids des animaux en fin de lot entre les filières, et correspondent à une performance

moyenne pour chaque solution technique. La variabilité inter-filière des résultats obtenus pour chaque solution technique est importante, d'où la pertinence de la prendre en compte dans les calculs. Celle-ci s'explique par des consommations de gaz très variables d'une filière à une autre. Ces consommations dépendent des durées d'élevage, des densités animales, des espèces et du type de bâtiment, donc des caractères spécifiques de chaque filière. Quelle que soit la solution technique proposée, on obtient l'atténuation potentielle unitaire la plus importante pour les productions ayant les durées d'élevage les plus longues (avec les consommations de gaz les plus élevées). Les potentiels les plus faibles sont obtenus pour la filière standard poulet et les plus élevés pour la filière dinde (certifiée et standard).

Pour chaque filière, on peut également avoir une variabilité importante induite par les performances des matériels installés ou les modifications réalisées. Par exemple, l'efficacité de l'isolation dépendra des matériaux isolants utilisés et de leur épaisseur, et du positionnement sur le bâtiment (on gagnera plus à isoler la toiture que le sol, en isolant le tout plutôt qu'une seule partie). Cette variabilité a pu être prise en compte grâce à l'analyse de la bibliographie sur les échangeurs et l'isolation. Ainsi, l'atténuation moyenne est pour les échangeurs au maximum de 71.10^{-6} MgCO_{2e}/kgPV (facteur d'atténuation 50%) et au minimum de 21.10^{-6} MgCO_{2e}/kgPV (facteur d'atténuation 15%), et pour l'isolation au maximum de 71.10^{-6} MgCO_{2e}/kgPV (facteur d'atténuation 50%) et au minimum de 41.10^{-6} MgCO_{2e}/kgPV (facteur d'atténuation 15%). Par contre, en ce qui concerne l'installation de matériel de chauffage de nouvelle génération, la variabilité n'a pas pu être évaluée, une seule valeur de facteur d'atténuation ayant été trouvée dans la littérature.

Les trois solutions techniques proposées peuvent être appliquées simultanément dans un même bâtiment, mais il est bien évident que l'atténuation globale ne sera pas la somme des atténuations unitaires.

5.1.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

- Situation actuelle

Depuis 2009, le secteur de l'agriculture est concerné par le Plan de performance énergétique (PPE). Ce plan s'inscrit dans le cadre du second pilier de la PAC et des programmes de développement rural hexagonal. Dans le cadre du PPE, le gouvernement propose un soutien aux exploitants agricoles pour des investissements permettant la réduction des consommations d'énergie sur l'exploitation. Avant le dépôt d'une demande, un diagnostic énergétique de l'exploitation permet d'identifier les solutions à mettre en place. Parmi les solutions éligibles, on trouve l'amélioration de l'isolation ou l'installation d'échangeurs. La sélection des projets est réalisée par la DDAF et la DDEA et se fait sur appel à candidature.

En outre, depuis 2009 le Plan de modernisation des bâtiments d'élevage (<http://agriculture.gouv.fr/le-plan-de-modernisation-des-10703>) apporte un soutien à la compétitivité des filières animales. Une subvention, pouvant être cofinancée par l'Union européenne, peut être accordée pour la mise en place de solutions permettant d'améliorer les performances économiques de l'exploitation en améliorant l'utilisation des facteurs de production, notamment par l'adoption de nouvelles technologies et par l'innovation.

Grâce à ces différentes actions gouvernementales et aux différents progrès techniques réalisés, l'installation de matériel tels que les échangeurs est de plus en plus répandue. En 2012, selon l'ITAVI, environ 20% des élevages en volailles de chair sont équipés d'échangeurs de chaleur. Etant donné que le PPE est un dispositif récent, on considèrera qu'environ 5% des élevages étaient équipés d'échangeurs de chaleur en 2010. On gardera le même effectif de départ en ce qui concerne les équipements de chauffage de nouvelle génération et l'isolation (on considère que les bâtiments les plus récents ont déjà ces équipements et une isolation adaptée).

Néanmoins, afin de conserver l'homogénéité des calculs réalisés dans les différentes fiches de l'étude et de respecter les limites imposées, ces aides n'ont pas été prises en compte dans les différents calculs économiques présentés ci-dessous.

- Conditions nécessaires à la mise en place de l'action et détermination de l'assiette maximale technique (AMT)

Il n'y a pas de critère spécifique concernant la mise en place de cette action, toutes les solutions retenues peuvent être mises en place dans tous les bâtiments d'élevage de volailles de chair, qu'ils soient à ventilation naturelle ou dynamique et quelle que soit leur dimension.

L'assiette maximale technique sera donc l'ensemble des animaux produits pour les 10 principales productions (Tableau 6, en Annexe). Toutes filières confondues, cela représente 895 842 754 animaux produits par an.

- Scénario de diffusion (% de l'AMT atteint en 2030 et cinétique)

Le scénario retenu pour l'ensemble des solutions techniques est de type sigmoïde car il correspond au type retenu pour la dynamique de propagation d'une innovation. L'équation est la suivante :

$$(t) = \alpha_0 + (\alpha^- - \alpha_0) ([1 - e]^{-((t-t_0)/\tau)^{1/\beta}})$$

Les paramètres sont les suivants :

Pour les échangeurs		
Année de départ :	t_0	2010
Fin de projection :	that	2030
Taux de diffusion initial :	α_0	5,00%
Taux de diffusion tangentiel :	α	80,00%
Nombre d'années pour atteindre l'inflexion :	τ	4
Pente au point d'inflexion :	β	2

Pour l'isolation et le matériel de chauffage nouvelle génération		
Année de départ :	t_0	2010
Fin de projection :	that	2030
Taux de diffusion initial :	α_0	5,00%
Taux de diffusion tangentiel :	α	80,00%
Nombre d'années pour atteindre l'inflexion :	τ	6
Pente au point d'inflexion :	β	3

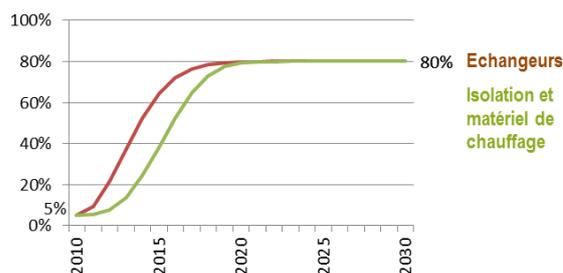


Figure 3. Scénario de diffusion

Pour les échangeurs, le point d'inflexion (2013) a été déterminé sur la base du nombre de bâtiments déjà équipés en 2012 (20% du parc). D'autre part, nous avons considéré que 80% de l'AMT seront atteints en 2030, car d'autres innovations techniques seront proposées et certains bâtiments d'élevage seront amenés à disparaître ou cesseront d'être utilisés.

Pour l'isolation et les matériels de chauffage nouvelle génération, nous avons fait la même hypothèse sur le pourcentage de l'AMT atteint en 2030. Le point d'inflexion pour ces deux solutions a été positionné en 2019. Pour l'isolation, des travaux plus importants pouvant conduire à une cessation d'activité temporaire nous ont amenés à choisir une dynamique plus lente que pour l'option "modification du chauffage".

5.1.c. Potentiel d'atténuation à l'échelle du territoire français

Pour évaluer le potentiel d'atténuation national en 2030 et sur la période 2010-2030 pour chaque solution technique, nous avons évalué, pour chaque filière, le potentiel national en calculant un potentiel annuel ensuite lissé suivant les cinétiques retenues, puis nous avons agrégé année par année les résultats obtenus par filière pour chaque solution.

Potentiel annuel par filière (kgCO₂e/an) = Effectif national de la filière (animaux produits par an) x potentiel unitaire par énergie fossile (kgCO₂e/animal produit)

Les atténuations (émissions directes de GES) en 2030 et cumulées entre 2010 et 2030 par filière sont données en Annexe (Tableaux 7 et 8) et sont présentées sur les Figures 4 et 5 afin d'illustrer la variabilité entre filières.

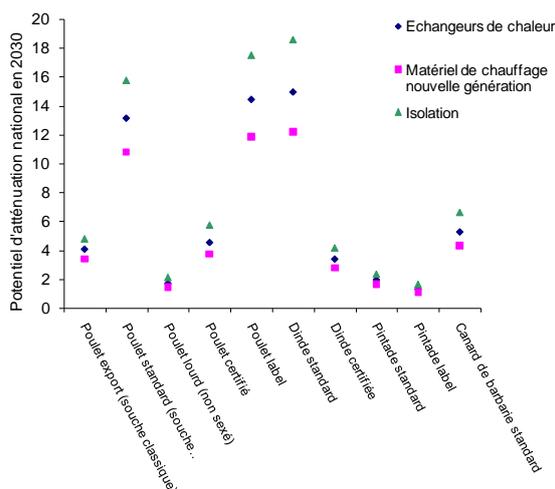


Figure 4. Potentiel d'atténuation de l'année 2030 en appliquant la sous-action sur l'AMT pour chacune des 3 solutions proposées pour les différentes filières volailles de chair

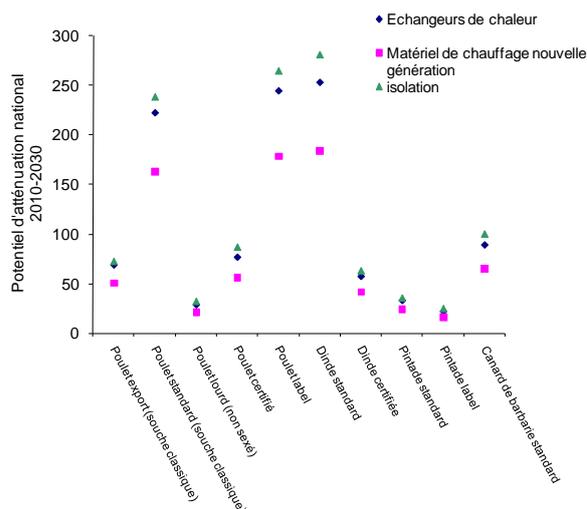


Figure 5. Potentiel d'atténuation cumulé pour chacune des 3 solutions proposées pour les différentes filières volailles de chair sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion

Le potentiel global d'atténuation (toutes filières confondues, émissions directes) en 2030 est de 65.10³ MgCO₂e pour les échangeurs, 53.10³ MgCO₂e pour le matériel de chauffage nouvelle génération et 79.10³ MgCO₂e pour l'isolation (sur la base

d'un facteur d'atténuation moyen des consommations d'énergie de 33% pour les échangeurs, 26% pour le matériel de chauffage nouvelle génération et 40% pour l'isolation). Avec les mêmes hypothèses, le potentiel global d'atténuation (toutes filières confondues) sur la période 2010-2030 est $1\,098.10^3$ MgCO_{2e} pour les échangeurs, 802.10^3 MgCO_{2e} pour le matériel de chauffage nouvelle génération et $1\,201.10^3$ MgCO_{2e} pour l'isolation.

