

Conception de bâtiments d'élevage innovants à énergie positive

Marcon M.¹, Massabie P.¹, Blanchin J.Y.², Kergoulay F.³, Capdeville J.², Boulestreau-Boulay A.L.⁴, Amand G.⁵, Nicolas C.³, Zanella C.⁶, Houssin B.⁷

¹ IFIP-institut du porc, Domaine de la Motte au Vicomte 35651 Le Rheu Cedex

² IDELE, 56 avenue Roger Salengro BP 39 62051 Saint Laurent Blangy Cedex

³ CRA-Bretagne, 5 allée Sully 29322 Quimper Cedex

⁴ CRA-Pays de la Loire, 9 rue André Brouard BP 70510 49105 Angers Cedex

⁵ ITAVI, Zoopôle Beaucemaine, 41 rue Beaucemaine 22440 Ploufragan

⁶ CRA-Bourgogne, 3 rue du Golf, 21800 Quétigny

⁷ CDA-Manche, Association de la ferme expérimentale de la Blanche Maison, Maison de l'Agriculture, avenue de Paris, 50009 Saint Lo Cedex

Correspondance : michel.marcon@ifip.asso.fr

Résumé

En conformité avec les conclusions du « Grenelle de l'environnement », il est demandé au secteur agricole de réduire l'impact environnemental des exploitations. La diminution des consommations d'énergie directes constitue l'une des réponses à cet objectif ; or, le concept de bâtiment d'élevage à énergie positive est une voie possible pour améliorer notablement le bilan énergétique des élevages.

Ainsi, l'objectif de cette étude est triple : (i) proposer une définition commune d'un bâtiment à énergie positive pour les trois principales filières d'élevage, (ii) fournir les éléments techniques pour la réalisation de ce type de bâtiments, (iii) évaluer l'intérêt économique de ce concept.

Après avoir défini le concept du BEBC¹, trois guides techniques ont été publiés (un pour chaque filière). Ils présentent, sous la forme de fiches techniques l'ensemble des technologies et des pratiques d'élevage, permettant de réduire les consommations d'énergie. De plus, ces guides proposent un descriptif des solutions de production d'énergie renouvelable.

Enfin, chaque filière a réalisé une synthèse économique sur un bâtiment à énergie positive virtuel dans le but d'évaluer l'intérêt économique de ce concept.

Mots-clés : Bâtiment, énergie, élevage, basse consommation, énergie renouvelable

Abstract: Design of innovative livestock buildings positive energy

In accordance with the conclusions of the "Grenelle de l'environnement", agricultural sector is due to reduce environmental impact of farms. Direct energy consumption reduction is one answer to this objective. However, the concept of barn positive energy is a possible way to significantly improve the energy balance of the farms. Thus, the objective of this study was threefold: (i) to provide a common definition of a building positive energy for the three main sectors of farming, (ii) to provide the technical elements for the construction of this type of buildings, (iii) to evaluate the economic interest of this concept. After defining the concept of the BEBC, three technical guides were published (one for each sector). They presented, in the form of sheets all technologies and breeding practices, to reduce energy consumption. In addition, these guides provided a description of the production of renewable energy solutions. Finally, each sector produced an economic synthesis on a virtual building positive energy to assess the economic impact of this concept.

Keywords: Building, energy, farming, low consumption, renewable energy

¹ BEBC : Bâtiment d'élevage à énergie positive

Introduction

En conformité avec les conclusions du « Grenelle de l'environnement », il est demandé au secteur agricole de réduire l'impact environnemental des exploitations. La diminution des consommations d'énergie directes constitue l'une des réponses à cet objectif ; or, les bâtiments d'élevage peuvent (de façon variable selon la production concernée) générer une part non négligeable de cette consommation énergétique. Outre les actions de gestion courante visant à optimiser l'utilisation de l'énergie, le concept de bâtiment à énergie positive est une voie possible pour améliorer notablement le bilan énergétique des élevages.

C'est aussi, ce faisant, un moyen de pérenniser les élevages, en anticipant l'augmentation amorcée du prix des énergies et en améliorant ainsi leur bilan économique. Le projet doit donc prendre précisément en compte ces contraintes économiques pour aboutir à des solutions techniques viables pour les exploitations.

De plus, le partenariat avec des équipementiers sur des projets d'avenir comme celui-ci est une avancée importante puisqu'il permet d'une part de concevoir des concepts en phase avec la réalité du terrain et d'autre part d'orienter la recherche chez les équipementiers.

Enfin, la mise en œuvre de ce concept constitue une occasion, dans un contexte de nécessaire restructuration du parc de bâtiments pour plusieurs espèces, d'orienter cette modernisation dans le sens d'une plus grande indépendance énergétique. Dans ce contexte énergétique mais aussi de débat parfois difficile avec la société sur les impacts environnementaux des élevages, la volonté affichée et la capacité à devenir producteur net d'énergie sont de nature à améliorer l'image de l'élevage à cet égard ; cette initiative, en allant au-delà du seul bilan énergétique jugé insuffisant par certains acteurs du monde rural, s'inscrit dans une démarche active et ambitieuse d'autonomie énergétique.

