

Consommations d'énergie en bâtiment veau de boucherie

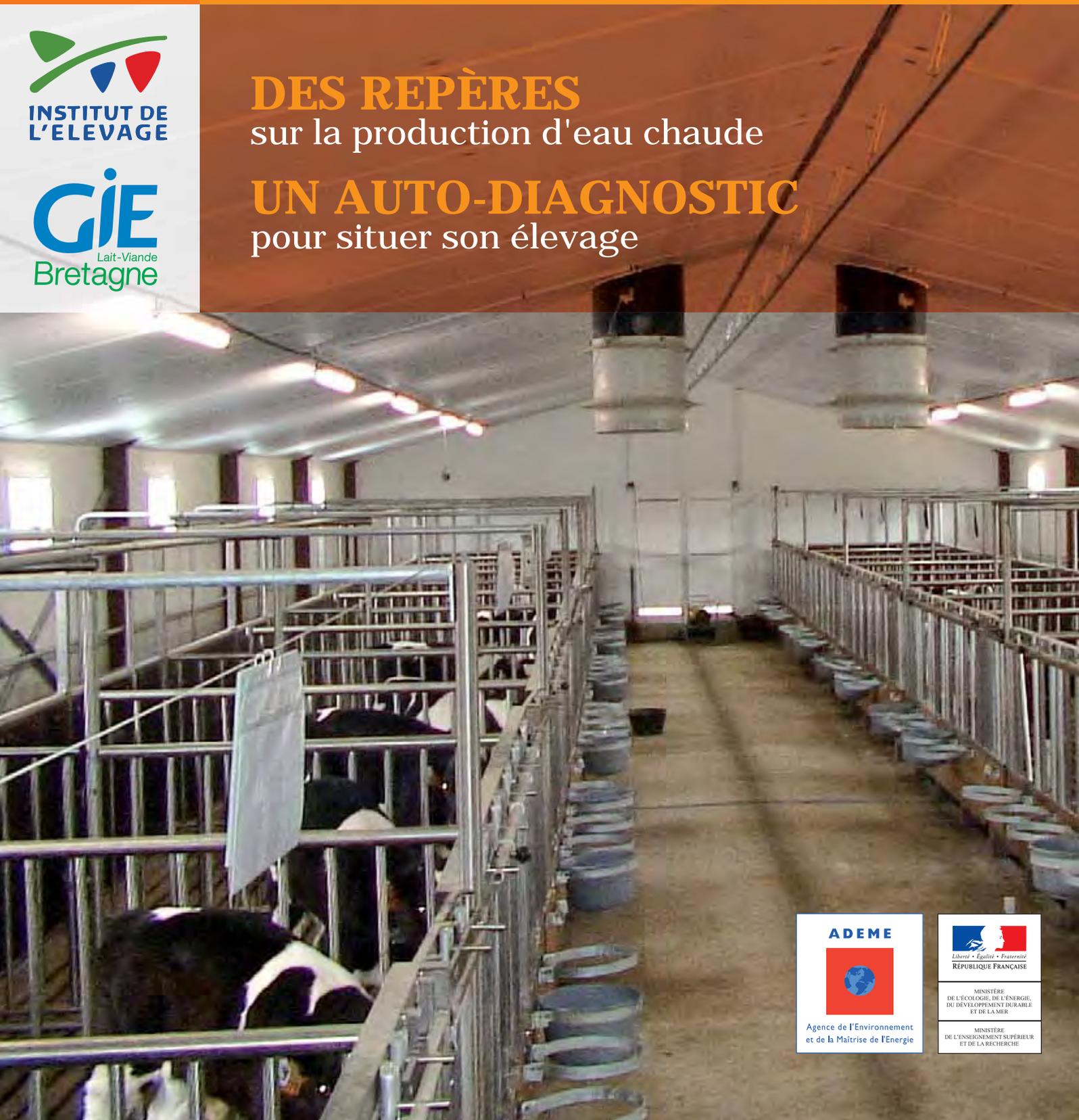


DES REPÈRES

sur la production d'eau chaude

UN AUTO-DIAGNOSTIC

pour situer son élevage



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



MINISTÈRE
DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE,
DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE LA MÉR

MINISTÈRE
DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE

Cet ouvrage a été rédigé par

Christophe Martineau (Institut de l'Élevage)
et Yves Schryve (Become)

et a bénéficié des avis de

Philippe Kergourlay (GIE Lait Viande de Bretagne),
Gérard Bertrand (Institut de l'Élevage),
Philippe Briand et Jean Pierre Quillien
(Chambres d'Agriculture de Bretagne)
Jean-Baptiste Dollé (Institut de l'Élevage)
Gilles Petitjean et Cédric Garnier (ADEME)

Crédit photos :

Christophe Martineau - Institut de l'Élevage 35652 Le Rheu
Michel Martin - Ecosoleil 35410 Nouvoitou
René Tabel - Énergie Système 19430 St Julien-Le-Pelerin

Photo de couverture : station veaux de boucherie - Institut de l'Élevage - Le Rheu

Conception et réalisation graphique :

Agence Art terre 42 bd Jacques-Cartier 35000 RENNES

Financé et édité par :

ADEME

© ADEME Éditions, février 2010

ISBN 978 - 2 - 35 838 - 090 - 4

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (Art L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (Art L 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relative à la reproduction par reprographie.

Remerciements

à Marie-Renée Bougeard, Arnaud Haquin, Brigitte Lehuger,
Sébastien Sachet et Hervé Sebode
pour leur disponibilité et l'accueil réservé
lors de la visite de leurs bâtiments d'élevage.

Dépôt légal :

1^{er} trimestre 2010

SOMMAIRE

1 - PRODUCTION DE VEAUX DE BOUCHERIE: CONTEXTE ET ENJEUX **P.4**

- > Une production essentielle à l'équilibre des filières lait et viande
- > Quelques chiffres sur la production et la consommation de viande de veau en Europe
- > Particularités de la filière française

2 - SITUATION ÉNERGÉTIQUE DES ÉLEVAGES DE VEAUX **P.7**

- > Part de l'énergie directe dans le coût de production d'un veau
- > Repères de consommation d'énergie en bâtiment
- > Principales sources d'énergie utilisées pour chauffer l'eau et équivalences

3 - BESOINS THÉORIQUES EN EAU CHAUDE ET DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS **P.10**

- > Modalités de reconstitution des buvées
- > Qualité
- > Quantité
- > Besoins énergétiques
- > Dimensionnement des réservoirs de stockage et de chauffage de l'eau chaude
- > Différents types de réservoirs de stockage
- > Générateurs d'eau chaude

4 - ENVIRONNEMENT ÉNERGÉTIQUE DES ÉLEVAGES DE VEAUX **P.15**

- > Équivalences énergétiques
- > Énergies « alternatives »
Solaire thermique - Biomasse - Géothermie
- > Coût comparatif des énergies
- > Choix de l'énergie

5 - REPÈRES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES SUR LES SYSTÈMES DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE **P.20**

- > Chaudière gaz ou fuel et ballon d'accumulation
- > Réservoir de stockage à chauffage direct au gaz
- > Générateur d'eau chaude à gaz sous pression
- > Ballon électrique à accumulation
- > Capteurs solaires et chaudière d'appoint
- > Pompe à chaleur Air/Eau et chaudière d'appoint

6 - TABLEAU RÉCAPITULATIF **P.25**

7 - AUTO-DIAGNOSTIC PAR L'ÉLEVEUR DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE EN BÂTIMENT **P.26**

INTRODUCTION

Le renchérissement du coût de l'énergie et la participation nécessaire du secteur de l'élevage au développement durable nécessitent de maîtriser les consommations d'énergie dans les fermes d'élevage. La filière veau de boucherie, comme la plupart des filières animales, doit par conséquent répondre à de nouveaux défis pour demeurer à la fois compétitive et respectueuse des enjeux environnementaux.

L'observation des pratiques énergétiques centrée sur le bâtiment est réalisée depuis 2005 dans les élevages du réseau de référence veaux de boucherie mis en place à l'initiative du GIE Lait Viande de Bretagne. Les relevés effectués dans une quarantaine d'élevages par l'Institut de l'Élevage et les Chambres d'Agriculture de Bretagne ont montré que la consommation moyenne d'énergie directe d'un veau élevé en 22-23 semaines est de l'ordre de 150 kWh et concerne essentiellement le gaz et l'électricité. La particularité de l'élevage du veau de boucherie se situe au niveau du poste de production d'eau chaude largement prédominant, puisqu'il représente à lui seul près de 75 % de la consommation globale comparativement au fonctionnement du bâtiment (ventilation, pompes de distribution du lait...). Cette consommation importante liée au chauffage de l'eau met l'accent sur la nécessité d'optimiser les équipements de production d'eau chaude et sur la possibilité d'avoir recours à des énergies renouvelables telles que le solaire thermique ou la biomasse.

L'objectif de ce document, destiné essentiellement aux éleveurs, est double. Il s'agit, d'une part, de faire le point sur les différents systèmes de production d'eau chaude habituellement utilisés, avec des références chiffrées en matière de besoins énergétiques, de dimensionnement des installations, d'investissements et de coûts énergétiques. Il propose d'autre part un auto-diagnostic simplifié qui doit permettre à tout éleveur de se positionner par rapport à des références connues et d'envisager les pistes d'amélioration pour réduire efficacement sa consommation énergétique.