5.1.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

• Estimations des coûts/bénéfices techniques

Les coûts totaux ou bénéfices comprennent à la fois les coûts d'investissement et les coûts liés aux consommations d'énergie (les subventions pouvant être accordées dans le cadre des différents programmes de l'Etat ne sont pas prises en compte). Pour ces derniers, le prix du gaz considéré provient de la base de données PEGASE et correspond au prix du gaz naturel pour une entreprise hors TVA, soit 0,047 €/kWh.

Le coût de l'investissement pour les **échangeurs de chaleur** varie selon le modèle d'échangeur retenu. Dans des bâtiments de surface modeste (autour de 500 m²), les matériels proposés sur le marché ont un prix 2010 de l'ordre de 5 300 € HT hors pose. On peut considérer un tarif augmenté de 100% en intégrant le coût de la pose (Nicolas, 2010). Pour des bâtiments plus grands, de l'ordre de 1 200 m², l'investissement varie de 25 000 à 35 000 € ; l'investissement moyen atteint 30 000 €. L'amortissement est sur 7 ans. L'investissement moyen pour un bâtiment de 1 200 m² a été ramené par animal produit en tenant compte de la densité moyenne par production.

Pour le **matériel de chauffage nouvelle génération** (aérothermes et radiants nouvelle génération), l'évaluation de l'investissement se réfère au "référentiel de prix des bâtiments et équipements avicoles pour reproducteurs de type *Gallus* et volailles de chair" (ITAVI, 2008a) et au guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage. En rénovation, l'installation complète de 24 à 28 radiants à pyrolyse de 5000 W avec régulation et relevage varie de 9 008 € à 11 000 € (bâtiment de 1 200 m²). L'installation complète de 3 générateurs d'air chaud intérieurs gaz (de 60 à 65 kW) coûte entre 4 917 et 7 583 €. Si les générateurs d'air chaud sont à l'extérieur, pour une puissance entre 60 et 85 kW, l'investissement coûte entre 10 858 € et 13 270 €. Dans nos calculs, nous avons retenu pour les aérothermes des coûts d'investissements moyens avec un amortissement sur 15 ans. Comme pour les échangeurs, l'investissement moyen a été ramené par animal produit en tenant compte de la densité moyenne par production.

Le coût d'investissement pour améliorer l'**isolation** d'un bâtiment existant est assez variable. Pour un bâtiment de 1 200 m² standard, le coût varie en fonction de l'endroit isolé (toiture, soubassements...) (Institut de l'Elevage et al., 2010). Dans notre estimation, nous avons retenu le coût d'isolation de la toiture, des soubassements, des pans et des pignons. Le coût varie de 29 à 57 €/HT/m² et il atteint en moyenne 43 €/HT/m². L'amortissement est sur 15 années. L'investissement moyen a été ramené par animal produit en tenant compte de la densité moyenne par production.

En conclusion, le coût unitaire moyen pour chaque solution (donné ici en €/kgPV pour tenir compte de la variabilité du poids des animaux entre les filières) sont : $0,0007 \pm 0,0092$ €/kgPV pour les échangeurs, $-0,0244 \pm 0,0112$ €/kgPV pour le matériel de chauffage nouvelle génération, $-0,0165 \pm 0,0135$ €/kgPV pour l'isolation.

Dans les calculs économiques, nous avons considéré une valeur unitaire par animal produit (afin de réaliser des estimations plus précises par filière avant d'agréger l'ensemble afin d'obtenir les coûts globaux (pour l'ensemble des filières) par solution technique.

Les coûts/bénéfices totaux (investissements + économie d'énergie) pour chaque solution technique et pour les 10 filières concernées sont donnés dans les Tableaux 9, 10 et 11 (en Annexe). Le coût par animal correspond à l'annuité constante équivalente en euros 2010. Le coût en 2030 est le coût par animal multiplié par l'effectif animal concerné en 2030 (identique à celui de 2010). Les coûts cumulés 2010-2030 sont obtenus à partir de la cinétique et de l'ACEA et sont donnés en euros courants.

Le coût global **2030** (toutes filières confondues, émissions directes) en 2030 est **1,6 M€** pour les échangeurs, **-37,44 M€** pour le matériel de chauffage nouvelle génération et **-21,27 M€** pour l'isolation (sur la base des hypothèses de cinétique, d'AMT atteinte en 2030, de facteurs d'atténuation et des coûts d'investissement moyen). Avec les mêmes hypothèses, le coût global (toutes filières confondues) sur la période 2010-2030 est **27,12 M€** pour les échangeurs, **-566,9 M€** pour le matériel de chauffage nouvelle génération et **-322,05 M€** pour l'isolation.

• Autres coûts (coûts de transaction privés, publics)

Pour calculer les coûts de transaction privés (CTP) pour cette sous-action, les exploitations produisant des volailles de chair ont été sélectionnées dans la base RICA 2010. Dans cette base, les variables suivantes sont décrites : nombre de têtes de volailles produites (poulets de chair, dindes, canards), formation générale du chef d'exploitation selon 5 modalités (pas de diplôme, formation de niveau CAP, formation de niveau BEP, formation de niveau baccalauréat, formation supérieure au baccalauréat).

A partir du tableau des coefficients de PBS 2007, une PBS volailles est estimée pour chaque exploitation. Le tableau des coefficients de PBS estime une valeur de 952 € pour 100 unités de poulets de chair produits, et une valeur de 2 089 € pour 100 têtes d'autres volailles.

On calcule les CTP en € par € de PBS de l'exploitation selon le niveau d'études du chef d'exploitation en appliquant le modèle décrit ci-dessus. La moyenne de CTP pondérée par le poids de chaque exploitation dans l'échantillon est calculée. Le CTP par unité de volaille produite ainsi obtenu est égal à 0,0000015 € par poulet de chair produit et 0,0000035 € pour les autres volailles produites. D'après nos estimations, les CTP sont négligeables par rapport aux coûts unitaires en raison des volumes produits car cette sous-action intéresse la totalité de la production de volailles de chair. Les coûts de transaction privés sont relativement faibles puisque la totalité de l'élevage est concernée.

● **Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'AMT (ou le % atteint) en 2030 et coût cumulé sur la période 2010-2030**

La variabilité entre filières des coûts unitaires pour chaque solution est importante. Ces coûts sont majoritairement des gains (coûts négatifs) pour les exploitants (sauf pour les échangeurs) et sont d'autant plus faibles que la durée d'élevage est longue. Au prix 2010, les solutions techniques "matériel de chauffage nouvelle génération" et "amélioration de l'isolation" sont toujours bénéficiaires. La solution technique "échangeur de chaleur" présente des coûts unitaires positifs pour les filières dindes, poulets et pintades label et poulets certifiés (variant de 0,0003 à 0,014 €/kgPV). Cependant il faut garder à l'esprit que les coûts d'investissement varient de plus ou moins 20%, et que les variations des performances en termes d'économie d'énergie sont également du même ordre.

De manière globale (toutes filières confondues), c'est la solution "matériel de chauffage nouvelle génération" qui présente les coûts les plus faibles (donc les gains les plus forts), avec un coût global en 2030 de -37,4 M€ et cumulé sur 2010-2030 de -566,9 M€. Ces chiffres s'expliquent par le fait que pour toutes les filières concernées le coût unitaire est négatif. La solution "isolation" présente des gains plus faibles (-21,2 M€ pour les coûts en 2030 et -322,1 M€ pour les coûts cumulés sur 2010-2030) car globalement les coûts unitaires sont plus élevés que pour la solution "matériel de chauffage nouvelle génération". Ce dernier élément s'explique par des hypothèses sur les coûts d'investissement moyens plus faibles pour le matériel de chauffage de nouvelle génération que pour les 2 autres solutions techniques. La solution "échangeur de chaleur" est une solution présentant des coûts globaux positifs : 1,6 M€ pour les coûts en 2030 et 27,1 M€ pour les coûts cumulés sur 2010-2030. Cette situation s'explique par des coûts d'investissement plus importants que pour les autres solutions induisant des coûts unitaires par filière majoritairement positifs.

5.1.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée, du coût, et du coût de la tonne de CO₂e évité

Les différentes estimations de coûts et de potentiels d'atténuation sont synthétisées dans le Tableau 13. Le coût par tonne de CO₂ évité est une moyenne pour l'ensemble des filières.