Pour mener à bien cette étude, le partenariat regroupait l'IFIP, l'IDELE, l'ITAVI, les Chambres régionales d'agriculture de Bretagne, Pays de la Loire et de Bourgogne, ainsi que la station expérimentale de Blanche Maison dépendant de la chambre d'agriculture départementale de la Manche.

Ce projet s'est articulé en quatre actions dont les objectifs étaient les suivants :

1. définir et caractériser le concept de bâtiment d'élevage à énergie positive (BEBC+) par analogie à la maison à énergie positive ;
2. proposer un guide technique détaillant les solutions techniques ou de pratiques d'élevage permettant d'atteindre les objectifs du BEBC+ ;
3. élaborer un prototype virtuel d'un BEBC+ dans chaque filière permettant une évaluation économique du concept selon divers scénarios ;
4. contribuer à une meilleure information des agriculteurs et de leurs techniciens afin de les conduire à raisonner davantage l'autonomie énergétique des bâtiments d'élevage lors de leur rénovation ou de leur conception.

1. Définition et caractérisation du concept de bâtiment d'élevage à énergie positive

Cette première phase de l'étude visait à transposer la démarche des maisons d'habitation à énergie positive aux bâtiments d'élevage. En effet, la démarche existante nécessitait une adaptation puisque contrairement au secteur résidentiel, les bâtiments d'élevage sont des outils de production. De plus, les élevages de ruminants sont sensiblement différents dans la mesure où ils ne sont pas clos et donc ni chauffés ni ventilés.

1.1 Définition d'un bâtiment d'élevage à énergie positive

Un bâtiment d'élevage à énergie positive peut être défini comme un bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme (IFIP 2012). Pour ce faire, ce concept nécessite deux étapes :

- 1 réaliser un bâtiment d'élevage à basse consommation d'énergie (BEBC) ;
- 2 *a minima*, compenser les consommations d'énergie restantes par la production d'énergie renouvelable en lien avec le bâtiment d'élevage.

Par similitude avec les constructions à basse consommation d'énergie (BBC) (EDF, 2007), les bâtiments d'élevage à basses consommations d'énergie (BEBC) doivent, à travers leur structure, leur organisation et leurs équipements, permettre de minimiser les consommations d'énergie en dessous d'un certain seuil. Par leur destination, les bâtiments d'élevage nécessitent une méthode spécifique, différente de celle utilisée pour labéliser les constructions BBC.

1.2 Périmètre de la démarche BEBC

La définition présentée dans le point 1.1 concerne un périmètre variable selon les filières d'élevage. Ainsi, les fonctions du bâtiment concerné par le concept BEBC sont directement liées aux types d'exploitation. Les filières porcines et avicoles étant par nature très similaires (bâtiments clos, chauffés et ventilés) se distinguent des bâtiments d'élevage de ruminants.

Eléments concernés par la démarche BEBC	Filière porcine	Filière avicole	Filière ruminant
Logement des animaux			
Salle de traite + laiterie			
Equipements pour les bâtiments avec des animaux			
Fabrique d'aliment à la ferme			
Atelier de transformation à la ferme			
Hangar de stockage			
Gestion des effluents			

Tableau 1 : Fonction ou partie du bâtiment concerné par la démarche BEBC selon les filières

En définitif, les filières d'élevage porcin et avicole ont retenu un périmètre strict qui concerne uniquement les bâtiments accueillant des animaux. Pour la filière ruminant, la démarche est plus large puisqu'elle englobe les principaux bâtiments annexes et notamment, la salle de traite et la laiterie.

1.3 Principes méthodologiques

Il a également fallu définir les principes méthodologiques pour comprendre et appliquer la démarche BEBC. Ainsi, les BEBC doivent respecter **une obligation de moyens avec un objectif de résultats**. Il s'agit alors de proposer un bâtiment d'élevage qui permette de ne pas dépasser, a priori, un seuil de consommation d'énergie fixé sur la base des références des consommations de l'année 2009 qui ont été synthétisées dans le cadre de ce projet (ADEME, 2007).

Le kilowattheure (kWh) exprimé en énergie finale, c'est-à-dire la quantité d'énergie facturée à l'exploitant, est l'unité de référence pour l'expression des objectifs à atteindre pour être qualifié BEBC (contrairement aux constructions BBC qui utilisent un kWh en énergie primaire).

Un coefficient (μ) de correction permet de prendre en compte la diversité climatique (Figure 1), ainsi, en zone verte $\mu = 1$, en zone jaune $\mu=1,2$ et en zone orange $\mu=0,76$. Quelle que soit la zone climatique, au-delà de 1000 m d'altitude, $\mu = 1,2$. Il conviendra de multiplier les seuils visés pour être BEBC par ce coefficient pour connaître la valeur de consommation maximale du BEBC de la zone.