Ce document fait suite à un travail commandé par l'ADEME, portant sur l'utilisation rationnelle de l'énergie en bâtiment laitier, allaitant et veaux de boucherie, publié en mars 2007 (téléchargeable sur ademe.fr). ■

1

PRODUCTION DE VEAUX DE BOUCHERIE : CONTEXTE ET ENJEUX

> Une production essentielle à l'équilibre des filières lait et viande

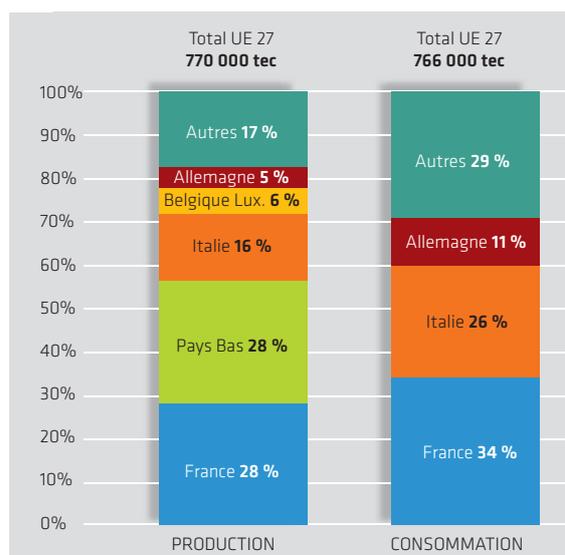
La production de veaux de boucherie joue un rôle régulateur essentiel dans les filières lait et viande bovine. En France, elle permet d'utiliser environ 20 % des veaux disponibles issus essentiellement du cheptel laitier. Cela représente un veau sur deux issu du troupeau laitier soit la plupart des veaux mâles de race Prim'holstein. C'est autant de veaux qui ne sont pas orientés vers la production de viande rouge qui deviendrait de ce fait excédentaire. Par ailleurs, cette production constitue un véritable débouché pour une grande partie des poudres de lait écrémé et surtout des lactosérums excédentaires aux besoins en alimentation humaine. En Europe, elle permet ainsi d'écouler l'équivalent d'environ 5 % du quota de production de lait et 40 % des poudres de lait écrémé produites.

Bien que présentes en Amérique du Nord, la production et la consommation de veaux de boucherie sont essentiellement européennes. Le veau produit en France est caractérisé par une viande rosée claire souvent appelée « viande blanche » issue d'un animal jeune alimenté avec un régime majoritairement lacté et contenant également des aliments fibreux pour respecter la réglementation bien-être. Depuis juillet 2008, la définition européenne du veau (Règlement CE N° 700/2007 du 11 juin 2008) fixe à 8 mois l'âge maximum à l'abattage d'un veau de boucherie.

> Quelques chiffres sur la production et la consommation de viande de veau en Europe

Graphique 1 : production et consommation de viande de veau de boucherie en Europe

(source : Office de l'Élevage 2008)



Production

Près de 5 millions de veaux ont été produits en 2008 dans l'Union européenne (UE à 27) soit un tonnage de 770 000 Tonnes Équivalent Carcasses (Téc). Trois pays producteurs réalisent 72 % du tonnage produit. La France, qui était jusqu'alors le plus gros producteur, a été rejointe en 2008 par les Pays-Bas avec 28 % de la production estimée pour chacun de ces deux pays soit 215 000 Téc.

Échange et consommation

Le commerce de viande de veau avec les pays tiers est négligeable : production et consommation sont régulièrement équilibrées dans l'Union. La France, l'Italie et l'Allemagne totalisent 71 % de la consommation européenne qui est de 2 kg équivalent carcasse par habitant. La France est le premier consommateur européen (34 % du total consommé dans l'union en 2008 correspondant à 255 000 Téc soit 4 kg par habitant). Elle compense un solde déficitaire par l'importation de viande de veaux hollandais, qui atteint plus ou moins 40 000 Téc par an depuis une dizaine d'années.

Évolutions et perspectives

La rentabilité de la production est liée à la forte saisonnalité qui bouscule perpétuellement le système

de production de veaux de boucherie : disponibilités en veaux de 8 jours très irrégulières et saisonnalité de la demande (faiblesse de la demande estivale en morceaux à braiser et à bouillir) exigent des adaptations à tous les maillons de la filière. Fin 2007, après plusieurs mois de crise économique due à une forte augmentation des coûts alimentaires, les perspectives pour 2008 semblaient plutôt favorables pour la filière veau de boucherie française. Mais la viande de veau, en moyenne plus chère que le bœuf, a souffert davantage de la baisse du pouvoir d'achat des ménages et, dès les premiers mois de l'année 2008, une chute de la consommation de 8 à 9 % a été observée. Les perspectives pour 2009-2010 vont dans le sens d'un repli de la production de l'ordre de 3 % en Téc.

> Particularités de la filière française

Une production très régionalisée

En France, 1,5 million de veaux de boucherie sont élevés chaque année par près de 4 500 éleveurs en ateliers spécialisés et 7 500 éleveurs de veaux sous la mère. La production est répartie sur l'ensemble de la France, avec cependant une forte prédominance historique des bassins laitiers de l'Ouest.

Carte 1 : effectif des veaux de boucherie par département

(source : Agreste 2005)

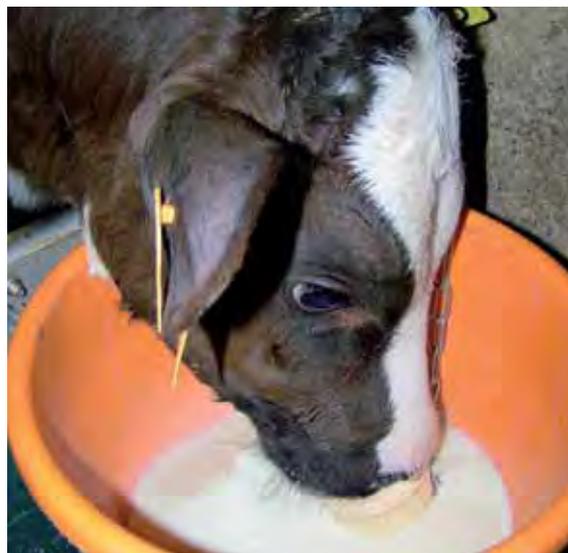
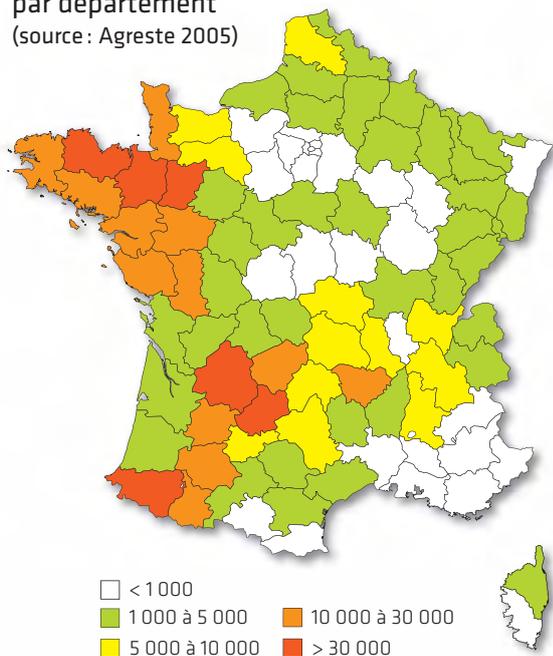


Photo 1 : le veau de boucherie reçoit une alimentation à base de lait reconstitué et d'aliment solide.

Deux principaux types de production

Le veau de boucherie

Le « veau de boucherie » représente près de 80 % de la production annuelle de viande de veau soit 1,2 million de têtes. Produit en ateliers spécialisés faisant le plus souvent l'objet d'un « contrat d'intégration » avec un fabricant d'aliments du bétail ou avec un abatteur, ce type de veau est engraisé pendant 5 à 6 mois. Il reçoit une alimentation constituée principalement de lait reconstitué (300 à 330 kg d'aliment d'allaitement par veau) et d'aliment fibreux en quantité généralement limitée (25 à 30 kg par veau). La taille des exploitations reste modeste, avec une capacité d'accueil de l'ordre de 150 à 500 places, la moyenne étant proche de 200 places de veaux.

Le veau sous la mère

Le « veau sous la mère », très présent dans les élevages traditionnels du Sud-Ouest de la France est issu de races bovines allaitantes (Limousine, Blonde d'Aquitaine, Salers, Bazadaise principalement). Sa production avoisine les 160 000 têtes, soit 10 % de la production française. Nourri à volonté au lait tété directement au pis de sa mère et d'autres vaches du troupeau de races laitières ou mixtes, le veau sous la mère est abattu généralement entre 4 et 6 mois. Les élevages sont de petite dimension, soit une trentaine de vaches et une quinzaine de veaux en moyenne produits par an.

Deux autres types de production restent très modestes dans leur effectif : le « veau rosé » et le « veau fermier ». qui représente chacun moins de 5 % de la production annuelle en France. Le « veau rosé » concerne principalement deux appellations que sont le veau de Saint-Étienne et de Lyon et le Veau d'Aveyron et du Ségala. Il est caractérisé par sa durée d'engraissement pouvant atteindre 10 à 12 mois et par la présence de quantités importantes d'aliments grossiers dans son régime alimentaire. Le « veau

fermier » est élevé en nombre limité dans des exploitations laitières souhaitant diversifier leur production ou valoriser des surplus de quotas laitiers. Il est surtout destiné à la vente directe ou à la boucherie traditionnelle.



Photo 2 : le veau sous la mère est nourri à volonté au lait tété au pis de sa mère.

2

SITUATION ÉNERGÉTIQUE DES ÉLEVAGES DE VEAUX

Dans le cadre de ce document, la situation énergétique des élevages de veaux est abordée uniquement sous l'angle de la consommation d'énergie directe pour la production de l'eau chaude nécessaire à la préparation du lait reconstitué. Notons toutefois que ce poste n'est qu'un volet de l'empreinte environnementale des exploitations d'élevage. Il conviendrait en effet de prendre en compte l'énergie indirecte, notamment celle relative au refroidissement du lait à la ferme, au transport de ce lait, à la fabrication et au transport du lait reconstitué... Ceci est actuellement testé dans le cadre d'évaluations environnementales globales des systèmes de production agricoles telles que les ACV (Analyse de Cycle de Vie) conduites au niveau national et international.

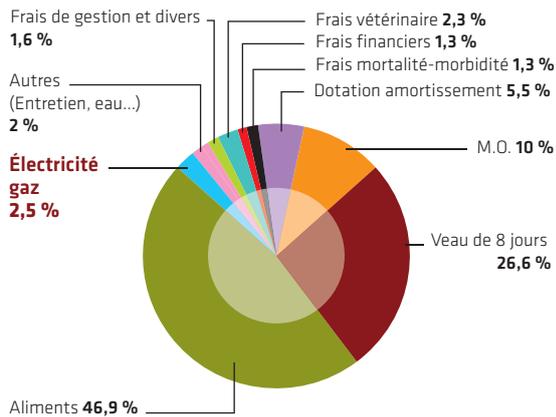
Rappelons à cette occasion que dans le cadre du concept de production et consommation durable et plus soutenable, un certain nombre de filières risquent à termes d'être remises en cause progressivement par les pouvoirs publics mais également par les consommateurs de plus en plus soucieux de réduire l'impact environnemental de leurs pratiques de consommation.