Tableau 13. Tableau de synthèse des potentiels d'atténuation et des coûts (sur l'AMT atteinte en 2030 et pour le cumul 2010-2030)

	Potentiel d'atténuation 2030 (10 ³ MgCO ₂ e)	Potentiel d'atténuation 2010-2030 (10 ³ MgCO ₂ e)	Coût (€/MgCO ₂ e évité)	Coût global en 2030 (millions €)	Coût global sur la période 2010-2030 (millions €)
Echangeurs	64,79 (D) 12,08 (I)	1098,44 (D) 204 (I)	24,7	1,6	27,1
Matériel de chauffage nouvelle génération	52,98 (D) 10,14 (I)	802,26 (D) 153,6 (I)	-706	-37,4	-566,9
Amélioration de l'isolation	79,36 (D) 15,37 (I)	1201,74 (D) 232 (I)	-267	-21,2	-322,0

D : émissions directes ; I : émissions induites

Si on analyse de manière plus détaillée (i.e. par filière) les coûts ramenés à la tonne de CO₂e évité, on constate qu'ils respectent la même hiérarchie que précédemment et permettent de classer les solutions entre elles (Tableau 12 en Annexe). Le renouvellement des matériels de chauffage procure les gains les plus élevés mais avec des atténuations sensiblement plus faibles. L'isolation vient en deuxième position pour les coûts négatifs mais présente des atténuations plus élevées que pour les échangeurs. Seule la solution "échangeurs de chaleur" présente un coût de la tonne de CO₂e évité positif. L'analyse des résultats montre que ce coût est négatif pour les filières ayant les durées d'élevage les plus courtes. Une augmentation du prix du gaz (par rapport au prix 2010) de 36%, toutes choses égales par ailleurs, ramène le coût d'atténuation à zéro pour la filière dinde et multiplie par 3 les gains pour la filière poulet export.

5.2. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action 2

La sous-action 2 concerne la réduction des émissions de GES dues au chauffage des serres en production horticole et maraîchère. Les solutions retenues sont : l'installation d'un double écran thermique et l'installation de ballon de stockage d'eau chaude, standard en serre horticole ou de type *open buffer* en serre maraîchère. Les ballons d'eau chaude permettent un découplage partiel ou total de la production et de la consommation d'énergie.

5.2.a. Potentiel d'atténuation unitaire

● Inventaire des effets sur les émissions

Les solutions techniques retenues auront un effet sur les émissions directes de GES liées aux consommations d'énergie fossile qui sont de différentes nature dans le cas des serres (gaz naturel, fioul lourd ou domestique, propane ou butane, et charbon) et un effet induit sur les émissions liées à l'extraction, au raffinage et à l'acheminement de ces énergies. Les facteurs d'émissions utilisés sont donnés dans le Tableau 1 (en Annexe).

● Quantification de l'atténuation

Pour calculer les potentiels d'atténuation unitaire pour chaque type de production et solution technique retenue, nous avons utilisé les consommations d'énergie moyenne par production données à la section 2.c, et des facteurs d'atténuation récapitulés dans le Tableau 14 (en Annexe).

Les résultats obtenus pour les productions maraîchères et ornementales sont illustrés sur les Figures 6 et 7, et les données numériques concernant les émissions directes et induites sont données dans les Tableaux 15 et 16 (en Annexe). Pour chaque type de production le potentiel d'atténuation a été évalué pour chaque type d'énergie fossile de la manière suivante :

$$\text{Potentiel d'atténuation unitaire (émissions directes CO}_2\text{e, en kgCO}_2\text{e/m}^2\text{)} = \text{Consommation d'énergie de la filière (kWh)} \\ \times \text{FE énergie fossile (émissions directes, en kgCO}_2\text{e/kWh)} \times \text{Facteur d'atténuation (\%)}$$

Le potentiel d'atténuation unitaire des émissions induites en amont de l'exploitation varie en fonction du type d'énergie entre 11 et 22% du potentiel d'atténuation des émissions directes de GES (même modalité de calcul que pour les émissions directes avec les facteurs d'émission appropriés).

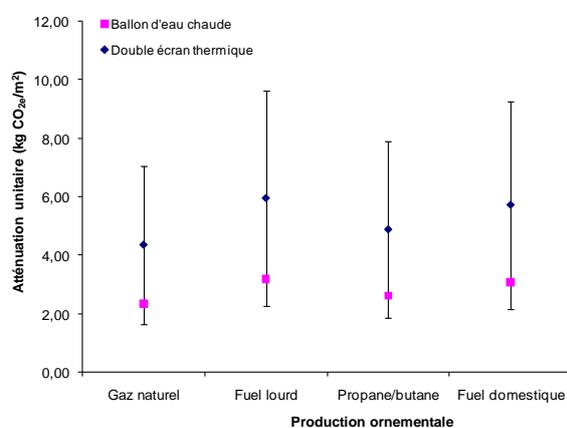


Figure 6. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour des serres en production ornementale par l'installation d'un double écran thermique et d'un ballon d'eau chaude

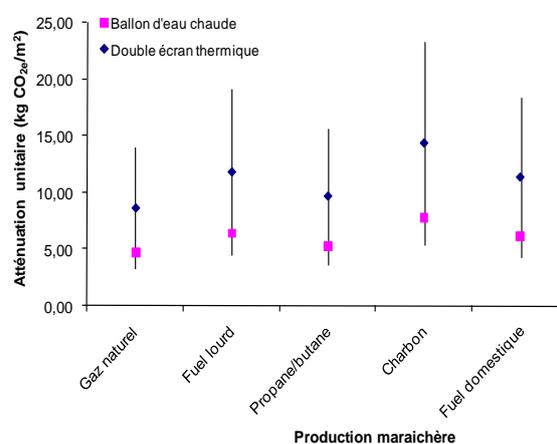


Figure 7. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour des serres en production maraîchère par l'installation d'un double écran thermique et d'un ballon d'eau chaude

● Conclusion : potentiel d'atténuation unitaire de la sous-action

Le potentiel d'atténuation varie entre les 2 filières et également en fonction du type d'énergie utilisée. Pour la filière ornementale, le potentiel unitaire moyen est de $2,80 \pm 0,39$ kgCO_{2e}/m² (ballon) et de $5,22 \pm 0,74$ kgCO_{2e}/m² (écran thermique), et en filière maraîchère de $6,38 \pm 1,05$ kgCO_{2e}/m² (ballon) et de $11,8 \pm 1,94$ kgCO_{2e}/m² (écran thermique) - sur la base d'un facteur d'atténuation de 7% pour les ballons et de 13% pour le double écran thermique.

Le facteur d'atténuation pour le double écran thermique varie entre 5 et 22% (le minimum étant une valeur indiquée par des experts de l'unité EpHor à Angers, et le maximum la valeur retenue dans le certificat d'énergie AGRI-TH-01 et AGRI-TH-02

(<http://www.developpement-durable.gouv.fr/6-le-secteur-de-l-agriculture.html>). Si l'on considère les valeurs maximales et minimales du facteur d'atténuation, on obtient un potentiel moyen d'atténuation variant entre 1,98 et 8,48 kgCO₂e/m² pour l'ornemental, et entre 4,44 et 19,16 kgCO₂e/m² pour le maraîchage. On notera un potentiel moyen d'atténuation plus fort en maraîchage qu'en horticulture, les consommations d'énergie des serres maraîchères étant plus élevées que celles des serres horticoles. Il aurait été pertinent de tenir compte de la variabilité nord-sud des consommations d'énergie, mais ce niveau de finesse des calculs n'aurait pas pu être atteint pour toutes les données utiles aux évaluations qui suivent.

5.2.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

• Situation actuelle

En 2005, une loi fixant les orientations de la politique énergétique a été votée, et dans ce cadre ont été créés les Certificats d'économies d'énergie (CEE) (<http://www.developpement-durable.gouv.fr/Principes-du-dispositif.html>). Cette loi impose aux fournisseurs d'énergie des économies d'énergie sous forme de CEE. Ceux-ci sont attribués, sous certaines conditions, aux acteurs éligibles (obligés mais aussi d'autres personnes morales non obligées) réalisant des opérations d'économies d'énergie correspondant à des opérations couramment réalisées pour lesquelles une valeur forfaitaire de CEE à attribuer a été définie. Ces actions peuvent être menées dans tous les secteurs d'activité (résidentiel, tertiaire, industriel, agricole, transport...). L'installation des ballons d'eau chaude fait partie des opérations standardisées d'économies d'énergie. Deux fiches précisent les conditions de délivrance des certificats et le montant forfaitaire de certificats à délivrer (AGRI-TH-01 et AGRI-TH-02 ; <http://www.developpement-durable.gouv.fr/6-le-secteur-de-l-agriculture.html>).

Depuis octobre 2012, FranceAgriMer propose des aides financières pour moderniser les serres et notamment pour améliorer leur efficacité énergétique. Les ballons d'eau chaude et l'écran thermique font partie des dépenses éligibles.

L'ensemble de ces dispositifs et l'augmentation des coûts énergétiques ont favorisé l'installation de ballons dans les serres.

• Conditions nécessaires à la mise en place de l'action et détermination de l'assiette maximale technique (AMT)

Il n'y a pas de critère spécifique pour l'installation de ces différentes solutions techniques.

Les ballons d'eau chaude et le double écran thermique peuvent être installés dans l'ensemble des serres chaudes en maraîchage et en ornemental, soit 2 537 ha.

• Scénario de diffusion (% de l'AMT atteint en 2030 et cinétique)

Nous supposons dans la suite des calculs que 100% de l'AMT auront été atteints en 2030 pour les deux solutions.

Le scénario retenu pour l'ensemble des solutions techniques est là encore de type sigmoïde.

$$(t) = \alpha_0 + (\alpha - \alpha_0) \left(\frac{1 - e^{-((t - t_0)/\tau)^{1/\beta}}}{1 - e^{-1}} \right)$$

Les paramètres sont les suivants :

Pour le ballon d'eau chaude		
Année de départ :	t ₀	2010
Fin de projection	that	2030
Taux de diffusion initial	α ₀	60,00%
Taux de diffusion tangentiel	α	100,00%
Nombre d'années pour atteindre l'inflexion	τ	8
Pente au point d'inflexion	β	3

Pour le double écran thermique		
Année de départ	t ₀	2010
Fin de projection	that	2030
Taux de diffusion initial	α ₀	20,00%
Taux de diffusion tangentiel	α	100,00%
Nombre d'années pour atteindre l'inflexion	τ	8
Pente au point d'inflexion	β	3

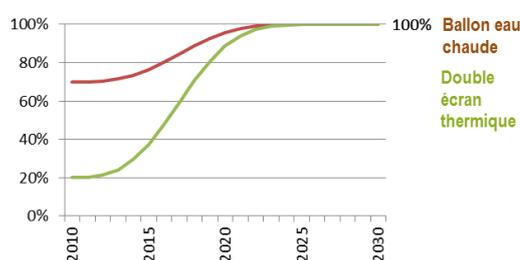


Figure 8. Scénario de diffusion

Selon Brajeul et al. (2011), 65% de serres maraîchères possèdent un ballon et 65% des ballons installés seraient de type *open buffer*. En serre horticole, environ 80% des serres étaient équipées d'un ballon. Pour les écrans thermiques, nous avons considéré que 20% des serres étaient équipées en 2010 pour les 2 filières.