Pour la filière porcine, l'objectif de consommation maximale est défini par déduction de diverses économies d'énergie à la consommation d'énergie de référence. Par exemple, une maternité consommant annuellement 540 kWh / place sera considérée comme BEBC par comparaison à la référence moyenne de 900 kWh / place (IFIP 2008). Cela correspond à 360 kWh/place/an d'économie réalisée par la mise en place d'équipements économes comme par exemple la niche à porcelets (soit 40 % d'économie).

Pour la filière avicole, l'objectif est ne pas dépasser la consommation de 65 kWh/m²/an (URE 2007). Ces valeurs sont calées sur les consommations d'énergie obtenues par le tiers des élevages les moins consommateurs dans l'enquête réalisée chaque année auprès des aviculteurs par les Chambres d'Agriculture du grand-ouest.

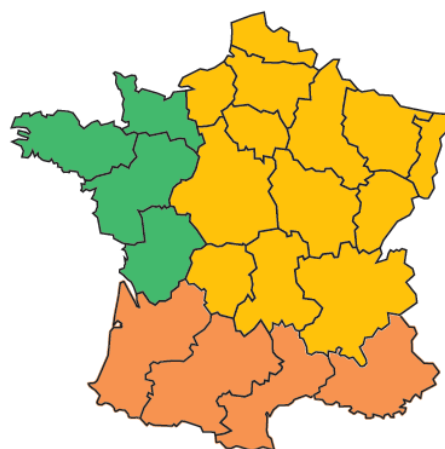
Pour les ruminants, selon le poste de consommation considéré, on ramène l'énergie dépensée à l'animal adulte (vache laitière, brebis, ...), à une quantité produite (1000 kg de lait ou 100 kg de poids vif) ou à une unité de surface (m² d'aire de vie des animaux). Par exemple, le refroidissement de 1000 kg de lait nécessite habituellement 22 kWh. Par l'installation d'un pré-refroidisseur de lait, on peut atteindre les objectifs du BEBC avec une consommation inférieure à 12 kWh.

Le tableau 2 précise, par filière et en fonction de leurs spécificités, les niveaux d'objectifs fixés.

	Consommation de référence actuelle	Consommation maximale pour obtenir un BEBC	Unité	Pourcentage d'économie à atteindre
Stade physiologique concerné	Filière porcine			
Maternité	900	540	kWh/place	40%
Post-sevrage	85	51	kWh/place	40%
Engraissement	40	20	kWh/place	50%
Gestation	160	80	kWh/place	50%
Type de bâtiment	Filière avicole			
Volailles de chair	120	65	kWh/m ² /an	45 %
Type de bâtiment	Filière ruminant (bovin lait, bovin viande)			
Salle de traite + laiterie	49	29	Wh/litre de lait	41 %
Stabulation VL logettes lisier raclage	209	150	kWh/VL/an	28 %
Stabulation VL Aire paillée	179	125	kWh/VL/an	30 %
Stabulation VA Aire paillée + alimentation libre-service	114	62	kWh/VA/an	46 %
Stabulation VA Aire paillée + alimentation distribuée	129	74	kWh/VA/an	43 %

Tableau 2 : Objectifs de résultats pour être considéré BEBC

Figure 1 : Zones climatiques permettant de pondérer les seuils BEBC



2. Guide du bâtiment d'élevage à énergie positive et outils

Pour que la démarche soit connue ou reconnue sur le terrain, un guide technique de synthèse a été réalisé pour chacune des trois filières.

2.1 Structure et méthodologie des guides

Pour réaliser ce document, une méthodologie commune a été mise en place. La première partie du document présente les fiches permettant de réduire les consommations d'énergie dans un bâtiment d'élevage. Elles concernent soit des technologies économes, soit des pratiques d'élevage économes. Ces fiches sont réalisées dans le même format et proposent toutes une évaluation du coût de la technique/technologie et du gain énergétique associé, lorsque c'est possible. Des valeurs de « coût du kWh économisé » et du temps de retour sur investissement sont également disponibles au sein de chaque fiche.

Pour ce faire, il a été défini « **le coût du kWh économisé** » comme étant une valeur calculée sur la base du rapport du coût de l'investissement brut (€) / kWh économisé sur la durée de vie de la technique. Par exemple, pour un échangeur de chaleur placé en post-sevrage, coûtant 3000 €, avec une durée de vie de 10 ans et une économie d'énergie de chauffage de 30 %, le coût du kWh économisé sera de :

$$3000 \text{ €} / (200 \text{ places} \times 67 \text{ kWh de chauffage par place} \times 30 \% \times 10 \text{ ans}) = 0,075 \text{ €} / \text{kWh}$$

Cet indicateur signifie que si l'éleveur paye un kWh électrique moins cher que le coût du kWh économisé (0,075 € dans l'exemple), l'investissement n'est pas rentable. Le coût du kWh économisé permet de prendre en compte la durée de vie du matériel et de s'affranchir de l'évolution du prix de l'énergie, contrairement au temps de retour sur investissement (TRI).

De plus, afin de faciliter la lecture des fiches techniques qui composent les guides, les filières porcine et ruminant ont utilisé l'en-tête suivant présentant un jeu de trois logos sur chaque fiche :



Ce logo indique le **niveau d'économie d'énergie** atteignable grâce à la technique présentée.