Dans ce contexte, il conviendrait que les professionnels de l'élevage puissent anticiper ces nouvelles demandes, prennent en compte l'énergie dans son ensemble et plus généralement l'environnement dans sa globalité pour évoluer vers des systèmes de production plus économes.

> Part de l'énergie directe dans le coût de production d'un veau

En production de veau de boucherie, l'énergie directe, c'est-à-dire celle consommée en bâtiment, représente moins de 3 % du coût de production d'un veau « standard » Prim'holstein de 130 kg de poids

Graphique 2 : part de l'énergie dans le coût de production d'un veau « standard » en 2009 (source Institut de l'Élevage 2009)



> Repères de consommation d'énergie en bâtiment

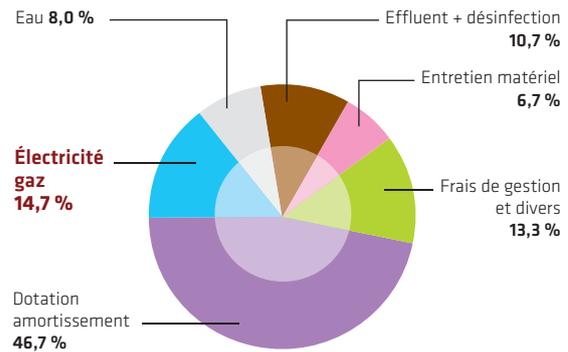
Les résultats présentés dans cette partie sont issus du document "Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage" publié par l'ADEME en mars 2007. Ils ont été obtenus à partir des relevés effectués en 2006 dans une trentaine d'élevages du réseau de référence. Ces élevages, situés en Bretagne, sont représentatifs des modes de conduites alimentaires observés au niveau national. Les données ont été collectées principalement à partir des éléments comptables (factures et bons de livraison) présents sur l'exploitation, complétées dans certains cas par des relevés de compteurs électriques en début et fin de bande de veaux et par la caractérisation des équipements électriques (puissance et temps de fonctionnement). Seules les énergies directes consommées au niveau du bâtiment veau, à savoir l'électricité, le gaz ou le fuel achetés par l'éleveur ont été prises en compte.

Deux principaux postes de consommation d'énergie directe: la production d'eau chaude et le fonctionnement du bâtiment

La consommation d'énergie directe d'un veau de boucherie produit en 22-23 semaines s'élève en moyenne à 152 kWh. Elle concerne essentiellement le gaz pour la production d'eau chaude et l'électricité pour la ventilation du bâtiment (graphique 4)

de carcasse élevé en 23 semaines (graphique 2). Néanmoins, pour un éleveur intégré qui n'achète ni le veau de 8 jours, ni l'aliment, le coût de l'énergie représente le premier poste de dépense après l'amortissement du bâtiment soit près de 15 % de ses charges d'exploitation (graphique 3).

Graphique 3 : part de l'énergie au niveau des charges d'exploitation d'un éleveur intégré (source Institut de l'Élevage 2009)



Graphique 4 : répartition des différents postes de consommation d'énergie directe pour produire un veau de boucherie (source : ADEME étude URE 2007)

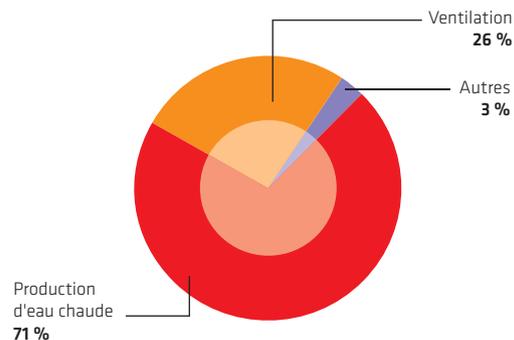


Photo 3 : la consommation moyenne d'énergie directe s'élève à 152 kWh/veau produit

Production d'eau chaude : premier poste de consommation d'énergie

La production d'eau chaude représente 71 % de la consommation globale. En France, on estime que 80 % des élevages de veau de boucherie utilisent le gaz propane pour chauffer l'eau. D'après les relevés effectués dans les élevages du réseau, la nature de l'énergie (gaz propane, électricité ou fioul) ne semble pas être un critère déterminant de la consommation énergétique par veau produit (tableau 1). Le coût moyen, proche de 6 € par veau en 2006, cache une très forte disparité entre élevages qui dépend surtout des conditions de tarifications des énergies et de la performance des matériels utilisés.

Tableau 1: consommations liées à la production d'eau chaude selon la source d'énergie utilisée (source : ADEME étude URE 2007)

	Fioul	Gaz	Électricité
KWh/veau	110	113	102
Minimum	94	91	93
Maximum	125	147	112

Fonctionnement du bâtiment: la ventilation dynamique représente près de 90 % de la consommation électrique (hors chauffe-eau)

Le fonctionnement du bâtiment regroupe l'éclairage, le matériel de préparation et de distribution du lait, le lavage et la ventilation. Tous ces postes fonctionnent à l'électricité. D'après les relevés effectués dans les élevages du réseau, ils représentent une consommation moyenne de 44 kWh/veau. La ventilation dynamique, système le plus répandu dans les bâtiments de veau de boucherie, compte pour près de 90 % de la consommation électrique totale (tableau 2).

Préchauffage des salles lors du démarrage des veaux: une consommation d'énergie très modeste

Le préchauffage des salles est une pratique nécessaire et fortement recommandée pour améliorer les conditions sanitaires lors d'un démarrage des veaux en période froide. Dans la plupart des cas, l'emploi d'un canon à air chaud fonctionnant au fioul permet,



Photo 4: le chauffe-eau est le principal poste de consommation d'énergie estimée à 108 kWh/veau soit 71 % de la consommation totale en bâtiment



Photo 5: le fonctionnement des ventilateurs représente près de 90 % des consommations électriques du bâtiment (hors chauffe-eau), soit 39 kWh/veau

Tableau 2: consommations électriques liées au fonctionnement du bâtiment (source : ADEME étude URE 2007)

	Total fonctionnement	Dont ventilation
KWh/veau	44	39
Minimum	23	
Maximum	70	

à moindre coût (soit 0,20 € par veau pour une durée d'utilisation moyenne de 8 jours par an et une consommation de 0,4 litre de fuel par veau), de préchauffer les salles et d'assurer le confort thermique des veaux au démarrage. Utilisé ponctuellement, cet appareil peut faire l'objet d'un achat groupé entre plusieurs éleveurs.

Tableau 3 : consommations de fioul pour le pré-chauffage des salles relevées dans 6 élevages
(source : réseau veau de boucherie 2006)

	Jours chauffés /an	Litres fuel/ veau	Équiv kWh/ veau
Moyenne	8	0,4	3,5
Minimum	3	0,1	1,0
Maximum	10	0,6	6,0



Photo 6 : pour un coût d'achat de l'ordre de 1200 €^{HT}, le canon à air chaud permet d'améliorer les conditions de démarrage des veaux en hiver avec une consommation d'énergie limitée (3,5 kWh/veau)

3

BESOINS THÉORIQUES EN EAU CHAUDE

> Modalité de reconstitution des buvées

Dans la plupart des élevages de veaux de boucherie, le lait est préparé en mélangeant l'eau chaude à la poudre dans un bac mélangeur (cuve émaillée ou inox) d'une capacité de l'ordre de 250 à 400 litres. La température de préparation est primordiale. Elle doit être comprise entre 65 et 70 °C (selon préconisations du fabricant) pour permettre une bonne émulsion des graisses contenues dans l'aliment d'allaitement.

Après un brassage de 5 à 10 minutes, le mélange est complété par des volumes d'eau froide et d'eau chaude ajustés à la quantité finale souhaitée et en vue d'obtenir une température de 48 °C.

La distribution au seau est la plus fréquente. Elle se pratique manuellement par l'intermédiaire d'une pompe et d'une canalisation raccordée à une canne de distribution. L'ensemble est lavé (détergent + eau chaude) après chaque buvée, soit deux par jour à heures régulières.

La distribution peut également être automatisée dans le cadre de l'utilisation d'un DAL (Distributeur Automatique de Lait). Avec le DAL, le lait reconstitué est préparé par un automate qui mélange une quantité définie de poudre avec une quantité définie d'eau chaude. La distribution automatique s'effectue en 3 ou 4 buvées journalières. Les quantités distribuées, programmées individuellement grâce à une puce électronique présente sur chaque veau, sont généralement plus importantes que pour l'alimentation au seau du fait d'un nombre de repas supérieur. Une minorité d'éleveurs de veaux de boucherie (estimée à moins de 10 %) utilisent ce système d'alimentation qui par conséquent ne sera pas traité spécifiquement dans ce document.



Photo 7: la température de préparation du lait doit être comprise entre 65 et 70°C selon la préconisation du fabricant de l'aliment d'allaitement.

Tableau 4 : recommandations de qualités bactériologique et chimique de l'eau de buvée des veaux de boucherie

Paramètres bactériologiques		Paramètres chimiques	
Coliformes totaux	Absence/100 ml	pH	6,5 - 8,0
Coliformes fécaux	Absence/100 ml	Dureté (°F)	10 - 30
Streptocoques	Absence/100 ml	Calcium	< 20 mg/l
Staphylocoques	Absence/100 ml	Nitrates	< 50 mg/l
Salmonelles	Absence	Nitrites	Absence
Clostridium	< 1 spore/20 ml	Fer	< 0,1 mg/l

> Qualité

Durant sa période d'élevage, un veau va donc consommer près de six fois plus d'eau que d'aliment d'allaitement. Sa qualité doit donc être irréprochable. La composition chimique et bactériologique peut varier selon son origine (réseau, puits, forage), par conséquent il est nécessaire d'effectuer des contrôles au moins une fois par an (recommandations précisées dans le tableau 4)

> Quantité

Les volumes d'eau nécessaires pour la reconstitution des buvées peuvent varier en fonction de nombreux facteurs dont les principaux sont le profil du plan de rationnement (concentration et litrage) et la durée d'engraissement. À titre d'exemple, un veau Prim'holstein élevé en 23 semaines nécessite 1830 litres d'eau pour une consommation d'aliment d'allaitement de 330 kg. En fin d'engraissement, la quantité de buvée par repas atteint 8,5 kg soit 7 litres d'eau et 1,5 kg d'aliment.

> Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques de base sont les mêmes quels que soient les systèmes de production d'eau chaude envisagés. Ils représentent la quantité d'énergie nécessaire à la préparation de l'eau chaude avec un rendement de 100 %.

Pour la comparaison des différents systèmes de production d'eau chaude, nous prendrons les hypothèses suivantes :

- Température moyenne de l'eau froide : 11 °C
- Température de distribution de l'aliment : 48 °C
- Durée d'engraissement : 23 semaines (160 jours)
- Plan d'alimentation : 1830 litres d'eau
- Consommation de nettoyage : 10 % des besoins
- Pertes préparation (hors rendement du système de production d'eau chaude) : 5 % des besoins
- 2 bandes de veaux/an
- Réchauffage de la poudre 330 kg : 8 % des besoins
- Capacité thermique massique de l'eau : 1,163 kWh/tonne.°C

Soit :

Besoins théoriques par veau produit

$$1,83 \text{ m}^3 \times (48 \text{ °C} - 11 \text{ °C}) \times 1,163 \times 1,10 \times 1,05 \times 1,08 = \mathbf{98 \text{ kWh/veau}}$$

Besoins théoriques annuels pour un élevage de 200 places

$$98 \text{ kWh} \times 200 \text{ places} \times 2 \text{ bandes} = \mathbf{39\,200 \text{ kWh}}$$

Ces besoins théoriques sont susceptibles de varier largement en fonction des différents plans d'alimentation et durées d'engraissement pratiqués.

> Dimensionnement des installations de stockage et de chauffage de l'eau chaude

Les systèmes de production d'eau chaude sur les élevages de veaux sont constitués :

- d'un ou plusieurs générateurs d'eau chaude (chauffe-eau électrique ou gaz, chaudière fioul, gaz, bois, capteur solaire, etc.)
- d'un stockage de l'eau chaude (ballon, cuve, tank à lait reconverti, etc.).

Le dimensionnement des installations (puissance du générateur, volume de stockage) est étroitement dépendant du système de production d'eau chaude choisi (instantané, semi-instantané, à accumulation).

Dans tous les cas, le dimensionnement des installations devra être calculé pour répondre aux besoins des veaux dans les conditions extrêmes qui peuvent être rencontrées sur l'élevage :

- température de l'eau froide en hiver,
- besoins en eau chaude des veaux en fin d'engraissement
- totalité des veaux présents.

Les avantages et inconvénients de ces différents systèmes de production d'eau chaude sont présentés dans le tableau 5.

Les différents systèmes de production d'eau chaude

Production instantanée : L'eau chaude est produite au moment des besoins, il n'existe aucune réserve d'eau. La puissance du système de production d'eau chaude est suffisante pour absorber les pointes de puisage.

Production semi-instantanée : Une capacité tampon permet d'absorber les pointes de puisage. Ce système permet de réduire la puissance de la chaudière (ou du chauffe-eau) et de l'échangeur tout en conservant un débit de puisage élevé. (Exemple type : chaudière fioul ou gaz à réservoir d'eau chaude incorporé).

Production à accumulation : La capacité de stockage d'eau chaude est suffisante pour couvrir la totalité des besoins d'une buvée. La préparation d'eau chaude est réalisée entre les buvées.

Le stockage sera dimensionné pour 2 buvées en cas de ballons électriques, une buvée pour les autres sources d'énergie.

Tableau 5 : avantages et inconvénients des systèmes de productions d'eau chaude

Systèmes de production d'eau chaude (énergies utilisables)	Avantages	Inconvénients
INSTANTANÉ (Gaz - Fioul)	<ul style="list-style-type: none"> - L'eau chaude ne stagne pas - Corrosion faible - Quantité d'eau chaude illimitée 	<ul style="list-style-type: none"> - Débit limité par la puissance du générateur - Risque de formation de tartre dans l'échangeur - Variabilité de la température de l'eau chaude
ACCUMULATION (Électricité, gaz, fioul, bois, paille, solaire)	<ul style="list-style-type: none"> - Débit élevé d'eau chaude - Température constante et réglable - Faible puissance du générateur 	<ul style="list-style-type: none"> - Risques de corrosion - Quantité d'eau limitée par le volume de stockage - Installation encombrante - Pertes de stockage

> Réservoirs de stockage

Les réservoirs de stockage de l'eau chaude sont dimensionnés pour le stockage de l'eau chaude nécessaire à la préparation d'une ou deux buvées (deux buvées dans le cas de chauffage électrique pour bénéficier de la tarification heures creuses d'EdF).

Le volume du stockage dépend des paramètres suivants (propres à chaque élevage) :

- volume d'aliment par buvée en fin d'engraissement
- température de stockage : 75 °C
- température de l'eau froide : 6 °C en hiver
- température de distribution de l'aliment reconstitué : 45 °C à 48 °C
- pertes de chaleur de l'installation de préparation et de distribution : 5 %
- réchauffage de la poudre de lait et température de stockage : 8 %
- facteur de mélange : rapport du volume réellement utile sur le volume total de stockage : 0,9
- consommations de nettoyage : 10 % des besoins

Le volume de stockage est déterminé par la formule suivante :

$$VS = \frac{VBuv}{Fm} \times \frac{(Tbuv^{\circ}C - Tfr^{\circ}C)}{(Tsto^{\circ}C - Tfr^{\circ}C)} \times (Pd) \times (Cp) \times En$$

Dans laquelle :

- VS : Volume de stockage
- VBuv : Volume de la buvée
- Tbuv°C : Température de distribution
- Tfr°C : Température minimale de l'eau froide
- Tsto°C : Température de stockage
- Pd : Pertes pendant la préparation et la distribution
- Cp : Chauffage poudre
- En : Eau de nettoyage
- Fm : Facteur de mélange

Exemple

- Atelier de 200 veaux
- 7 litres par buvée à 48 °C
- Température de stockage 75 °C

$$VS = \frac{1400}{0,9} \times \frac{(48 - 6)}{(75 - 6)} \times 1,05 \times 1,08 \times 1,10 = 1181 \text{ litres}$$

Le volume de stockage de l'eau chaude à 75 °C est de 1200 litres par buvée. À ce niveau de température les risques d'entartrage et de corrosion tant au niveau du stockage de chaleur ou d'un générateur avec ballon intégré sont très importants. Les installations doivent être conçues pour prendre en compte ces risques.

On prévoira donc, sur cette installation, deux ballons électriques de 1500 litres branchés en série pour améliorer le facteur de mélange ou un ballon à réchauffeur de 1500 litres de capacité associé à une chaudière ou enfin un réservoir atmosphérique de 1200 litres avec brûleur intégré.

Il s'agit là, bien sûr, de valeurs maximales de capacité de stockage car en général, l'eau froide est à des températures supérieures à 6 °C.

Les réservoirs ouverts à la pression atmosphérique sont de simples cuves de stockage isolées ou non dans lesquelles il est prévu un orifice de remplissage et un orifice de vidange.

Ils sont en général, en inox, car très fortement sujets aux corrosions (il faut être attentif à la qualité de l'inox utilisé lorsque les températures de stockage dépassent 60 °C).

Ils peuvent être équipés d'un brûleur immergé ou d'un échangeur pour assurer le chauffage de l'eau.

Le principal inconvénient de ces réservoirs ouverts est qu'ils nécessitent d'être placés à une hauteur suffisante par rapport au point d'utilisation dans le cas d'un écoulement par gravité, ou d'être équipés d'une pompe de reprise ayant les mêmes qualités inoxydables que la cuve.



Photo 8 : réservoir ouvert à la pression atmosphérique

Les réservoirs ou ballons sous pression sont des cuves isolées, prévues pour supporter la pression du réseau de distribution d'eau.

Pour éviter le danger d'explosion, ces ballons sont équipés de groupes de sécurité, appareils qui regroupent le robinet d'arrêt, la soupape d'expansion, le clapet anti-retour et le robinet de vidange.

Les ballons sont équipés d'un orifice de remplissage et d'un orifice de puisage et en général de thermostats électriques ou d'échangeurs tubulaires pour assurer le chauffage de l'eau.

Ils sont souvent en acier, à haute résistance mécanique, revêtu d'une protection anti-corrosion (émail, métallisation, ciment plastique).

Ils peuvent être également en inox. Les garanties des constructeurs sont en général assujetties à certaines normes de qualité de l'eau (dureté, pH...).

La conception des raccords d'eau chaude et d'eau froide influe sur le volume utile du ballon (facteur de mélange).



Photo 9 : ballon sous pression

> Générateurs d'eau chaude

Le générateur est l'appareil producteur de chaleur destiné à monter la température de stockage.

La puissance de celui-ci dépend :

- du volume de stockage
- de la température de stockage et de la température de l'eau froide
- de son propre rendement
- de la durée de la chauffe

Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P = \frac{Vs (T_{sto}^{\circ}C - T_{fr}^{\circ}C) \times 1,163}{\text{Rend. générat.} \times \text{durée chauff.}}$$

P : Puissance nominale du générateur en kW

Vs : Volume de stockage en m³

T_{sto}°C : Température de stockage

T_{fr}°C : Température minimale de l'eau froide

1,163 : Capacité thermique massique de l'eau en kWh/tonne.°C

Durée chauff. : Durée de chauffe en heure

EXEMPLE 1 : chaudière et ballon

- volume de stockage de 1200 litres soit 1,2 tonne
- température de stockage 75 °C
- température eau froide 6 °C (hiver)
- durée de chauffe 4 heures
- rendement du générateur 80 %

$$P = \frac{1,2 (75 - 6) \times 1,163}{0,80 \times 4} = 30,1 \text{ kW}$$

Soit pour un élevage de 200 places, une chaudière fioul ou gaz de 35 kW en pratique est donc recommandée.

Si la durée de chauffe est portée à 6 heures la puissance nécessaire n'est plus due de 20,1 kW.