5.2.c. Potentiel d'atténuation à l'échelle du territoire français

Pour évaluer le potentiel d'atténuation national en 2030 et sur la période 2010-2030 pour chaque solution technique, nous avons évalué pour chaque filière le potentiel national par type d'énergie consommée en calculant un potentiel annuel ensuite lissé en suivant la cinétique retenue, puis nous avons agrégé année par année les résultats obtenus par type d'énergie fossile pour chaque filière et chaque solution.

Potentiel annuel par filière et par type d'énergie fossile consommée (kgCO₂e/an) = Proportion de l'effectif national par type d'énergie fossile pour la filière (%) x Effectif national de la filière (m²) x Potentiel unitaire par énergie fossile (kgCO₂e/m²)

Les atténuations de GES de l'année 2030 et sur la période 2010-2030 pour les deux solutions techniques appliquées aux deux filières sont données dans les Tableaux 17 et 18.

Tableau 17. Potentiel d'atténuation de l'année 2030 en appliquant chacune de 2 solutions techniques pour les serres sur l'AMT correspondante

	Potentiel d'atténuation en 2030 (10 ³ MgCO ₂ e)			
	Ballon de stockage d'eau		Double écran thermique	
	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites
Maraîchage	22,02	4,32	40,70	7,99
Ornemental	6,14	0,97	11,42	1,91

Tableau 18. Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion pour chacune de 2 solutions techniques pour les cultures sous serres chaudes

	Potentiel d'atténuation cumulé 2010-2030 (10 ³ MgCO ₂ e)			
	Ballon de stockage d'eau		Double écran thermique	
	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites
Maraîchage	294,13	57,71	543,60	106,68
Ornemental	81,95	12,92	152,46	25,58

5.2.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

• Estimations des coûts/bénéfices techniques

Pour les écrans thermiques, les coûts d'installation moyens sont les suivants : 7 €/m² en maraîchage, 12 €/m² en horticulture ornementale.

Pour les ballons d'eau chaude, le coût d'installation moyen varie de 4 à 6 €/HT/m² de surface couverte. Les coûts cumulés sont obtenus à partir de la cinétique et de l'ACEA calculée sur 10 ans, et sont donnés en euros courants.

Les coûts/bénéfices pour les deux solutions techniques appliquées dans les 2 filières sont donnés Tableau 19.

Tableau 19. Estimations des coûts/bénéfices pour les 2 solutions techniques retenues en culture sous serres chaudes

	Maraîchage		Ornemental	
	Ballon de stockage	Double écran thermique	Ballon de stockage	Double écran thermique
Coût/m² en 2030 (€)	-0,16	-1,69	0,25	-1,07
Coût AMT en 2030 (millions €)	-0,83	-8,77	0,62	-2,65
Coût cumulé sur 2010-2030 (millions €)	-11,13	-117,16	8,25	-35,37

• Autres coûts (coûts de transaction privés, publics)

Les coûts de transaction privés (CTP) sont estimés pour les productions de plants d'ornement et pour les productions maraîchères sous abri. Le modèle d'estimation des CTP est appliqué dans la base RICA 2010 d'une part aux exploitations ayant des productions de plantes en pots et de fleurs coupées produites sous abri, et d'autre part aux exploitations ayant les surfaces en production sous abri suivantes : concombre, tomate, melon, fraise, chou-fleur, carotte, autres légumes. On estime les CTP de chaque exploitation selon le niveau de formation générale du chef d'exploitation, et on estime le CTP/€ de ces productions en appliquant aux surfaces cultivées le coefficient de PBS standard, soit 73 080 €/ha en moyenne nationale pour les productions maraîchères et 198 000 €/ha en production ornementale. Les CTP obtenus sont les suivants : CTP serre ornementale = 0,0006 €/m² et CTP serre maraîchère = 0,0004 €/m².

- Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'AMT (ou le % atteint) en 2030 et coût cumulé sur la période 2010-2030

L'analyse de résultats par filière montrent que quelle que soit la solution technique proposée en maraîchage, les évaluations réalisées montrent des gains pour l'exploitant (-0,2 €/m² pour le ballon de stockage et -1,9 €/m² pour le double écran thermique). Pour la filière ornementale, le double écran thermique apporte des gains (-1,3 €/m²) et le ballon de stockage est faiblement coûteux (0,2 €/m²). Ces gains sont à moduler et sont décroissants selon un gradient géographique nord-sud. Les coûts ramenés à l'AMT pour le double écran thermique sont nettement supérieurs à ceux du ballon de stockage, quelle que soit la filière :

- coût global en 2030 pour le double écran thermique : -8,77 M€ en maraîchage et -2,65 M€ en ornemental ;
- coût global en 2030 pour le ballon d'eau chaude : -0,83 M€ en maraîchage et 0,62 M€ en ornemental.

Cela s'explique par une AMT et un facteur d'atténuation plus faibles pour les ballons d'eau chaude que pour le double écran thermique.

5.2.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée, du coût, et du coût de la tonne de CO₂e évité

Les deux solutions retenues sont globalement associées à des gains. Cependant, le double écran thermique est la solution permettant le gain le plus fort par tonne de CO₂e évité et l'atténuation des émissions directes et induites la plus forte quelle que soit la filière (Tableau 20). L'intérêt du ballon de stockage dépend davantage de la filière et de la latitude.

Tableau 20. Synthèse des coûts et potentiels d'atténuation pour les 2 solutions techniques retenues en culture sous serres chaudes

	Potentiel d'atténuation 2030 (10 ³ MgCO ₂ e)	Potentiel d'atténuation 2010-2030 (10 ³ MgCO ₂ e)	Coût (€/MgCO ₂ e évité)	Coût global en 2030 (millions €)	Coût global sur la période 2010-2030 (millions €)
Ballon d'eau chaude	33,45	446,58	-7,7	-0,21	-2,88
Double écran thermique	62,02	828,32	-221,5	-11,42	-152,54

5.3. Potentiel d'atténuation et du coût de la sous-action 3

5.3.a. Potentiel d'atténuation unitaire

- Inventaire des effets sur les émissions

Les solutions techniques auront un effet sur les émissions directes de GES liées à la consommation de fioul et un effet induit sur les émissions de GES liées à la production du fioul. Les facteurs d'émission utilisés sont ceux du Tableau 1 (en Annexe).

- Quantification de l'atténuation

Pour calculer les potentiels d'atténuation unitaires des tracteurs pour chaque solution technique retenue, nous avons utilisé des consommations moyennes annuelles de fioul pour 2 catégories de tracteurs (moins de 80 chevaux et plus de 80 chevaux). Les consommations horaires ont été considérées comme étant égales à la puissance divisée par 10 (association AILE, communication personnelle). Comme les 2 catégories de puissance sont des catégories moyennes, nous avons retenu une consommation de 5l/h pour les tracteurs <80 ch et 10l/h pour les >80 ch. Le nombre d'heures d'utilisation est en moyenne de 500 heures par an. Les facteurs d'atténuation pour l'éco-conduite et le banc d'essai moteur sont récapitulés dans le Tableau 21 (en Annexe).

Les atténuations potentielles unitaires des émissions directes et induites sont présentées dans les Tableaux 22 et 23.

Tableau 22. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour l'éco-conduite

Eco-conduite	Atténuation potentielle unitaire émissions directes (kgCO ₂ e/tracteur/an)	Atténuation potentielle unitaire émissions induites (kgCO ₂ e/tracteur/an)
Tracteurs <80 ch	1338	147
Tracteurs >80 ch	2944	323

Tableau 23. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES pour le diagnostic sur banc d'essai moteur

Banc d'essai moteur	Atténuation potentielle unitaire émissions directes (kgCO ₂ e/tracteur/an)	Atténuation potentielle unitaire émissions induites (kgCO ₂ e/tracteur/an)
Tracteurs <80 ch	669	73
Tracteurs >80 ch	1472	161

- **Conclusion : potentiel d'atténuation unitaire de la sous-action**

L'atténuation unitaire totale (émissions directes et induites) pour l'éco-conduite est plus élevée que pour le banc d'essai (en moyenne 1 633 kgCO₂e/tracteur/an pour le banc d'essai et 3 267 kgCO₂e/tracteur/an pour l'éco-conduite), ce qui est en accord avec les facteurs d'atténuation utilisés. La différence entre les deux catégories de puissance provient de l'hypothèse d'une consommation horaire divisée par deux entre les deux catégories.

5.3.b. Ligne de base et conditions de développement de l'action

- **Situation actuelle**

D'après les informations disponibles datant de 2007, 3 000 tracteurs sont passés au banc d'essai par an. Comparé à l'effectif national (plus d'un million de tracteurs), ce chiffre est relativement bas. Nous avons donc considéré qu'en 2010, 5% des tracteurs avaient déjà été passés au banc d'essai en supposant que le nombre de bancs d'essai avait augmenté depuis 2007 et que les plus vieux tracteurs ne seraient pas concernés. Nous avons fait la même hypothèse pour l'éco-conduite (5% en 2010).