Ce logo indique le **niveau d'investissement** nécessaire pour mettre en place la technique présentée.



Ce logo indique le **niveau de priorité** de la technique pour atteindre le seuil BEBC avec un coût acceptable.

Ces trois logos permettent une évaluation rapide de l'intérêt d'une technique sur les économies potentielles d'énergie, le coût de cette technique et son niveau de priorité vis-à-vis de la démarche BEBC.

Enfin, la structure de présentation des fiches qui composent ces guides est la même et se décline ainsi : Titre de la technique, présence des trois logos, intérêt de la technique (en quoi elle permet des économies), description de la technique (principe de fonctionnement), comment appliquer la technique, intérêt économique et une dernière rubrique présentant des éléments supplémentaires d'explications.

2.2 Outil d'évaluation a priori de l'aspect BEBC d'un projet

En parallèle des guides techniques, l'IFIP a développé un outil sous Excel permettant de savoir si un projet bâtiment sera BEBC ou pas.

Après la sélection du stade physiologique, la consommation énergétique de référence s'affiche. L'utilisateur a ensuite la possibilité de sélectionner jusqu'à 10 techniques économes en énergie. Après validation, l'outil présente la consommation estimée en vert si elle est inférieure au seuil pour être BEBC ou en rouge si ce n'est pas le cas.

Figure 2 : Extrait de la calculatrice BEBC

3. Prototype virtuel d'un BEBC et évaluation économique

L'autre objectif principal de cette deuxième phase était la création du cahier des charges d'un bâtiment d'élevage à énergie positive pour chacune des trois filières. Ce cahier des charges pouvait faire l'objet d'une modélisation en 3D à l'aide de l'outil gratuit Sketch'Up. Pour illustrer les travaux réalisés, il sera présenté, dans cette partie, uniquement les éléments qui concernent la filière porcine.

3.1 Description du prototype

Le prototype du bâtiment d'élevage de porcs à énergie positive est un élevage **naisseur-engraisseur total de 300 truies (IFIP 2013)**. Afin de prendre en compte la diversité des conduites existantes, le concept a été décliné en deux bâtiments, l'un avec une conduite en **4 bandes avec un sevrage des porcelets à 21 jours**, et l'autre en conduite **7 bandes avec un sevrage à 28 jours**.

La F 3 présente la structure globale des deux déclinaisons du prototype de BEBC+ de la filière porcine.

Les deux déclinaisons de prototypes utilisent une éco-ventilation pour l'ensemble des salles à l'exception des engraissements qui sont en ventilation centralisée. La ventilation centralisée est une technique économe (moins que l'éco-ventilation) qui permet l'adjonction d'un laveur d'air, lui-même rendant possible la mise en place d'une pompe à chaleur qui puise les calories dans l'eau du laveur. En effet, l'air chaud des salles, en passant dans le laveur d'air, cède ses calories à l'eau du laveur qui est alors une source parfaite d'énergie pour une pompe à chaleur puisqu'indépendante des conditions climatiques : la température de l'eau du laveur sera toujours entre 10°C et 20 °C.

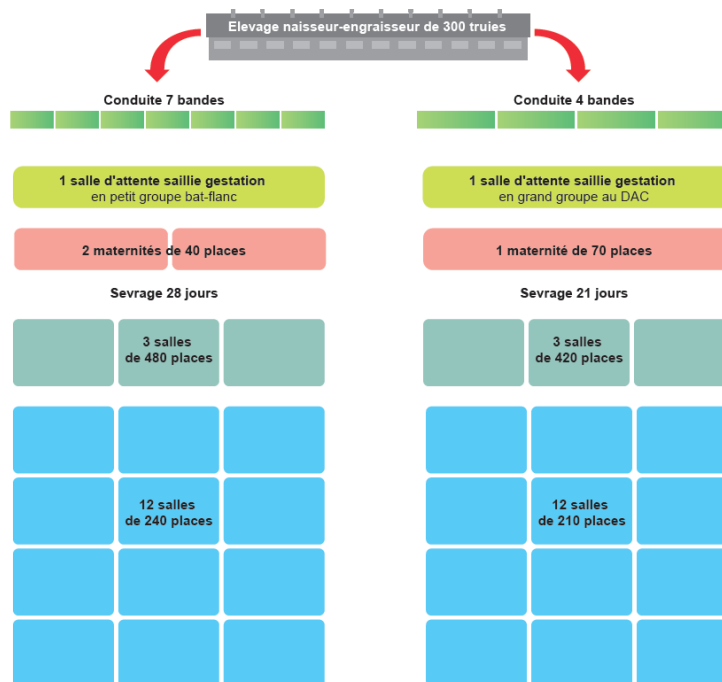


Figure 3 : Cahier des charges des 2 déclinaisons du BEBC+ porcs

Les salles des gestantes sont équipées d'échangeurs de chaleur, qui, depuis la mise aux normes bien-être des truies, permettent de ne pas avoir recours au chauffage.