EXEMPLE 2 : ballons électriques

- ballons électriques de 1500 litres
- température de stockage 75 °C
- température eau froide 6 °C
- durée de chauffe 7 heures 30 (pour bénéficier de la tarification heures creuses d'EdF)
- rendement du générateur 100 %

$$P = \frac{1,5 (75 - 6) \times 1,163}{1 \times 7,5} = 16 \text{ kW} \quad (\text{en pratique } 18 \text{ kW})$$

Soit pour un élevage de 200 places, 2 ballons de 1500 litres et une puissance totale installée de 2 x 18 kW, soit 36 kW sont recommandés.

4

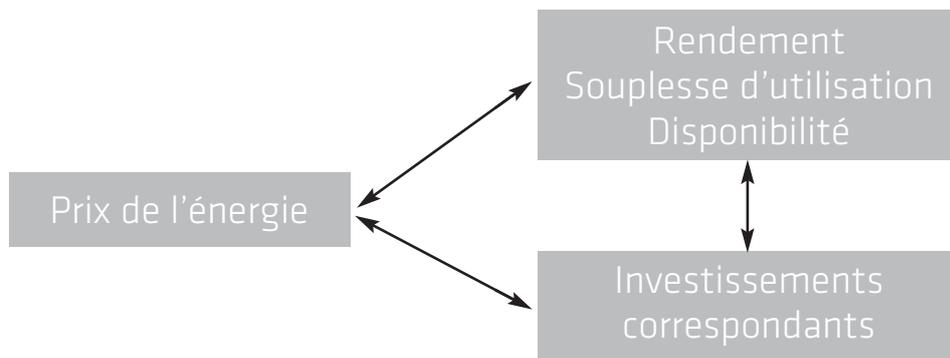
ENVIRONNEMENT ÉNERGETIQUE DES ÉLEVAGES DE VEAUX

> Critères de choix de l'énergie

Si traditionnellement les énergies utilisées pour la préparation de l'eau chaude en élevage de veaux sont avant tout l'électricité et le gaz propane, le fioul étant peu à peu abandonné, d'autres énergies sont envisageables en fonction :

- du site (toutes les énergies ne sont pas disponibles en tout lieu du territoire) ;
- de la taille de l'élevage (certains contrats ou abonnements énergétiques sont liés aux quantités d'énergie livrées ou à la puissance souscrite...);
- des équipements existants à conserver, rénover ou supprimer définitivement ;
- de la capacité financière du producteur à investir dans le système de production d'eau chaude.

Pour raisonner un choix énergétique, la démarche logique est tout d'abord de comparer le prix des énergies entre elles (quelle énergie pour un moindre coût de fonctionnement) puis d'étudier le montant des investissements correspondants pour utiliser au mieux cette énergie. D'autres critères tels que la garantie d'approvisionnement en énergie (qualité et prix), la souplesse d'utilisation de cette énergie (avantages – inconvénients), les possibilités d'extension de l'élevage doivent également être pris en compte.



> Équivalences énergétiques

Les différentes énergies étant facturées selon leurs modes de distribution et de commercialisation (kWh, litre, m³...), il s'agit de calculer les équivalences énergétiques correspondantes pour pouvoir comparer le prix des énergies entre elles. Le PCI (Pouvoir

Calorique Inférieur) indique le contenu énergétique de chaque combustible (entrée chaudière ou système de production d'eau chaude et hors rendement de combustion ou de distribution).

Le PCI est parfois indiqué en kcal: (1 kcal = 1,163. 10⁻³ kWh).

Tableau 6 : équivalences énergétiques

	Unité de facturation	Équivalence énergétique PCI
ÉLECTRICITÉ	kWh	1 kWh
FIOUL	Litre	Environ 10 kWh PCI*
GAZ PROPANE	kg	Environ 12,8 kWh PCI*
BOIS (Plaquettes Humidité 35 %)	Tonne	Environ 3 000 kWh(**)
	m ³	1 000 kWh
BOIS (Pellets ou granulés)	Tonne	4 900 kWh

(*) PCI: Pouvoir Calorique Inférieur

(**) Le PCI du bois varie en fonction de :

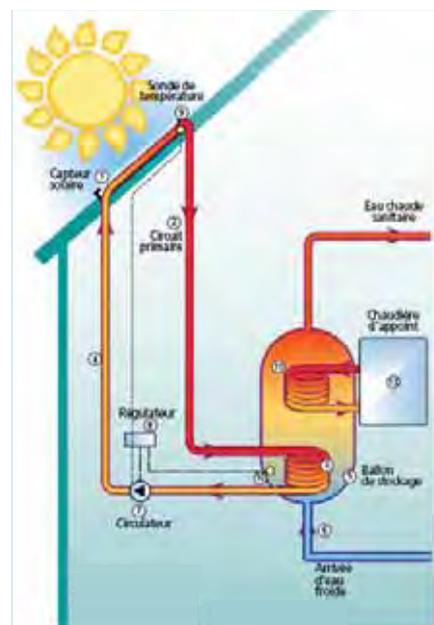
- son humidité (4 000 kWh/t pour du bois sec, 2 000 kWh/t pour du bois fraîchement coupé).
- son essence (4 000 kWh/t pour des feuillus secs, 4 300 kWh/t pour des résineux secs).

> Énergies alternatives

Le solaire thermique

Les installations solaires thermiques sont particulièrement bien adaptées techniquement à la production d'eau chaude sanitaire surtout si celle-ci s'avère constante au cours de l'année comme c'est le cas pour les élevages de veaux de boucherie.

Figure 1: principe de fonctionnement du chauffe-eau solaire (source ADEME)



Le chauffe-eau solaire est composé de deux éléments principaux (figure 1) :

- Des capteurs thermiques généralement positionnés en toiture,
- Un ballon de stockage de l'eau.

De l'eau glycolée est chauffée par le capteur solaire qui transfère la chaleur à l'eau sanitaire stockée dans le ballon. L'apport solaire ne couvre pas la totalité des besoins. Par conséquent, une autre source d'énergie d'appoint est indispensable pour assurer le complément. Les surfaces de capteurs à mettre en place et l'autonomie solaire diffèrent selon la zone géographique (Carte 2).

À noter qu'il existe des capteurs solaires sous vide particulièrement adaptés aux faibles ensoleillements et à une production d'eau chaude à température élevée. D'un coût plus élevé, leur rentabilité économique est du même ordre que les capteurs plans.

Les fausses idées reçues :

Il n'y a pas assez de soleil en Bretagne : faux. L'énergie reçue sur un plan incliné orienté au sud est en moyenne de 3,7 kWh/m².jour soit 18 % de moins qu'à Biarritz ou 30 % de moins qu'à Marseille.

Les installations solaires ne sont pas fiables : faux. De grands progrès ont été faits qui permettent d'assurer une durée de vie moyenne de 20 ans pour peu que l'on sélectionne des capteurs bénéficiant du label Solarkeymark ou d'un avis technique du CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment).

Les arguments en faveur du solaire :

- Pas d'émission de gaz à effet de serre
- Indépendance accrue par rapport à l'augmentation des énergies
- Avantages fiscaux et subventions selon les régions.

La Biomasse

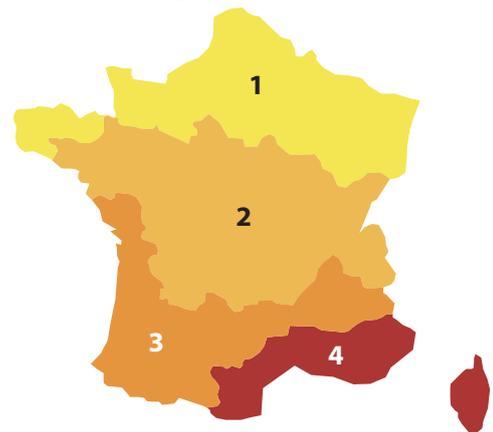
Combustible le plus ancien utilisé par l'homme, le bois énergie connaît un regain d'intérêt en raison de ses nombreux atouts :

- énergie renouvelable, abondante
- énergie propre
- neutre à l'égard de l'effet de serre

Le bois énergie se présente sous différentes formes :

- bois en bûches
- bois en granulés (aggloméré de déchets de l'industrie) ou pellets

Carte 2 : surface de panneaux solaire et autonomie selon la région (source ADEME)



	Surfaces de panneaux solaires recommandées pour un atelier de 200 places (ballon de 2 500 l)	Autonomie solaire
Zone 1	45 m ²	40 à 50 %
Zone 2	40 m ²	45 à 55 %
Zone 3	35 m ²	50 à 65 %
Zone 4	30 m ²	55 à 80 %

Les erreurs à éviter :

- Surdimensionner l'installation : une installation surdimensionnée n'est pas utilisée à 100 % en été, c'est de l'investissement qui dort.
- Sous-dimensionner le stockage solaire : il doit correspondre à la consommation journalière (2500 litres pour un atelier de 200 veaux), les capteurs solaires assurent un préchauffage pendant la journée. L'eau préchauffée est ensuite montée à la température finale par l'énergie d'appoint.
- Faire des économies sur la qualité de l'installation : une installation solaire doit satisfaire des exigences de sécurité (soupapes, expansion), de fiabilité (supports en toiture, corrosion), et de performances (choix des capteurs, calorifuges).

- bois en plaquettes (sous produits forestier ou de scierie)
- bois broyé (bois de rebut)

Les systèmes de stockage, convoyage et les générateurs sont adaptés à chacune des formes de combustible.

Le pouvoir calorifique de ces différentes formes de bois énergie est quasiment constant à humidité égale (tableau 7).

Tableau 7 : pouvoir calorifique en fonction du taux d'humidité du bois brut

% Humidité sur brut	PCI en kWh/t
10 %	4 400 kWh
20 %	3 900 kWh
30 %	3 300 kWh
40 %	2 800 kWh

En pratique, le bois en plaquette ou en pellet est seul adapté à la production d'eau chaude dans les élevages de veaux pour laquelle les volumes de combustible et les puissances de chaudière sont faibles.

Les arguments en faveur du bois énergie :

- neutre par rapport à l'effet de serre: le carbone rejeté lors de la combustion a été piégé par la photosynthèse lors de la croissance des arbres.
- énergie peu coûteuse (plaquette trois fois moins chère que le fioul)
- avantages fiscaux et subventions éventuelles.

Pour réussir un projet de bois énergie :

- vérifier la disponibilité de l'approvisionnement auprès du ou des fournisseurs



Photo 10 : le bois en plaquette est la forme plus fréquemment utilisée pour la production d'eau chaude

- bien concevoir le génie civil: accès des livraisons, taille du silo de stockage, accès à l'extracteur du silo.
- adapter la puissance aux besoins (voir chapitre 3).
- prévoir une énergie de secours (résistance électrique dans le ballon).