- **Conditions nécessaires à la mise en place de l'action (critères de détermination de l'assiette maximale technique).**

A priori, tous les tracteurs utilisés sont concernés par ces deux options. Pour évaluer le nombre de tracteurs réellement en service et éviter de surestimer les consommations de fioul liées aux tracteurs, nous avons fait le lien entre le parc de tracteurs national et les émissions de GES calculées par le CITEPA dans la catégorie 1A4C (10 103.10³ MgCO₂e pour le secteur 1A4c). Ce secteur comprend les émissions de GES liées aux consommations d'énergie fossile de l'agriculture, de la sylviculture et de la pêche, et les émissions liées aux consommations de gaz (526.10³ MgCO₂e). Nous avons donc, pour ne pas trop surestimer les émissions dues aux tracteurs, considéré comme Vigier et al. (2012) que 10% de ces émissions provenaient d'autres engins, comme ceux de la sylviculture et des coopératives agricoles ou entreprises de travaux agricoles.

$$\text{Emissions liées à l'utilisation du fioul dans les tracteurs} \approx (10\ 103.10^3 \text{ MgCO}_2\text{e} \times 90\%) - 526.10^3 \text{ MgCO}_2\text{e} = 8\ 566.10^3 \text{ MgCO}_2\text{e}$$

$$\text{Proportion de tracteurs utilisés (\%)} = 8\ 566.10^3 \text{ MgCO}_2\text{e} / (\text{Nbre total tracteurs } <80 \text{ ch} \times \text{FE CO}_2\text{e tracteurs } <80 \text{ ch} (10^3 \text{ MgCO}_2\text{e/an/tracteur}) + \text{Nbre total tracteurs } >80 \text{ ch} \times \text{FE CO}_2\text{e tracteurs } >80 \text{ ch} (10^3 \text{ MgCO}_2\text{e/an/tracteur}))$$

Sur la base de l'équation précédente, le nombre de tracteurs effectivement en service correspond à 80% de l'effectif national.

Pour l'éco-conduite, tous les tracteurs utilisés sont concernés. Pour le banc d'essai, d'après l'association AILE, le passage au banc d'essai est pertinent pour les tracteurs les plus récents. De plus, d'après la CUMA de l'Aube (ITAVI, 2008b), un tracteur sur deux présente un débit en carburant trop important. N'ayant aucune information sur l'âge des tracteurs dans les exploitations, on considèrera que les tracteurs les plus récents représentent 1/3 de l'effectif national.

- **Assiette maximale technique (AMT)**

Pour l'éco-conduite, sur la base de l'équation, l'AMT correspond à environ 80% de l'effectif national de tracteurs donné par le recensement de matériels réalisé en 2005 (<http://agreste.agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Gaf07p029-30.pdf>). D'après ce recensement, on trouve en France 493 500 tracteurs <80ch et 556 500 tracteurs >80ch. D'après nos calculs, le nombre de tracteurs effectivement utilisés est de 394 800 tracteurs <80 ch (0,8 x 493 500) et 445 200 (0,8 x 556 500) tracteurs >80 ch.

Pour le banc d'essai, l'AMT sera de 131 600 tracteurs <80 ch et 148 400 tracteurs >80 ch (1/3 des tracteurs utilisés).

- **Scénario de diffusion (% de l'AMT atteint en 2030 et cinétique)**

Le scénario de diffusion retenu pour les deux solutions techniques est également de type sigmoïde, avec un point d'inflexion en 2016. L'équation de la sigmoïde est :

$$(t) = \alpha_0 + (\alpha - \alpha_0) \left(\frac{1 - e^{-((t-t_0)/\tau)^{1/\beta}}}{1 + e^{-((t-t_0)/\tau)^{1/\beta}}} \right)$$

Les paramètres sont les suivants :

Année de départ	t ₀	2010
Fin de projection	that	2030
Taux de diffusion initial	α ₀	5,00%
Taux de diffusion tangentiel	α	80,00%
Nombre d'années pour atteindre l'inflexion	τ	6
Pente au point d'inflexion	β	3

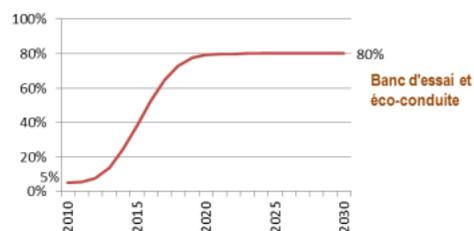


Figure 9. Scénario de diffusion

5.3.c. Potentiel d'atténuation à l'échelle du territoire français

Les atténuations de GES de l'année 2030 et sur la période 2010-2030 pour les deux solutions techniques appliquées aux deux catégories de tracteurs sont données Tableaux 24 et 25. Ces potentiels sont basés sur l'hypothèse d'un nombre de bancs d'essai suffisant pour passer 80% de tracteurs de l'AMT entre 2010 et 2030.

Tableau 24. Potentiel d'atténuation de l'année 2030 en appliquant chacune de 2 solutions techniques pour les 2 catégories de tracteurs sur l'AMT correspondante

	Tracteurs <80 CV		Tracteurs >80 CV	
	Banc d'essai	Eco-conduite	Banc d'essai	Eco-conduite
Atténuation en 2030 (10 ³ MgCO ₂ e) :				
Emissions directes	66	396,3	163,8	983,1
Emissions induites	7,2	43,4	17,9	107,7

Tableau 25. Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion pour chacune de 2 solutions techniques pour les 2 catégories de tracteurs

	Tracteurs <80 CV		Tracteurs >80 CV	
	Banc d'essai	Eco-conduite	Banc d'essai	Eco-conduite
Atténuation 2010-2030 (10 ³ MgCO ₂ e) :				
Emissions directes	999,831	6 000,479	2 480,768	14 886,296
Emissions induites	109,598	657,587	271,896	1631,375

5.3.d. Coûts et bénéfices induits par la sous-action

• Estimations des coûts/bénéfices techniques

Pour évaluer les coûts, nous avons pris en compte, en plus des coûts liés aux économies de consommations de fuel, le coût de passage au banc d'essai (200 €) et de formation à l'éco-conduite (220 €). Nous avons considéré que le passage au banc d'essai devait se faire toutes les 3 000 heures (soit tous les 6 ans), et que pour l'éco-conduite un recyclage était effectué tous les 6 ans. Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau 26. Les coûts cumulés sont obtenus à partir de la cinétique et de l'ACEA calculée sur 6 ans ; ils sont donc en euros courants. Le coût du carburant est identique à celui considéré dans les autres actions et correspond au coût défiscalisé payé par les agriculteurs, soit 0,4706 €/HT. Pour la solution banc d'essai ne sont pas inclus les coûts liés à la mise en place des bancs d'essai (hors périmètre de l'étude).

Tableau 26. Estimations des coûts/bénéfices pour les 2 solutions techniques retenues pour les tracteurs

	Tracteurs < 80 CV		Tracteurs > 80 CV	
	Banc d'essai	Eco-conduite	Banc d'essai	Eco-conduite
Coût (€/tracteur/an)				
ACEA	-79,49	-193,33	-197,14	-428,63
Atténuation émissions directes (kgCO ₂ e/tracteur/an)	669	1 338	1 472	2 944
Atténuation émissions induites (kgCO ₂ e/tracteur/an)	73	147	161	323
AMT (nombre de tracteurs)	131 600	394 800	148 400	445 200
Coût AMT en 2030 (millions €)	-7,84	-57,24	-21,94	-143,12
Coût cumulé entre 2010 et 2030 (millions €)	-118,81	-866,81	-332,25	-2 167,13

- **Autres coûts (coûts de transaction privés, publics)**

Les coûts de transaction privés (CTP) sont estimés pour l'ensemble du parc des tracteurs. Dans la base RICA 2010, toutes les exploitations sont retenues. Le CTP est estimé selon le modèle décrit précédemment et en retenant dans la base la PBS 2007 (nom de la variable dans le RICA : pbuce). Si l'on fait l'hypothèse que le CTP s'applique en moyenne à un tracteur sur les trois présents en moyenne dans chaque exploitation, le CTP/tracteur = 167 € pour 6 ans, soit une ACEA = 32 €. Le CTP n'excède pas 15% du gain unitaire présenté Tableau 26. Par contre, il est du même ordre de grandeur que l'investissement (200 € pour 6 ans).

- **Conclusions : coût unitaire de la sous-action, coût annuel pour l'AMT (ou le % atteint) en 2030 et coût cumulé sur la période 2010-2030**

Quelle que soit la solution technique proposée, les coûts calculés sont des gains pour les agriculteurs (-145 €/MgCO_{2e} évité pour l'éco-conduite et -127 €/MgCO_{2e} pour le banc d'essai). Les gains sont nettement plus élevés pour l'éco-conduite que pour le banc d'essai, s'expliquant par une AMT 3 fois plus élevée et un facteur d'atténuation 2 fois plus élevé dans le cas de l'éco-conduite. Les coûts globaux en 2030 et cumulés 2010-2030 sont entre 6 et 7 fois plus élevés pour l'éco-conduite que pour le banc d'essai.

5.3.e. Synthèse : récapitulatif de l'atténuation escomptée, du coût, et du coût de la tonne de CO_{2e} évité

Les différences de coûts par tracteur entre les deux solutions techniques (Tableau 26) s'annulent lorsque l'on ramène à la tonne de CO_{2e} évité et que l'on considère le coût moyen pour les deux catégories (Tableau 27).

Les hypothèses d'économie de carburant de ces actions sont sujettes à caution car elles dépendent fortement du comportement des agriculteurs (conduite, réglage moteur). Il faut toutefois noter que les gains importants sont quasi proportionnels au prix du carburant, dont la hausse ne peut que favoriser l'adoption de comportements favorables à l'atténuation escomptée.

. **Tableau 27.** Synthèse des coûts et potentiels d'atténuation pour les 2 solutions techniques retenues pour les tracteurs

	Potentiel d'atténuation 2030 (10 ³ MgCO _{2e})	Potentiel d'atténuation 2010-2030 (10 ³ MgCO _{2e})	Coût (€/MgCO _{2e} évité)	Coût global en 2030 (millions €)	Coût global sur la période 2010-2030 (millions €)
Eco conduite	1 529	23 175	-145	-200,36	-3 033,94
Banc d'essai	255	3 862	-127	-29,79	-451,06

6. Synthèse : potentiel d'atténuation et coût annuels et cumulés pour l'ensemble de l'action

Pour chacune des sous-actions, différentes solutions techniques ont été retenues. Certaines solutions techniques peuvent être cumulées sur un poste, mais dans ce cas nous n'avons aucun élément permettant de savoir si cumuler les solutions sur un même poste permet de cumuler les atténuations obtenues.