Les maternités bénéficient de niches pour porcelets régulées case par case. Cette technique offre une réduction des consommations de chauffage de près de 80 %.

Hormis la conduite et donc le nombre de salles, les deux déclinaisons du prototype sont identiques à l'exception des post-sevrages. En effet, dans le prototype conduit en 4 bandes (BEBc4) les salles de post-sevrages sont équipées d'échangeurs de chaleur et sont prévues pour pratiquer un démarrage en double densité alors que dans l'autre prototype conduit en 7 bandes (BEBc7) le chauffage est assuré par une pompe à chaleur et il n'y a ni échangeur ni démarrage en double densité.

La conduite en double densité consiste à loger temporairement une bande sevrée dans une seule salle de post-sevrage ; le taux de chargement de cette salle est alors doublé (tout en respectant les normes de surface préconisées par la réglementation bien-être). Cette pratique permet de limiter le volume d'air à chauffer par animal, tout en augmentant la quantité globale de chaleur (ramenée au volume de la salle) fournie par les animaux, réduisant ainsi les besoins de chauffage.

3.2 Résultats énergétiques

Comme l'indique la figure 4, l'ensemble des solutions présentées précédemment permet une économie d'énergie par rapport à la référence de 72 % en maternité, 68 % en post-sevrage, 59 % en engraissement et 75 % en gestation pour le BEBC7 et 68 % en maternité, 89 % en post-sevrage, 53 % en engraissement et 67 % en gestation pour le BEBC4 (Figure 5).

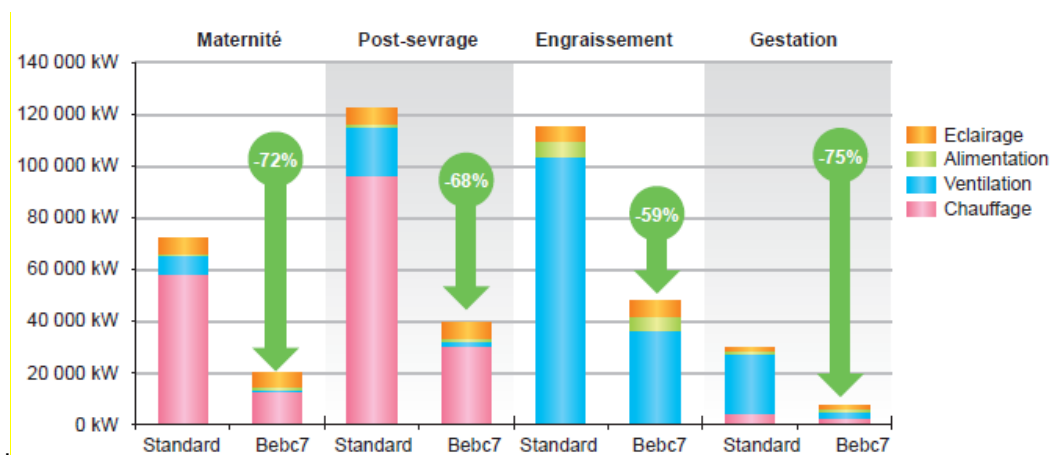


Figure 4 : Consommations d'énergie comparées entre un élevage standard et le BEBC 7 bandes

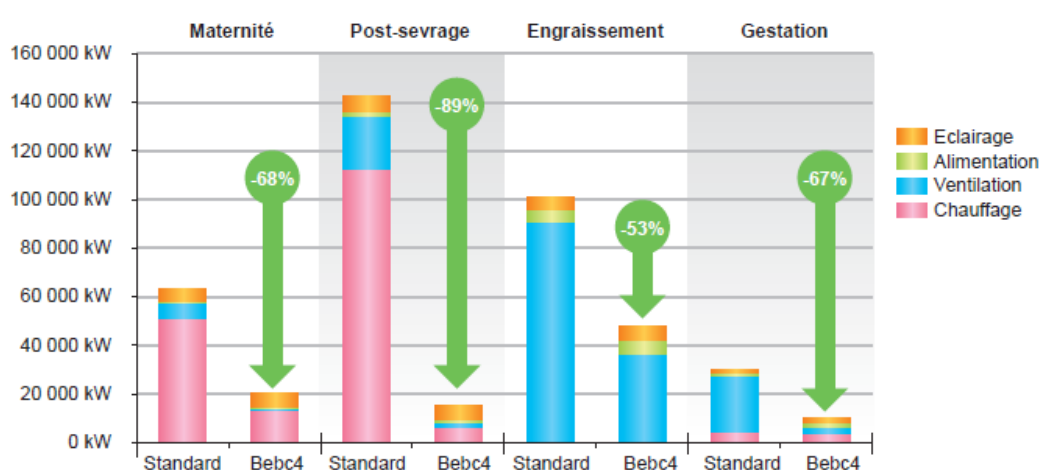


Figure 5 : Consommations d'énergie comparées entre un élevage standard et le BEBC 4 bandes

Les choix techniques conduisent à la nécessité d'avoir 657 m² de panneaux photovoltaïques pour compenser les consommations d'énergie restantes du BEBC7 et 850 m² pour le BEBC4. Le prototype a abouti à une vidéo en 3 dimensions disponible sur le lien suivant : <https://www.youtube.com/watch?v=RMTO6WVXKoo>

3.3 Synthèse économique

3.3.1 Filière porcine

Pour évaluer l'intérêt économique des bâtiments à énergie positive un chiffrage des prototypes et du bâtiment témoin correspondant a été réalisé (Marcon, 2014).