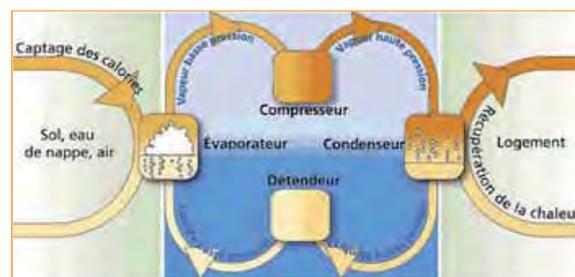
La géothermie et l'aérothermie

La géothermie et l'aérothermie sont deux procédés qui utilisent le principe de la pompe à chaleur (PAC) connu depuis de nombreuses années. La chaleur est absorbée en milieu extérieur (le sol pour la géothermie ou l'air extérieur pour l'aérothermie), par l'évaporateur dans lequel un fluide frigorigène se vaporise à basse température. Les vapeurs sont aspirées et comprimées par un compresseur puis refoulées par un moteur électrique vers un condenseur d'où elles cèdent leur chaleur en repassant à l'état liquide. Le travail de compression est généralement trois à quatre fois inférieur à la chaleur évacuée au condenseur, ce rapport est appelé coefficient de performance.

L'évolution de la réglementation sur les fluides frigorigènes (interdiction des CFC et HCFC) a fait disparaître les pompes à chaleur fonctionnant à R212 et R22. Il n'existe de ce fait plus de PAC capable de produire de l'eau chaude au-delà de 60°C. La géothermie ou pompe à chaleur eau-eau sur forage est donc peu

adaptée à la production d'eau chaude dans les élevages de veaux. De même, l'aérothermie nécessite un appoint pour obtenir une température de 75°C, appoint qui peut être réalisé par résistances électriques en heures creuses, par réservoir à chauffage direct ou par chaudière d'appoint (fioul ou gaz).

Figure 2 : principe de fonctionnement de la pompe à chaleur (source ADEME)



> Coût comparatif des énergies

Le coût de l'unité énergétique (le kWh) sur l'élevage de veaux étant dépendant des quantités livrées, des puissances souscrites, le calcul de prix réel de kWh utilisé est ici effectué pour un élevage d'environ 200 places et une consommation annuelle de 40 000 kWh.

Ces prix sont susceptibles de varier localement en fonction des réductions proposées par certains fournisseurs d'énergie (commande groupée) ou des taxes locales.

Tableau 8 : coûts comparatifs des énergies constatés en mars 2009

Nature de l'énergie	Tarif Énergie	Prix de revient du kWh livré *	Remarques
ÉLECTRICITÉ	Tarif bleu, puissance souscrite 30 kVA, double tarif (heures creuses et pleines) 100 % de la consommation en heures creuses	0,070 € ^{HT}	- abonnement : 50 % de 30 kVA compris - taxes locales comprises - heures creuses : 8 heures par jour (horaires dépendant des régions)
	Tarif jaune, puissance souscrite 36 kVA, utilisations moyennes 100 % de la consommation en heures creuses	0,064 € ^{HT}	- abonnement : 70 % de 36 kVA compris - taxes locales comprises - prix différencié du kWh heures creuses - en hiver (5 mois) - et en été (7 mois)
GAZ PROPANE	Prix du gaz : 0,65 € ^{HT} /kg citerne de 1000 kg (en location)	0,056 € ^{HT}	Location de la cuve de 1000 kg (environ 200 €/an) comprise dans le prix de revient du kWh gaz.
FIOUL	Prix du fioul : 0,55 € ^{HT} /l livraison pour 1000 l	0,055 € ^{HT}	Tendance à la hausse du prix des hydrocarbures
BOIS plaquettes 35 % humidité	60 € ^{HT} /tonne	0,020 € ^{HT}	Prix variable en fonction des régions et des quantités
BOIS Granulés	220 € ^{HT} /tonne	0,045 € ^{HT}	

* Taxes locales comprises, abonnements compris, location de cuve comprise, (hors TVA)

> Choix de l'énergie

Le prix de revient du kWh livré sur les élevages de veaux est bien sûr un critère important. C'est ce prix initial qui permettra de déterminer finalement quel est le coût énergétique résultant par veau produit.

D'autres critères tels que la souplesse d'utilisation de cette énergie, le rendement des installations, les investissements correspondants sont également à prendre en compte. Ces autres critères sont traités successivement dans ce document.

Les prix (indicatifs) des énergies sont ceux de l'année 2009 (Mars 2009). Ces prix sont susceptibles d'évoluer sans que l'on puisse avec certitude, préciser dans quelles proportions.

Le prix des produits pétroliers (fioul et gaz propane) dépend de la valeur du dollar et du prix du pétrole importé, comme on a pu le constater en 2008. Le prix de l'électricité devrait évoluer avec l'ouverture des marchés à la concurrence. Le prix des combustibles biomasse (bois, paille) peut évoluer vers le haut si le marché se tend.

Enfin, l'énergie solaire est une énergie particulièrement adaptée pour la production d'eau chaude. Elle est de plus « gratuite » si l'on ne considère que le coût de fonctionnement.

5

REPÈRES TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES SUR LES SYSTÈMES DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE

Présentations basées pour un élevage de 200 places

> Chaudière gaz ou fioul et ballon d'accumulation

La production d'eau chaude est assurée par une chaudière au sol associée à un préparateur d'eau chaude de 1500 litres par l'intermédiaire d'un échangeur. L'échangeur est soit intégré au ballon tampon en inox soit extérieur (échangeur à plaques). Dans les deux cas une surveillance et un détartrage régulier doivent être assurés.

Le rendement de production est de 90 %. Le rendement de stockage est de 97,5 %.

Les coûts d'investissement indicatifs des matériels sont les suivants :

- Ballon 1500 l à réchauffeur inox : 5 500 €^{HT}
- Ballon 1500 l plus échangeur à plaques : 6 200 €^{HT}
- Chaudière 45 kW gaz : 4 200 €^{HT}
- Chaudière 45 kW fioul : 3 500 €^{HT}
- Cuve fioul 2 000 l : 2 200 €^{HT}

La durée de vie moyenne des matériels est de 15 ans.

L'installation comprend la chaudière, l'échangeur à plaques, le réservoir de stockage, les raccordements gaz, électriques et le conduit de fumée.

Coût total d'investissement : 12 000 à 14 000 €^{HT}

Compte tenu des pertes dues au stockage et au chauffage de l'eau, les consommations énergétiques théoriques sont de : $39\,200 \text{ kWh} / 0,90 / 0,975 = 44\,672 \text{ kWh}$ soit 3 470 kg de gaz ou 4 470 litres de fioul.

En ce qui concerne la cuve de stockage de propane de 1000 kg, les solutions location ou consigne existent.

Coût eau chaude par veau produit :

- Gaz propane : 6,23 €^{HT} (location de cuve comprise)
- Fioul : 6,14 €^{HT}



Photo 11: chaudière au sol couplée à un ballon tampon (échangeur)

La solution chaudière gaz condensation peut permettre d'économiser 10 % de gaz mais avec un surcoût d'investissement d'environ 1000 €.

NB: Le stockage de l'eau chaude peut être réalisé dans un réservoir inox à l'air libre (tank à lait récupéré). Les pertes dues au stockage peuvent dans ce cas s'élever rapidement suivant la qualité de l'isolation. Par exemple, les pertes d'un tank à lait de 2000 litres avec un couvercle non isolé sont de 6 % soit 9 kWh par jour.

Attention :

- Les chaudières à brûleur atmosphérique sont sensibles à l'encrassement
- Le local où se trouve la chaudière doit comporter une ventilation haute et une ventilation basse
- La ventilation de l'atelier d'engraissement ne doit pas mettre le local chaudière en dépression
- Le conduit de fumée doit dépasser du faîtage.

> Réservoir de stockage à chauffage direct au gaz ou au fioul

La production d'eau chaude est assurée directement dans un réservoir en inox de 1250 litres, à pression atmosphérique, équipé d'un brûleur au gaz ou au fioul.

La capacité du réservoir permet de stocker l'eau chaude nécessaire à une buvée (bac chauffe-eau de type VINCENT ou LE PERCY)

La puissance du générateur assure le chauffage de l'eau en 2 heures (soit 65 kW). Le rendement de production est de 85 % environ. Le rendement de stockage est très dépendant de l'isolation du réservoir qui peut être nulle.

L'installation comprend le bac chauffe-eau de 1250 litres (largement suffisant pour 200 places), le conduit de fumée, les raccordements et la cuve de fioul éventuelle.

Coût total d'investissement : 10 000 à 12 000 €^{HT}

Compte tenu des pertes dues au stockage et au chauffage de l'eau, les consommations sont de $39\,200 \text{ kWh} / 0,85 / 0,985 = 46\,820 \text{ kWh}$ soit 4680 litres de fioul environ.

Coût eau chaude par veau produit :

Gaz propane : 6,53 €^{HT} (location de cuve comprise)

Fioul : 6,44 €^{HT}

NB : Les pertes d'un ballon non isolé atteignent 13 % de la consommation.



Photo 12 : chaudière de type Le PERCY couplée à un réservoir de stockage en inox à pression atmosphérique.

> Générateur d'eau chaude à gaz sous pression



Photo 13 : générateur à gaz sous pression de marque CHAROT

La production d'eau chaude est assurée dans un réservoir en inox de 1200 litres sous pression (pression de réseau) équipé d'un brûleur à gaz de 69 kW. Une horloge assure la mise en température 2 heures avant la buvée. Une optimisation de circuit de fumées permet d'atteindre un rendement de production de 98,5 % et un rendement de stockage de 99 %.

L'installation comprend un générateur à gaz de 1200 litres, les raccordements gaz, électrique, hydraulique et le conduit de fumée.

Coût total d'investissement : 12 000 à 14 000 €^{HT}

Compte tenu des pertes dues au chauffage et au stockage de l'eau les consommations sont de $39\,200 \text{ kWh} / 0,985 / 0,99 = 40\,200 \text{ kWh}$.

Coût eau chaude par veau produit : 5,61 €^{HT} (gaz propane)

Ce système présente l'avantage de rendements élevés et solutionne les problèmes d'installation en hauteur des réservoirs atmosphériques.