Le Tableau 28 regroupe les solutions de chaque sous-action qui offrent les coûts les plus faibles (ou les gains les plus élevés) par tonne de CO_{2e} évité (Matériel de chauffage, Double écran thermique et Eco-conduite) et également le groupe de techniques qui offre le potentiel d'atténuation le plus élevé (Isolation, Double écran thermique et Eco-conduite). Concernant le groupe de solutions offrant les coûts les plus faibles par tonne de CO_{2e} évité, l'éco-conduite et le banc d'essai, donnant des coûts vraiment très proches, pourraient l'un ou l'autre en faire partie.

Tableau 28. Synthèse du potentiel d'atténuation et du coût cumulés sur la période 2010-2030.

Techniques	Potentiel d'atténuation 2010-2030 (10 ³ MgCO _{2e})	Coût cumulé (2010-2030) (millions €)	Coût par tonne de GES évitée (sur l'ensemble de la période)
Groupe de techniques avec le potentiel d'atténuation le plus élevé			
Isolation	1 433	-152,5	-267
Double écran thermique	828	-322,1	-221
Eco-conduite	23 178	-3 033,9	-145
Total	25 439	-3 508,1	

Groupe de techniques avec les coûts les plus faibles (ou les gains les plus élevés) par tonne de CO ₂ évité			
Matériel de chauffage nouvelle génération	955	-633	-706
Double écran thermique	828	-322,1	-221
Eco-conduite	23 178	-3 033,9	-145
Total	24 961	-3 989	

7. Discussion

7.a. Sensibilité des résultats

Pour chacune des solutions techniques des 3 sous-actions, nous avons analysé la sensibilité au prix des énergies. Les résultats sont présentés Tableaux 29 à 31.

Pour 10% d'augmentation du coût de l'énergie (i.e. une augmentation faible), on observe une augmentation du gain qui peut aller jusqu'à 50% (échangeurs de chaleur pour les poulets). Par contre, une augmentation de 10% des prix de l'énergie n'est pas suffisante pour transformer les coûts en gains pour les échangeurs de chaleur en élevage de dinde standard ou pour les ballons de stockage en culture ornementale.

Une analyse de la sensibilité aux coûts d'investissement pourrait également être réalisée. Cependant, pour les serres et les tracteurs, les prix sont peu variables. Par contre, une variabilité forte existe pour les bâtiments d'élevage de volailles de chair. Par exemple, une augmentation de 16% du prix d'investissement pour les échangeurs donne lieu à une diminution de 50% des gains (Tableau 29) et engendre des coûts pour l'amélioration de l'isolation en filière dinde standard.

Tableau 29. Impact du prix de l'énergie sur le coût par tonne de CO₂e pour les bâtiments d'élevage

Hypothèse de prix	Coût par tonne de CO ₂ e évité (€/MgCO ₂)					
	Echangeurs		Chauffage nouvelle génération		Isolation	
	Poulet standard	Dinde standard	Poulet standard	Dinde standard	Poulet standard	Dinde standard
Prix énergie 2010 = 0,047 €/kWh	-257,7	175,0	-1 186,5	-377	-417,2	-31,22
Prix énergie 2010 + 10%	-388,1	125,3	-1 316,0	-426,7	-502,6	-80,42
Prix investissement moyen + 16%	-167,0	273,6	-1 169,1	-358,0	-347,28	+42,5

Tableau 30. Impact du prix de l'énergie sur le coût par tonne de CO₂e pour les serres chaudes

Hypothèse de prix	Coût par tonne de CO ₂ e évité (€/MgCO ₂)			
	Ballon de stockage d'eau chaude		Double écran thermique	
	Maraîchage	Ornemental	Maraîchage	Ornemental
Prix énergie 2010)	-37,84	100,7	-215	-232
Prix énergie 2010 + 10%	-59,09	80,95	-248,1	-332

Tableau 31. Impact du prix de l'énergie sur le coût par tonne CO₂e pour les tracteurs

Hypothèse de prix	Coût par tonne de CO ₂ e évité (€/MgCO ₂)			
	Banc d'essai		Eco conduite	
	<80 ch	>80 ch	<80 ch	>80 ch
Prix énergie 2010 défiscalisé = 0,4706 €/l	-118.9	-133.9	- 144.5	- 145.6
Prix énergie 2010 défiscalisé + 10%	-136.42	-149.91	-162.08	-161.58
Prix énergie 2010 non défiscalisé = prix 2010 défiscalisé + 101% = 0,949 €/l	-297.60	-296.43	-323.27	308.09

7.b. Les conditions d'une prise en compte de l'action dans l'inventaire national

- Comptabilisation des effets

L'action énergie est prise en compte, mais elle est sous-estimée car les consommations de gaz des serres et bâtiments d'élevage sont sous-évaluées dans le calcul du CITEPA. Par conséquent, les réductions d'émissions quantifiées dans cette

étude ne pourraient être effectivement prises en compte que si le CITEPA modifiait ses modalités de calculs pour ces postes, ou si le CPDP revoyait ses estimations de consommations de gaz pour le secteur agricole.

- **Vérifiabilité de la mise en œuvre de l'action**

Le contrôle de l'efficacité de la mise en place des solutions techniques proposées est tributaire de plusieurs facteurs :

- une systématisation des bilans énergétiques des exploitations (Dia'terre® - Ges'tim par ex.) ;
- la modification des modalités de calcul des inventaires du CITEPA (ventilation par poste et source d'énergie) ;
- compléter le contenu des enquêtes nationales avec un volet énergie détaillé incluant les équipements en place, et les ventilations par poste.

7.c. Les contextes et mesures susceptibles de favoriser le déploiement de l'action

Depuis plusieurs années la tendance à la hausse des prix de l'énergie constitue un contexte favorable à la mise en place et au développement de solutions permettant la réduction des consommations de l'énergie des exploitations. Par ailleurs, une politique de soutien aux investissements a été mise en place.

Les **bâtiments avicoles** peuvent ainsi bénéficier depuis 2009 d'aides *via* :

- le Plan de Performance Énergétique (PPE, inscrit dans le cadre du second pilier de la PAC et du Programme de développement rural hexagonal) qui propose un soutien pour des investissements permettant des économies d'énergie sur l'exploitation ; l'amélioration de l'isolation ou l'installation d'échangeurs de chaleur sont des investissements éligibles ;
- le Plan de Modernisation des Bâtiments d'Élevage (PMBE) qui, pour soutenir la compétitivité des filières, peut subventionner des équipements améliorant l'utilisation des facteurs de production.

Grâce à ces soutiens publics et aux progrès techniques réalisés, l'installation de matériels tels que les échangeurs de chaleur se développe (20% des élevages en volailles de chair en étaient déjà équipés en 2012, selon l'ITAVI).

Les **serres chauffées** peuvent bénéficier :

- du dispositif des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE, créés par la loi de 2005 sur les orientations de la politique énergétique) que les vendeurs d'énergie ont l'obligation d'acquérir, en aidant financièrement leurs clients à réaliser des économies d'énergie ; les ballons d'eau chaude font partie des "opérations standardisées" du dispositif ;
- des aides financières proposées (depuis octobre 2012) par FranceAgriMer pour moderniser les serres et notamment améliorer leur efficacité énergétique ; ballons d'eau chaude et écran thermique sont des dépenses éligibles.

Ces dispositifs et l'augmentation des coûts de l'énergie ont déjà favorisé l'installation de ballons dans les serres.

Pour les **tracteurs**, les agriculteurs peuvent bénéficier d'un CEE pour le passage au banc d'essai moteur.

7.d. Interactions entre sous-actions et avec les autres actions

Il n'y a pas d'interaction entre sous-actions.

Les sous-actions portant sur les serres et les bâtiments d'élevage pourraient avoir une interaction avec l'Action "Méthanisation". En effet il pourrait être envisagé d'utiliser l'énergie produite par méthanisation pour chauffer les serres et les bâtiments.

7.e. Autres effets attendus de l'action, synergies/antagonismes avec l'adaptation au changement climatique et avec d'autres objectifs de politique publique

Parmi les autres effets attendus de l'action, on notera l'impact des diminutions de consommation d'énergie sur les émissions de certains composés comme les particules ou les COV (notamment pour les tracteurs). Cette action pourrait contribuer à l'objectif de diminution (30% pour les particules) fixé dans le cadre du deuxième Plan national santé environnement (<http://www.sante.gouv.fr/IMG/pdf/plaqgp10.pdf>).

8. Conclusions

Dans cette fiche ont été évalués les potentiels d'atténuation des émissions de GES par la réduction des consommations énergétiques des bâtiments d'élevage de volaille de chair, des serres chaudes et des tracteurs. Nous avons retenu pour chacun de ces postes des solutions techniques dont l'efficacité a été prouvée (et les résultats publiés) et quantifiée. D'autres

solutions techniques existent ; elles peuvent parfois être très simples (nettoyage des sondes de température, adaptation de la puissance moteur, démarrage en double densité) mais n'ont pas été retenues car aucune donnée quantifiée concernant leur efficacité n'était disponible. Des projets de recherche sont en cours pour certaines d'entre elles, et pour les autres des projets sont à envisager.

Les résultats obtenus dans cette fiche montrent que l'atténuation potentielle la plus élevée est obtenue pour les tracteurs, mais ces chiffres ont été obtenus en faisant l'hypothèse d'un comportement optimal de l'exploitant (respect des règles de l'éco-conduite et réglage du tracteur après passage sur le banc d'essai). Pour les 2 autres sous-actions, les performances sont moindres mais non liées (ou beaucoup moins) au comportement de l'exploitant. En outre, pour la majorité des sous-actions proposées, l'application des techniques retenues permet de générer des gains pour l'exploitant, parfois très conséquents sur la base des hypothèses retenues dans cette fiche. L'analyse de sensibilité fait apparaître une variabilité forte en fonction des coûts d'investissement pour l'agriculteur et des subventions prises en compte. Des coûts tels que le financement des bancs d'essai moteur n'ont pas été évalués et pris en compte.