Ainsi, par rapport au prix d'un bâtiment standard, le surcoût du BEBC7 est de 127 411 € sur un investissement total de 2 215 502 €, soit 5,5 % de surcoût. Pour le BEBC4, l'investissement supplémentaire n'est que de 81 349 € sur un total de 2 097 302 €, soit 3,8 % de surcoût.

Le BEBC4 engendre un surcoût plus faible en raison de la mise en place, comme solution économe en énergie, d'un démarrage du post-sevrage en double densité. Cette technique recrée une nurserie fictive dans les salles de post-sevrage existantes. Par rapport au bâtiment standard, il y a un gain en termes de nombre de places à construire. Ainsi, malgré la présence d'un échangeur, les post-sevrages du BEBC4 coûtent 12 974 € de moins que leur équivalent en bâtiment standard.

Dès lors qu'est intégré l'investissement nécessaire pour la production d'énergie renouvelable, les surcoûts sont alors de 12 % pour les deux types de bâtiments BEBC+ en 7 et 4 bandes. Toutefois, même si la production d'énergie renouvelable est nécessaire dans la démarche de bâtiment à énergie positive, l'investissement doit faire l'objet d'une étude de rentabilité à part entière, d'autant plus que, selon la zone géographique et l'orientation des panneaux photovoltaïques, la rentabilité peut fortement varier.

Au-delà des surcoûts, la mise en place de bâtiments BEBC a pour objectif de ramener les consommations d'énergie sous les seuils fixés par la démarche bâtiment d'élevage à énergie positive. Dans le cas des prototypes présentés précédemment, l'énergie consommée est largement en dessous de ces seuils, ce qui permet de réduire la facture énergétique de 66 % pour le prototype en 7 bandes et de 72 % pour celui en 4 bandes. En kWh cela représente respectivement pour le BEBC7 et BEBC4, 224 535 kWh/an et 243 488 kWh / an. Avec un coût moyen de 0,08 € / kWh, l'économie se chiffre à près de 18 000 € / an pour le bâtiment en 7 bandes et 19 500 € / an pour celui en 4 bandes.

Concernant la revente de l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques et en considérant un climat breton avec un tarif de rachat de 0,15 €/ kWh produit, le BEBC7 génère 15 000 € de recette annuelle et le BEBC4 18 500 €/an. Les différences sont dues à la puissance installée qui est de 92 kWc pour le BEBC 7 bandes contre 119 kWc pour le BEBC 4 bandes.

De plus, partir des mêmes éléments, une analyse économique prenant en compte un scénario plausible d'évolution du prix de l'électricité a été réalisée. Sur les bases de cette évolution, le Tableau 3 présente la valeur en euro actualisé net (taux d'actualisation de 3 % par an), c'est-à-dire le **gain généré** par l'investissement en prenant en compte l'inflation.

Globalement, en prenant en compte l'évolution probable du tarif de l'électricité sur 12 ans la valeur actualisée nette atteint 126 000 € pour le BEBC7 et 203 000 € pour le BEBC4. Cela représente un gain moyen de 1,55 € et 2,51 € / porc produit pour respectivement le BEBC7 et BEBC4.

Pour les bâtiments qui intègrent les panneaux photovoltaïques, à l'horizon de 12 ans le gain n'est que de 0,76 € pour le BEBC+7 et 1,70 € / porc produit pour le BEBC+4. Toutefois, sur une durée de vie de 20 ans, l'installation photovoltaïque permet d'améliorer le gain par porc produit de près de 15 %, avec 2,08 € supplémentaires perçus par porc produit pour le BEBC+7 et 2,88 € pour le BEBC+4.

En définitif, l'analyse économique explique que la construction de bâtiments d'élevage à basse consommation est rentable à moyen terme. Avec des surcoûts limités, il semble donc nécessaire d'envisager, dès aujourd'hui, la problématique énergie dans la mise en place de nouveaux bâtiments. En ce qui concerne la production d'énergie renouvelable, la rentabilité est plus longue mais génère un gain plus important dans le temps. Avec l'augmentation programmée du prix de l'électricité, la part de l'énergie, qui représente actuellement moins de 3 % du coût de production, pourrait doubler d'ici 10 ans. Ainsi, en construisant des bâtiments BEBC+, cela permettra à la filière, a minima de compenser l'évolution tarifaire de l'énergie, et au mieux (dans le cas d'une augmentation plus forte du prix de l'énergie), de gagner en compétitivité, voire même de rendre le bâtiment générateur de revenu.