> Ballons électriques à accumulation

La production d'eau chaude est assurée par 2 ballons électriques en inox à accumulation de 1500 litres chacun, installés en série (il est toujours préférable de disposer de deux ballons en cas de défaillance de l'un d'eux).

La puissance électrique de chaque chauffe-eau est de 18 kW. Ils fonctionnent uniquement en heures creuses (8 heures la nuit). La température de stockage est de 75°C. Le rendement de production est de 100 %. Le rendement de stockage est de 95 % (5 % de pertes dues au stockage sur la journée pour bénéficier du tarif heures creuses).

L'installation comprend deux ballons de 1500 litres, leurs raccordements électrique et hydraulique.

Coût total d'investissement : 12 000 à 14 000 €^{HT}

Compte tenu des pertes dues au stockage, les consommations sont de $39\,200/0,95 = 41\,263$ kWh.

Les simulations économiques (tableau 9) sont effectuées pour deux tarifications EDF, bien qu'en théorie seul le tarif jaune soit utilisable, la seule puissance des deux ballons égale le seuil maxi du tarif bleu.

Le tarif jaune est accordé pour des puissances supérieures à 36 KVA et concerne *a priori* les élevages d'au moins 200 places en prenant en compte les autres besoins de puissance pour la ventilation et les autres moteurs... Le coût du kWh en heures pleines hiver (fonctionnement des ventilateurs par exemple) est néanmoins très onéreux (0,122 €^{HT}/kWh).



Photo 14 : la capacité des chauffe-eau électriques à accumulation doit être parfaitement dimensionnée pour éviter de fonctionner en heures pleines.

D'autre part, pour bénéficier du tarif jaune, il faut également prendre en compte dans les investissements, les prix du ticket d'accès subventionnable sur certaines communes par le Syndicat d'électrification rurale.

Tableau 9 : coût eau chaude par veau produit selon tarifications EDF (tarif bleu et tarif jaune).

	Tarif Bleu (36 kVA) heures creuses	Tarif Jaune (40 kVA) heures creuses
Prix de revient du kWh (taxes locales et abonnement compris)	0,070 € ^{HT}	0,064 € ^{HT}
Coût énergétique annuel HT	2 888 € ^{HT}	2 640 € ^{HT}
Coût eau chaude par veau produit (400 veaux/an) (HT)	7,22 € ^{HT}	6,60 € ^{HT}

> Chaudière bois et ballon d'accumulation

Le marché de la chaudière bois s'est fortement développé ces dernières années et l'offre de chaudière automatique à alimentation par vis est très diversifiée. Ces chaudières consomment en général soit de la plaquette de bois sèche (35 % d'humidité) soit des pellets (sciure agglomérée).



Photo 15 : la plupart des chaudières bois dispose d'une alimentation automatique par vis.

Le génie civil représente une part non négligeable de l'investissement.

Le rendement de production est de 85 %. Le rendement de stockage est de 97,5 %.

L'installation comprend une chaudière de 40 kW, un silo de 30 m³, l'alimentation automatique, un ballon d'accumulation de 1500 litres, les raccordements électriques et hydrauliques et le conduit de fumée.

Coût total d'investissement* : 35 000 à 40 000 €^{HT}

* avant subventions éventuelles accordées par l'ADEME et certaines régions.

La consommation réelle de bois s'établit comme suit : $39\,200 / 0,85 / 0,975 = 47\,300$ kWh.

Soit 13,5 tonnes de plaquettes par an ou 9,1 tonnes de granulés.

Coût eau chaude par veau produit :

Plaquettes de bois : 2,37 €^{HT}

Granulés : 5,31 €^{HT}

NB : pour un élevage de 400 places, la puissance de la chaudière est portée à 70 kW et l'investissement de 40 000 à 45 000 €^{HT}

> Capteurs solaires et chaudière d'appoint

Les capteurs solaires permettent d'assurer un préchauffage de l'eau chaude dans un ballon solaire. Un système de production d'eau chaude d'appoint doit assurer le complément de chauffage jusqu'à 75°C. Le rendement des capteurs solaires est très variable selon leurs caractéristiques. Le chauffage d'appoint doit être souple d'utilisation pour compléter le chauffage de l'eau chaude dès lors que les capteurs

solaires ne fonctionnent plus. Le gaz propane ou le fioul sont des énergies qui répondent à cette exigence.

Pour ce dernier exemple, les capteurs sont des capteurs plans (rendement 0,75). Ils sont dimensionnés pour n'être jamais surpuissants (en été) afin d'en optimiser la rentabilité.



Photo 16 : avec les capteurs solaires, un chauffage d'appoint est nécessaire pour compléter le chauffage de l'eau.

Pour un élevage de 200 places (Ouest de la France), 40 m² de capteurs plans sont nécessaires. Ils permettent d'assurer sur l'année 48 % des besoins d'eau chaude en moyenne.

L'installation comprend 45 m² de capteurs posés au sol, un ballon solaire de 2 500 l, (tank à lait récupéré), un préparateur gaz d'appoint de 1200 litres.

Coût total d'investissement* : 31 000 à 36 000 €^{HT}

** avant subventions éventuelles accordées par l'ADEME et certaines régions.*

Le rendement de production au gaz est de 90 %. Le rendement de stockage est de 97,5 % (les pertes de stockage solaires sont prises en compte dans la productivité des capteurs).

> Pompe à chaleur air/eau et chaudière d'appoint

Une pompe à chaleur air/eau (aérothermie) assure le préchauffage de l'eau à 60°C dans un réservoir de 1500 litres équipé d'un échangeur tubulaire (tank à lait).

La puissance calorifique de la pompe à chaleur doit être de 18 kW en conditions hivernales pour assurer le préchauffage du ballon en 8 heures.



Photo 17: une pompe à chaleur air/eau nécessite un chauffage d'appoint.

Le chauffage complémentaire d'appoint est réalisé dans 2 ballons à accumulation électrique de 1500 litres branchés en série avec celui de la pompe à chaleur. Cet appoint est réalisé en heures creuses pour les buvées du lendemain.

Fourniture solaire: 19 900 kWh
Consommation appoint: 20 500 kWh
Productivité solaire: 440 kWh/m²

Coût eau chaude par veau produit : 2,87 €^{HT}
(location de cuve de propane comprise)

Une installation solaire surdimensionnée verra sa productivité en kWh/m²/an diminuée et donc sa rentabilité chuter.

Pour pouvoir bénéficier d'aides publiques les capteurs solaires doivent avoir fait l'objet d'un avis technique du CSTB ou obtenu le solarkermark

NB : pour un élevage de 400 places, 90 m² de capteurs solaires sont nécessaires et l'investissement est porté de 51 000 à 56 000 €^{HT}

L'installation comprend :

- une pompe à chaleur air/eau haute température, puissance calorifique 18 kW pour 0°C extérieur et ses accessoires hydrauliques.
- un préparateur d'eau chaude inox de 1500 litres avec échangeur tubulaire.
- les raccordements électriques et hydrauliques
- deux ballons électriques inox de 1500 litres pour l'appoint.

Coût total d'investissement* : 25 000 à 30 000 €^{HT}

** avant subventions éventuelles accordées par l'ADEME et certaines régions.*

Le coefficient de performance moyen de la pompe à chaleur est pris à 2,30 pour assurer le chauffage de l'eau jusqu'à 60°C (75 % des besoins). Le rendement de stockage est de 95 %.

La consommation électrique annuelle est estimée à 23 700 kWh dont 75 % en heures creuses.

Coût eau chaude par veau produit : 4,27 €^{HT}

NB : pour un élevage de 400 places, une pompe à chaleur de 36 kW est nécessaire et l'investissement est porté de 50 000 à 55 000 €^{HT}

6

TABLEAU RÉCAPITULATIF

Tableau 10 : récapitulatif des montants d'investissement et des coûts eau chaude estimés pour un élevage de 200 places (mars 2009).

Système de production d'eau chaude	Investissements € ^{HT} (avant subventions)	Coût eau chaude par veau € ^{HT}	Retour sur investissement*
1) - Chaudière gaz ou fioul et ballon d'accumulation	12 000 à 14 000 € ^{HT}	6,14 € Fioul 6,23 € GPL	Référence
2) - Réservoir de stockage à chauffage direct au gaz ou au fioul	10 000 à 12 000 € ^{HT}	6,44 € Fioul 6,53 € GPL	
3) - Générateur d'eau chaude à gaz sous pression	12 000 à 14 000 € ^{HT}	5,61 GPL	
4) - Ballons électriques à accumulation	12 000 à 14 000 € ^{HT}	6,60 €	
5) - Chaudière bois et ballon d'accumulation	35 000 à 40 000 € ^{HT}	2,37 € plaquettes 5,31 € granulés	15 ans
6) - Capteurs solaires et chaudière d'appoint	31 000 à 36 000 € ^{HT}	2,87 €	14 ans
7) - Pompe à chaleur air/eau et chaudière d'appoint	25 000 à 30 000 € ^{HT}	4,27 €	17 ans

Les coûts eau chaude présentés dans le tableau 10 tiennent compte uniquement des coûts de l'énergie **hors amortissement et frais de maintenance**. Ils ne prennent pas en compte les aides éventuelles liées aux énergies renouvelables.

Les valeurs indiquées correspondent à des installa-

tions neuves et bien entretenues. Elles peuvent varier notablement en fonction des coûts réels d'achat des énergies.

Des économies d'échelles peuvent être réalisées pour des installations plus importantes.

** Le temps de retour sur investissement ne tient pas compte des subventions éventuelles. Il s'apprécie à partir du surcoût d'investissement par rapport à une référence chaudière gaz et ballon d'accumulation, et suivant l'économie d'énergie engendrée : temps de retour (an) = Δ investissement/ Δ consommation énergie*

7

AUTO-DIAGNOSTIC PAR L'ÉLEVEUR DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIE EN BÂTIMENT

Dans cette partie, il est proposé un outil simple pour permettre à tout éleveur de se positionner par rapport à des références connues et d'envisager les pistes d'amélioration pour réduire efficacement sa consommation énergétique.

Deux niveaux de consommations sont évalués : les consommations d'électricité du bâtiment d'une part et les consommations de gaz, de fioul ou de bois (plaquettes ou granulés) liées à la production d'eau chaude d'autre part.