Références bibliographiques citées

- Ademe, 2010a. Guide des facteurs d'émissions Version 6.1 Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées Introduction Chapitre 1 – Présentation des incertitudes. 9 p.
- Ademe, 2010b. Guide des facteurs d'émissions Version 6.1 Calcul des facteurs d'émissions et sources bibliographiques utilisées Introduction Chapitre 2 – Facteurs associés à la consommation directe d'énergie. 69 p.
- Ademe, 2011a. *CLIMAGRI : La ferme France en 2006 et 4 scénarios pour 2030 : Version 7-11*. Angers: Ademe, 55 p.
- Ademe, 2011b. *Dia'terre - Synthèse du guide de la méthode*. Angers: Ademe, 70 p.
- ADEME, 2012. *Analyse économique de la dépendance de l'agriculture à l'énergie - Evaluation, analyse rétrospective depuis 1990 Scénarios d'évolution à 2020*
- Brajeul E.; Grisey A.; Trotin-Caudal Y.; Le Quillec S.; Grasselly D.; Tisiot R.; Erard P.; Raynal C.; Paris B.; Ronco L.; Langlois A.; Vial F.; F., R., 2011. Viabilité des systèmes de cultures protégées dans un contexte d'agriculture durable : Eco-serre. *Innovations Agronomiques*, 17: 49-65.
- CITEPA, 2012. *Rapport national d'inventaire pour la France au titre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques et du protocole de Kyoto*. Paris: Citepa, 1364 p.
- CTIFL; ASTREDHOR; INH, 2007. *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres - Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs – Rapport complet*. Paris: Ademe, (n°05 74 C0100), 133 p.
- de Cara, S.c.; Thomas, A.c., 2008. *Projections des émissions/absorptions sze gaz à effet de serre dans les secteurs forêt et agriculture aux horizons 2010-2020. Rapport final*, 192 p.
http://www.inra.fr/content/download/19058/295197/version/1/file/GES_rapport-final.pdf
- IFIP; ITAVI; Institut de l'Élevage; Chambres d'agriculture de Bretagne et des Pays de la Loire, 2007. *Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage. Situation technico-économique en 2005 et leviers d'action actuels et futurs. Rapport complet*. Paris: Ademe, (n°05 74 C0100), 398 p.
- Institut de l'Élevage; IFIP; ITAVI, 2010. *Guide des bonnes pratiques environnementales d'élevage*, (ISBN : 2859692088), 305 p.
- IPCC, 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol1.html> ; <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html> ; <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html> ; <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html> ; <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol5.html>
- ITAVI, 2008a. Référentiel de prix des bâtiments et équipements avicoles pour reproducteurs de type Gallus et volailles de chair.
- ITAVI, C., CRAPL, 2008b. Les consommations d'énergie dans les bâtiments avicoles - Quelques repères sur les consommations d'énergie et propositions de pistes d'amélioration.
http://www.itavi.asso.fr/elevage/batiment/energie_aviculture_ademe.pdf
- ITAVI, 2010. *Synthèse des consommations de propane et d'électricité en aviculture*.
- Nicolas C., 2010. *Elevage de volailles : la récupération de chaleur par échangeur d'air. Rapport d'étude*, 6.
- Services Coop de France; Arvalis-Institut du végétal; SOLAGRO, 2011a. *Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages - Situation technico-économique du parc de séchoirs existant et leviers d'actions actuels et futurs - Rapport final séchage des fourrages*. Paris: Ademe, (n°0160C0016), 55 p.
- Services Coop de France; Arvalis-Institut du végétal; SOLAGRO, 2011b. *Utilisation rationnelle de l'énergie pour le séchage des grains et des fourrages - Situation technico-économique du parc de séchoirs existant et leviers d'actions actuels et futurs - Rapport final séchage des grains et semences*. Paris: Ademe, (n°0160C0016), 55 p.
- Vert J. (coord.); Portet F., c., 2010. *Prospective Agriculture énergie 2030 : l'agriculture face aux défis énergétiques* paris: Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, Centre d'études et de prospective, SSP.
- Vigier, F.; Lacour, S.; Benzai, S., 2012. Comment déterminer les consommations des automoteurs agricoles ? *ScienceEaux & Territoires*, 07: 46-52,

Annexe

Sous-action 1

Tableau 1. Facteurs d'émissions directes (combustion) et induites (production) de GES des combustibles fossiles (ADEME 2010)

	Emissions directes (kgCO ₂ /kWh)	Emissions induites (kgCO ₂ /kWh)
GPL	0.231	0.04
Essence	0.264	0.04
FOL	0.282	0.04
FOD/Gazole	0.271	0.03
Gaz naturel	0.205	0.04
Charbon	0.341	0.07

Tableau 2. Consommations de propane pour le chauffage en bâtiments d'élevage de volailles de chair (ITAVI, 2010)

Production	Type d'énergie	Consommation unitaire	
		kg gaz/animal produit	kWh/animal produit
Poulet export (souche classique)	Propane	0,033	0,45
Poulet standard (souche classique)	Propane	0,048	0,66
Poulet lourd (non sexé)	Propane	0,054	0,75
Poulet certifié	Propane	0,068	0,94
Poulet label	Propane	0,159	2,20
Dinde standard	Propane	0,334	4,61
Dinde certifiée	Propane	0,369	5,09
Pintade standard	Propane	0,144	1,99
Pintade label	Propane	0,145	2,00
Canard de Barbarie standard	Propane	0,154	2,12

Tableau 3. Facteurs d'atténuation des émissions de GES des bâtiments d'élevage de volailles de chair obtenus par modification du chauffage ou amélioration de l'isolation

Type de solution	Potentiel d'atténuation	
Modification du chauffage	Echangeurs de chaleur	Entre 15 et 50%
	Radiants nouvelle génération, Aérothermes	26%
Amélioration de l'isolation		Entre 30 et 50%

Tableau 4. Atténuation potentielle unitaire des émissions de GES en bâtiments d'élevage de volailles de chair par l'amélioration de l'isolation

Solution technique Production	ISOLATION					
	Atténuation potentielle unitaire émissions directes (kgCO ₂ e/animal produit)			Atténuation potentielle unitaire émissions indirectes (kgCO ₂ e/animal produit)		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Poulets lourds	0.05	0.07	0.09	0.01	0.01	0.02
Poulets export	0.03	0.04	0.05	0.01	0.01	0.01
Poulets certifiés	0.07	0.09	0.11	0.01	0.02	0.02
Poulets label	0.15	0.20	0.25	0.03	0.04	0.05
Dindes standard	0.32	0.43	0.53	0.06	0.08	0.10
Pintades standard	0.14	0.18	0.23	0.03	0.04	0.04
Pintades qualité	0.14	0.19	0.23	0.03	0.04	0.04
Canards à rôtir	0.15	0.20	0.25	0.03	0.04	0.05
Poulets standard	0.05	0.06	0.08	0.01	0.01	0.01
Dindes certifiées	0.35	0.47	0.59	0.07	0.09	0.11

Annexes

Tableau 5. Atténuation potentielle unitaire des émissions de CO₂e en bâtiments d'élevage de volailles de chair par modification des systèmes de chauffage

Production	Atténuation potentielle unitaire émissions directes CO ₂ e (kgCO ₂ e /animal produit)			Atténuation potentielle unitaire émissions indirectes CO ₂ e (kgCO ₂ e /animal produit)		
	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max
Solution	Echangeurs de chaleur					
Poulets lourds	0.026	0.056	0.087	0.005	0.011	0.017
Poulets export	0.016	0.034	0.052	0.003	0.006	0.010
Poulets certifiés	0.033	0.071	0.109	0.006	0.013	0.021
Poulets label	0.076	0.165	0.254	0.015	0.031	0.048
Dindes standard	0.160	0.346	0.533	0.030	0.066	0.101
Pintades standard	0.069	0.149	0.230	0.013	0.028	0.044
Pintades qualité	0.069	0.150	0.231	0.013	0.029	0.044
Canards à rôtir	0.074	0.159	0.245	0.014	0.030	0.047
Poulets standard	0.023	0.050	0.077	0.004	0.009	0.015
Dindes certifiées	0.176	0.382	0.587	0.034	0.073	0.112
Solution	Matériel de chauffage nouvelle génération					
Poulets lourds	-	0.046	-	-	0.009	-
Poulets export	-	0.028	-	-	0.005	-
Poulets certifiés	-	0.058	-	-	0.011	-
Poulets label	-	0.135	-	-	0.026	-
Dindes standard	-	0.282	-	-	0.054	-
Pintades standard	-	0.122	-	-	0.023	-
Pintades qualité	-	0.122	-	-	0.023	-
Canards à rôtir	-	0.130	-	-	0.025	-
Poulets standard	-	0.041	-	-	0.008	-
Dindes certifiées	-	0.311	-	-	0.059	-

Tableau 6. Table de passage des effectifs de volailles de l'enquête avicole 2008 aux effectifs de la SAA 2010

SAA 2008, production avicole	Prod 2008	Prod 2010	Var 2008-2010
	1000 têtes		
Poulets de chair et coquelets	768 350	780 970	1,01642481
Canards gras	35 532	35 706	1,00489699
Canard à rôtir	40 944	44 220	1,08001172
Dindes et dindons	67 739	59 436	0,87742659
Pintades	27 294	29 229	1,0708947
	Enquête production avicole 2008	selon SAA 2008	selon SAA 2010
	Prod (1000 têtes)		
Poulets standard	316 674	344 492	350 150
Poulets lourds	36 843	40 079	40 738
Poulets export	144 840	157 564	160 152
Poulets certifiés	77 156	83 934	85 313
Poulets labels	105 455	114 718	116 603
<i>somme poulets</i>	<i>680 970</i>	<i>740 790</i>	<i>752 957</i>
Coquelets	25 334	27 559	28 012
<i>somme poulets + coquelets</i>	<i>706 304</i>	<i>768350</i>	<i>780 970</i>
<i>Canards à rôtir</i>	<i>37 824</i>	<i>40 944</i>	<i>44 220</i>
Dindes industrielles	57 060	65 618	57 575
Dindes certifiées	1 843	2 120	1 860
<i>somme dindes</i>	<i>58 904</i>	<i>67 739</i>	<i>59 436</i>
Pintades standard	16 434	16 393	17 555
Pintades qualité	10 927	10 900	11 673
<i>somme pintades</i>	<i>27 362</i>	<i>27 294</i>	<i>29 229</i>