	7 Bandes		4 Bandes	
	BEBC	BEBC+	BEBC	BEBC+
Horizon 6 ans	9 715 €	-158 082 €	68 869 €	-98 928 €
Horizon 12 ans	126 320 €	61 317 €	203 102 €	138 099 €
Horizon 20 ans	240 525 €	281 045 €	334 672 €	375 193 €
Horizon 30 ans	362 818 €	403 338 €	471 833 €	512 354 €

Tableau 3 : Valeur actualisée nette sur différents horizons

3.3.2 Filière avicole

Le niveau d'investissement retenu pour le bâtiment témoin de référence est de 230 €/m². Ce montant correspond aux coûts totaux investis (études et dossiers préalables, terrassement, maçonnerie, raccordements, coque, matériel, silos, sécurité...) hors coût du foncier et investissements annexes (hangar, stockage effluent, télescopique...).

Les coûts BEBC et BEBC+ utilisés sont inspirés de devis de fournisseurs basés sur le projet réel de construction du site de production pilote de 3 400 m² de surface d'élevage comportant deux bâtiments neufs BEBC+ de 1700 m² conçus et équipés pour l'élevage de poulets de chair standard (ITAVI, 2014).

	Témoin	BEBC	BEBC+
Investissement	230 €/m ²	255 €/m ²	420 €/m ²
Surcoûts des principaux postes			
Isolation-renforcée	0 €/m ²	8 €/m ²	0 €/m ²
Récupération de chaleur	0 €/m ²	15 €/m ²	0 €/m ²
Chaudière à biomasse bois	0 €/m ²	0 €/m ²	75 €/m ²
Éclairage Led	0 €/m ²	1 €/m ²	0 €/m ²
Installation photovoltaïque	0 €/m ²	0 €/m ²	90 €/m ²
Compteurs énergie	0 €/m ²	: + 1	0
Surcoût hypothèses / Bat Classique		+ 11 %	+ 83 %

Tableau 4 : Surcoûts d'investissement entre bâtiment témoin de référence, BEBC et bâtiment à énergie positive (BEBC+)

On constate selon les hypothèses retenues que le passage en BEBC génère un surcoût de 11 % et que le passage en BEBC+ implique un surcoût d'investissement de 83 % par rapport à un bâtiment témoin de référence.

Afin d'évaluer la rentabilité d'un BEBC et d'un BEBC+ par rapport à un bâtiment témoin de référence une simulation économique a été réalisée. Cette approche ne tient compte que des surcoûts des BEBC et BEBC+, et de leurs gains sur l'énergie, sans considérer d'évolution des performances techniques et des autres charges opérationnelles (litière, dépenses de santé...).

Pour la simulation, il a été considéré une évolution du coût des énergies (gaz, électricité et bois) d'abord de +3 % par an pendant 20 ans (les bâtiments avicoles sont construits pour une durée minimale de 20 ans) puis, dans une deuxième simulation, de +5% pendant 20 ans. L'« investissement » correspond au surcoût de deux BEBC de 1 700 m² chacun par rapport à des bâtiments classiques de même surface,

qui dans notre hypothèse est de 25 €/m². Le financement retenu pour les investissements d'économie d'énergie (socle BEBC) et de production d'énergie (hors installation photovoltaïque) est un emprunt à taux fixe de 2,8 % sans apport personnel réalisé sur une durée de 12 ans. Pour l'installation photovoltaïque, le financement retenu présente les mêmes caractéristiques mais est étalé sur une période de 15 ans. La notion de « solde » représente ici le solde net entre recettes et dépenses liées à l'énergie (économie et production comprises).

Les résultats sont prometteurs puisque dès la première année, le solde d'un BEBC est positif de 1,34 €/m²/an, et il dépasse même le montant de l'annuité (remboursement annuel du surcoût frais financiers inclus) à l'horizon de la 10^{ème} voire de la 7^{ème} année si l'augmentation du prix de l'énergie est plus forte (hypothèse 2). Logiquement, le solde augmente significativement avec l'accroissement du prix de l'énergie : au cours de la 20^{ème} année il augmente d'environ 3 €/m²/an entre l'hypothèse 1 et 2.

Lorsqu'il s'agit d'ajouter la production d'énergie renouvelable pour passer d'un bâtiment basse consommation à un bâtiment à énergie positive, la rentabilité a un solde positif dès la première année selon les hypothèses retenues. Les ressources liées à l'économie d'énergie et à la revente d'électricité produite par les panneaux photovoltaïques sont donc suffisantes ici pour compenser totalement l'annuité, et permettent de dégager un revenu complémentaire à l'activité avicole. Ce solde augmente à nouveau après les 12 premières années une fois les surcoûts liés au BEBC remboursés, puis après 15 ans lorsque l'annuité liée à la centrale photovoltaïque disparaît.

Une deuxième simulation de rentabilité incluant des investissements dans le photovoltaïque et dans une chaudière biomasse est négatif les premières années et devient positif à partir de 10 ou 12 ans selon les hypothèses d'évolution du prix de l'énergie (respectivement +5 et +3 %/an). Le niveau d'investissement est ici conséquent par rapport aux gains générés, mais ce type d'installation peut présenter un intérêt plus important en particulier pour des élevages de plus grande dimension (économie d'échelle sur l'investissement lié à la chaudière et ses annexes) de l'ordre de 5 000 m² par exemple.