> Consommations totales d'électricité

Calcul des consommations

Si l'atelier veau dispose d'un compteur électrique spécifique, il suffit de se reporter aux factures d'électricité pour obtenir la consommation annuelle. Si un même compteur sert aussi à l'habitation ou à d'au-

tres ateliers présents sur l'exploitation, il faudra retrancher de la facture d'électricité l'estimation de ces autres postes.

			Facture d'électricité (a)	
		 kWh	
			-	
Consommation annuelle de l'habitation <i>(pour estimer ces postes, se reporter au tableau 20)</i>			Total habitation (b)	
Électroménager	Eau chaude sanitaire	Chauffage électrique kWh	
..... kWh	+ kWh	+ kWh	=	
			-	
Consommation hors atelier veau	Vaches laitières	Consommation kWh	} Total hors veau (c) kWh	
	Vaches allaitantes	Consommation kWh		
	Autre atelier	Consommation kWh		
			=	
CONSOMMATION TOTAL DE L'ATELIER VEAU (a)-(b)-(c)		 kWh	
÷ Nombre de veaux/an		 veaux	
			=	
CONSOMMATION PAR VEAU		 kWh	

Tableau 20 : Références de consommation d'électricité pour les différents postes d'une habitation

Surface de l'habitation	Électroménager (kWh/an)	Eau chaude sanitaire (kWh/an)	Chauffage électrique de l'habitation (kWh/an)			
			Construction avant 1975	Isolation entre 1976 et 1988	Isolation entre 1988 et 2000	Isolation après 2000
100 m ²	2 800	2 700	27600	16100	11000	9 000
150 m ²	2 900	3 100	37700	21900	14500	11700
200 m ²	3 000	3 500	47600	27500	17900	14400

Source : DPE - ADEME

Échelle d'appréciation des consommations totales d'électricité

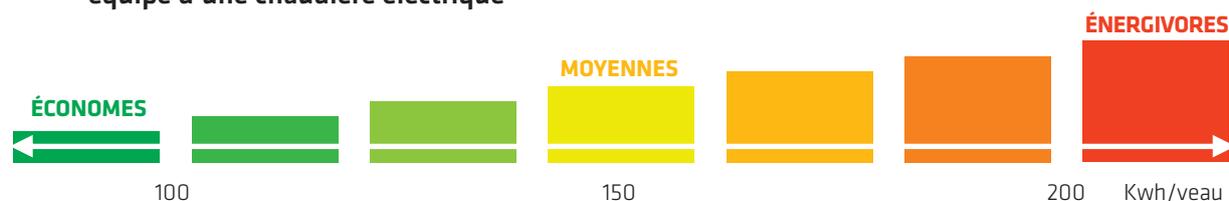
Deux cas peuvent se présenter :

Cas 1- élevage équipé d'une chaudière électrique (pour laquelle il n'est pas possible de connaître la

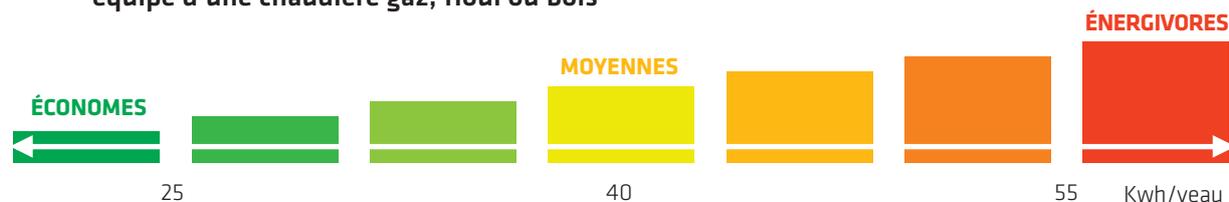
consommation spécifique).

Cas 2- élevage équipé d'une chaudière gaz, fioul ou bois.

Cas 1 : échelle d'appréciation des consommations totales d'électricité d'un élevage équipé d'une chaudière électrique



Cas 2 : échelle d'appréciation des consommations totales d'électricité d'un élevage équipé d'une chaudière gaz, fioul ou bois



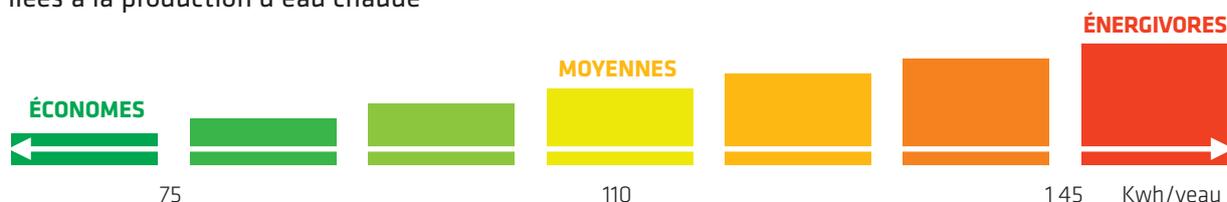
> Consommations de gaz, de fioul ou de bois pour la production d'eau chaude

Calcul des consommations

Quantité de gaz propane	<input type="text"/> kg	X	PCI 12,8	=	<input type="text"/> kWh
Quantité de fioul	<input type="text"/> litres	X	10	=	<input type="text"/> kWh
Quantité de bois plaquette (35 % humidité)	<input type="text"/> tonnes	X	3 050	=	<input type="text"/> kWh
	<input type="text"/> m ³	X	1 000	=	<input type="text"/> kWh
Quantité de bois granulés	<input type="text"/> tonnes	X	4 900	=	<input type="text"/> kWh
Consommation électrique de la chaudière (si compteur spécifique)				=	<input type="text"/> kWh
CONSOMMATION DE L'ATELIER VEAU				=	<input type="text"/> kWh
÷ Nombre de veaux/an	<input type="text"/> veaux			=	<input type="text"/> kWh
CONSOMMATION PAR VEAU					<input type="text"/> kWh

Échelle d'appréciation des consommations d'énergie liée à la production d'eau chaude

Échelle d'appréciation des consommations de gaz, de fioul ou de bois liées à la production d'eau chaude



Une valeur de 90 kWh correspond à un système idéal avec un rendement de 100 %. Une consommation inférieure correspond soit à une contribution solaire,

soit à un rendement supérieur à 100 % dans le cas de l'utilisation d'une pompe à chaleur

> Quelques pistes pour réduire la facture énergétique

Considérant que la production d'eau chaude représente près de 75 % des consommations d'énergie en bâtiment veau de boucherie, les actions à conduire pour réduire la facture énergétique devront en priorité être orientées vers ce poste.

Réduire les pertes en agissant à trois niveaux

1- Stockage de l'eau chaude

L'isolation du stockage d'eau chaude doit être d'autant plus soignée que la température de stockage est élevée et que la durée de stockage en température s'allonge. A titre indicatif, un couvercle de tank à lait non isolé représente une perte nette de l'ordre de 200 €^{HT}/an de fioul pour un atelier de 200 places. L'isolant utilisé doit être compatible avec l'ambiance parfois humide environnante. Par exemple, une laine minérale imbibée d'eau n'a aucun effet isolant.

Action : Isoler toutes les parois des stockages par des mousses de PVC de 30 mm minimum d'épaisseur.

2- Rendement des générateurs

Le rendement nominal d'un générateur à combustion est de l'ordre de 90 %. Il peut se dégrader fortement si le brûleur est dérégulé ou encrassé. Une mauvaise combustion engendre très rapidement un encrassement de l'échangeur. Une chute de rendement du générateur de 10 % représente une perte nette estimée à 250 €^{HT}/an de fioul pour un atelier de 200 places.

Action : Contrôler ou faire contrôler une fois par an la combustion du générateur (mesure de la température et du taux de CO₂ des fumées).

3- Transfert de l'eau chaude

Toutes les canalisations d'eau chaude doivent être calorifugées. Par exemple, les pertes d'énergie dans une tuyauterie cuivre ou inox maintenue à 70°C pendant 4 heures par jour sont de l'ordre de 1200 kWh par an pour 10 mètres de tuyauterie de diamètre 40 mm et de 600 kWh par an pour un tuyau de diamètre 18 mm.

Action : Calorifuger toutes les tuyauteries haute température par des gaines de mousse de PVC de 19 mm d'épaisseur.

Mesurer pour mieux contrôler



Les consommations d'eau chaude pour le nettoyage des matériels de préparation et de distribution du lait sont souvent méconnues. La mise en place d'un compteur sur l'alimentation du préparateur d'eau chaude permet de relever et contrôler ses consommations globales d'eau chaude.



Les thermomètres de mesure des températures de stockage d'eau chaude, de préparation et de distribution doivent être présents et en bon état.

Contacts



GIE Lait Viande de Bretagne

Rond-point Maurice Le Lannou
35042 RENNES Cedex
Tél. : 02 23 48 29 04

Contact : Olivier Rosat

Courriel : o.rosat@gielaitviandebretagne.fr



Institut de l'Élevage

Monvoisin - BP 85225
35652 LE RHEU Cedex
Tél. : 02 99 14 77 27

Contacts : Christophe Martineau - Gérard Bertrand

Courriel : christophe.martineau@inst-elevage.asso.fr



Chambres d'Agriculture de Bretagne

Rond-point Maurice Le Lannou
35042 RENNES Cedex
Tél. : 02 23 48 23 23

Contacts : Philippe Briand - Jean-Pierre Quillien

Courriel : philippe.briand@ille-et-vilaine.chambagri.fr



BECOME

54 impasse Trélivalaire
29300 QUIMPERLE
Tél. : 02 98 39 06 97

Contact : Yves Schryve

Courriel : become29@wanadoo.fr

L'ADEME en bref

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer et du ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Elle participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable.

Afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale, l'agence met à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, ses capacités d'expertise et de conseil. Elle aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, la qualité de l'air et la lutte contre le bruit.



Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

20 avenue du Grésillé - BP 90406
49004 ANGERS Cédex 01

www.ademe.fr

Retrouvez ce document sur les sites internet
de l'ADEME : www.ademe.fr/mediatheque
et de l'Institut de l'Élevage : www.inst-elevage.asso.fr

Février 2010 - ADEME Réf. 6750
ISBN 978 - 2 - 35 838 - 090 - 4 - 2000 ex. - gratuit