Annexes

Tableau 7. Potentiel d'atténuation de l'année 2030 en appliquant chacune de 3 solutions techniques en élevages de volailles sur l'AMT correspondante

	Echangeurs de chaleur		Aérothermes ou radiants dernière génération		Isolation	
	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites
	10 ³ MgCO _{2e}					
Poulet export (souche classique)	4	0,7	3,4	0,6	4,8	1,2
Poulet standard (souche classique)	13	2,4	10,8	2,1	15,8	2,6
Poulet lourd (non sexé)	1,7	0,3	1,4	0,3	2,1	0,3
Poulet certifié	4,5	0,8	3,7	0,7	5,8	1,3
Poulet label	14,4	2,7	11,8	2,3	17,5	3,5
Dinde standard	14,9	2,8	12,1	2,3	18,6	3,4
Dinde certifiée	3,4	0,6	2,8	0,5	4,2	0,8
Pintade standard	2	0,4	1,6	0,3	2,4	0,5
Pintade label	1,3	0,2	1,1	0,2	1,7	0,3
Canard de Barbarie standard	5,3	1	4,3	0,8	66	1,3
Total filières	64,8	12	53	10,1	79,4	15,3

Tableau 8. Potentiel d'atténuation cumulé sur la période 2010-2030 en appliquant le scénario de diffusion pour chacune de 3 solutions techniques en élevages de volailles

	Echangeurs de chaleur		Aérothermes ou radiants dernière génération		Isolation	
	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites	Emissions directes	Emissions induites
	10 ³ MgCO _{2e}					
Poulet export (souche classique)	69,2	12,2	50,9	9,1	72,7	18,2
Poulet standard (souche classique)	222,6	40,1	163,	31,8	238,6	39,8
Poulet lourd (non sexé)	29,	5,7	21,3	4,2	32,4	4,6
Poulet certifié	77,	14,1	56,2	10,7	87,2	19,4
Poulet label	244,7	46	178,8	34,4	264,8	53
Dinde standard	253,3	48,3	184,4	35,3	281,2	52,4
Dinde certifiée	57,6	11,	41,9	8	63,30	12,1
Pintade standard	33,3	6,2	24,3	4,6	35,9	8
Pintade label	22,3	4,3	16,2	3,	25,2	5,3
Canard de barbarie standard	89,4	16,9	65,3	12,5	100,4	20,1
Total filières	1098,4	204,8	802,3	153,6	1201,7	232,7

Tableau 9. Estimations des coûts ou bénéfices liés à l'installation d'échangeurs de chaleur
Un coût négatif correspond à un gain net.

	Coût par animal produit (€)	Atténuation des émissions directes par animal (kgCO _{2e})	Coût d'abattement en 2030 (millions €)	Coût cumulé 2010-2030 (millions €)
Poulet export (souche classique)	-0,009	0,034	-1,028	-17,427
Poulet standard (souche classique)	-0,013	0,050	-3,384	-57,371
Poulet lourd (non sexé)	-0,009	0,056	-0,289	-4,893
Poulet certifié	0,008	0,071	0,525	8,897
Poulet label	0,032	0,165	2,816	47,737
Dinde standard	0,061	0,346	2,614	44,324
Dinde certifiée	0,050	0,382	0,446	7,566
Pintade standard	-0,026	0,149	-0,348	-5,909
Pintade label	0,023	0,150	0,204	3,464
Canard de barbarie standard	0,001	0,159	0,043	0,735
Total filières			1,600	27,123

Annexes

Tableau 10. Estimations des coûts ou bénéfices liés à l'installation de radiants de nouvelle génération
Un coût négatif correspond à un gain net.

	Coût par animal produit (€)	Atténuation des émissions directes par animal (kgCO _{2e})	Coût d'atténuation en 2030 (millions €)	Coût cumulé 2010-2030 (millions €)
Poulet export (souche classique)	-0,038	0,028	-4,567	-69,154
Poulet standard (souche classique)	-0,049	0,041	-12,775	-193,445
Poulet lourd (non sexé)	-0,048	0,046	-1,479	-22,394
Poulet certifié	-0,043	0,058	-2,771	-41,961
Poulet label	-0,071	0,135	-6,175	-93,501
Dinde standard	-0,106	0,282	-4,592	-69,526
Dinde certifiée	-0,121	0,311	-1,074	-16,260
Pintade standard	-0,081	0,122	-1,067	-16,149
Pintade label	-0,059	0,122	-0,519	-7,852
Canard de barbarie standard	-0,073	0,130	-2,421	-36,658
Total filières			-37,439	-566,900

Tableau 11. Estimations des coûts ou bénéfices liés à l'amélioration de l'isolation des bâtiments
Un coût négatif correspond à un gain net.

	Coût/animal produit (€)	Atténuation des émissions directes /animal (kgCO _{2e})	Coût d'atténuation en 2030 (millions €)	Coût cumulé 2010-2030 (millions €)
Poulet export (souche classique)	-0,044	0,040	-5,251	-79,511
Poulet standard (souche classique)	-0,025	0,060	-6,574	-99,541
Poulet lourd (non sexé)	-0,050	0,070	-1,528	-23,137
Poulet certifié	-0,030	0,090	-1,923	-29,124
Poulet label	-0,026	0,200	-2,300	-34,826
Dinde standard	-0,013	0,430	-0,580	-8,779
Dinde certifiée	-0,030	0,470	-0,264	-3,998
Pintade standard	-0,076	0,180	-1,003	-15,187
Pintade label	-0,023	0,190	-0,199	-3,016
Canard de barbarie standard	-0,050	0,200	-1,646	-24,930
Total filières			-21,269	-322,049

Tableau 12. Récapitulatif de l'atténuation escomptée, du coût, et du coût de la tonne de CO_{2e} évité pour chacune des solutions retenues

	Coût de la tonne de CO _{2e} évité (€/MgCO _{2e}) moyenne 2010-2030			Atténuation des émissions directes de GES entre 2010 et 2030 (10 ³ MgCO _{2e})		
	Echangeurs	Matériel de chauffage nouvelle génération	Isolation	Echangeurs	Matériel de chauffage nouvelle génération	Isolation
Poulet export (souche classique)	-251,68	-1357,95	-1092,92	69,24	50,93	72,751
Poulet standard (souche classique)	-257,69	-1186,51	-417,21	222,63	163,04	238,589
Poulet lourd (non sexé)	-168,68	-1052,26	-714,44	29,01	21,28	32,385
Poulet certifié	115,51	-746,72	-334,00	77,03	56,19	87,197
Poulet label	195,12	-523,03	-131,50	244,66	178,77	264,841
Dinde standard	174,97	-377,07	-31,22	253,32	184,39	281,158
Dinde certifiée	131,32	-388,16	-63,16	57,61	41,89	63,306
Pintade standard	-177,63	-663,94	-423,19	33,26	24,32	35,887
Pintade label	155,57	-485,50	-119,73	22,27	16,17	25,188
Canard de barbarie standard	8,23	-561,51	-248,21	89,41	65,28	100,437
Ensemble				1098,44	802,26	1201,74

Sous-action 2

Tableau 14. Facteurs d'atténuation des émissions de GES des serres obtenus par l'installation d'un double écran thermique et d'un ballon d'eau chaude

Type de solution	Potentiel d'atténuation	
	Maraîchage	Ornemental
Ballon d'eau chaude	-	7%
Ballon d'eau chaude type open buffer	7%	-
Double écran thermique	Entre 5 et 22%	Entre 5 et 21%

Tableau 15. Atténuation potentielle unitaire des émissions de CO₂ pour des serres en production ornementale par l'installation d'un double écran thermique et d'un ballon d'eau chaude

	Ornemental							
	Atténuation potentielle unitaire émissions directes CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an)				Atténuation potentielle unitaire émissions indirectes CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an)			
	Ballon	Double écran thermique			Ballon	Double écran thermique		
	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Moyenne	Min	Max	Moyenne
Gaz naturel	2.3	1.6	7.0	4.3	0.4	0.3	1.3	0.8
Fuel lourd	3.2	2.3	9.6	6.0	0.4	0.3	1.3	0.8
Propane/butane	2.6	1.8	7.9	4.9	0.5	0.4	1.5	0.9
Fuel domestique	3.1	2.2	9.3	5.7	0.3	0.2	1.0	0.6

Tableau 16. Atténuation potentielle unitaire des émissions de CO₂ pour des serres en production maraîchère par l'installation d'un double écran thermique et d'un ballon d'eau chaude

	Maraîchage							
	Atténuation potentielle unitaire émissions directes CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an)				Atténuation potentielle unitaire émissions indirectes CO ₂ (kgCO ₂ /m ² /an)			
	Ballon	Double écran thermique			Ballon	Double écran thermique		
	Moyenne	Min	Max	Moyenne	Moyenne	Min	Max	Moyenne
Gaz naturel	4.7	3.3	14.0	8.6	0.8	0.6	2.5	1.5
Fuel lourd	6.4	4.5	19.2	11.8	0.8	0.6	2.5	1.5
Propane/butane	5.2	3.6	15.7	9.7	1.0	0.7	3.0	1.8
Charbon	7.8	5.4	23.3	14.4	0.6	0.4	1.7	1.1
Fuel domestique	6.1	4.3	18.4	11.4	0.7	0.5	2.0	1.2

Sous-action 3

Tableau 21. Facteurs d'atténuation des émissions de GES des tracteurs obtenus par l'éco-conduite ou le passage sur banc d'essai moteur

Type de solution	Potentiel d'atténuation
Eco conduite	20%
Banc d'essai moteur	10%