3.3.2 Filière ruminants

Les simulations économiques ont été réalisées pour un bâtiment logeant 120 vaches laitières avec une variation du choix des matériaux de construction et deux localisations géographiques (Grand Ouest ou Centre et Est). Les deux zones géographiques d'élevage ont été retenues pour illustrer l'adaptation nécessaire du BEBC au climat local mais aussi aux conduites d'élevage régionales.

Comparaison des investissements					
Bâtiment standard				Prototype	
Grand ouest base de prix Bretagne, Pays de Loire	Investissement			Investissement	
Bâtiment 120 VL tout bois		écart relatif	écart absolu	Bâtiment 120 VL tout bois	
Stockage fosse béton enterrée non couverte	716 200 €	2,65%	18 988,14 €	735 188 €	Stockage fosse béton enterrée <i>couverte</i>
Stockage fosse géomembrane	648 640 €	12,23%	79 353,14 €	727 993 €	Stockage <i>citerne ou poche souple</i>
Centre et Est ("tout" bois)					
Bâtiment 120 VL tout bois				Bâtiment 120 VL tout bois	
Stockage fosse béton enterrée non couverte	779 941 €	3,97%	30 992,00 €	810 933 €	Stockage fosse béton enterrée <i>couverte</i>
Stockage fosse géomembrane	706 501 €	4,59%	32 402,00 €	738 903 €	Stockage <i>citerne ou poche souple</i>
Centre et Est (charpente avec portiques acier - pannes et bardages bois)					
Bâtiment 120 VL Acier				Bâtiment 120 VL mixte charpente acier + pannes et bardages bois	
Stockage fosse béton enterrée non couverte	737 701 €	6,95%	51 304,96 €	789 006 €	Stockage fosse béton enterrée <i>couverte</i>
Stockage fosse géomembrane	663 026 €	8,14%	53 949,96 €	716 976 €	Stockage <i>citerne ou poche souple</i>

Tableau 5 : Extrait du tableau comparatif des coûts entre les bâtiments d'élevage moyens

A partir de ces prototypes, une estimation du temps de retour sur investissement en fonction de différents scénarios a été calculée. La construction de bâtiments d'élevage à basse consommation

d'énergie est rentable à moyen terme dans toutes combinaisons étudiées à l'occasion de ce programme.

En conclusion

Ce projet, visait à transposer la démarche des maisons à énergie positive aux bâtiments d'élevage des filières porcine, avicole et ruminants. En proposant une définition adaptée aux contraintes de l'élevage et un guide technique exhaustif des solutions permettant des économies d'énergie directe, cette étude met aujourd'hui à disposition des seuils de consommation qui permettent la mise en place d'une démarche de progrès dans les bâtiments d'élevage qui seront construits à l'avenir. En outre, les simulations économiques semblent démontrer que ces concepts de bâtiments, quelle que soit la filière sont rentables dès lors qu'ils s'attachent à la réduction des consommations d'énergie pour être à basse consommation. La production d'énergie renouvelable reste encore difficile à amortir même lorsqu'il s'agit de panneaux photovoltaïques. Les perspectives de ce projet sont actuellement déjà mises en œuvre par des exemples comme l'appel à projet de la région et de l'ADEME Bretagne qui s'attachent à la réalisation, grande nature de bâtiments d'élevage exemplaires à énergie positive (un élevage de volailles est déjà construit et un élevage de porcs devrait voir le jour en 2016). Toutefois, cette étude, s'est uniquement attachée aux questions d'énergie directe (électricité, gaz, fioul) consommées sur les exploitations d'élevage. Des démarches plus globales existent comme par exemple, Grignon énergie positive dont l'objectif est un progrès continu sur les questions de performances économiques, énergétiques (énergie primaire et non directe), climatiques et nourricières. Cette démarche a même été déployée dans 25 exploitations (Carton et al., 2014). En effet, bien que la réduction des consommations d'énergie directe permette d'améliorer le bilan environnemental des élevages il faut rappeler que dans les filières avicoles et porcines, près de 65 % des consommations d'énergie (Colomb et al., 2014) sont indirectes et liées à l'alimentation des animaux. Dès lors qu'il est question d'énergie indirecte des outils de diagnostic et d'analyse des systèmes d'élevage tel que Dia'Terre peuvent alors prendre le relais pour fournir les solutions aux éleveurs afin qu'ils engagent des démarches de progrès globales. A l'échelle mondiale, les résultats de cette étude peuvent être une petite brique permettant d'aller dans le sens de l'accord international sur le climat ayant pour objectif de limiter le réchauffement mondial entre 1,5 et 2°C d'ici 2100.

Références bibliographiques

- ADEME, 2007. Utilisation rationnelle de l'énergie dans les bâtiments d'élevage [Rapport d'étude], Edition ADEME, 398 p.
- Carton S., tristant D., Gasc G., Python Y., 2014. Programme Grignon Energie Positive. 25 fermes dans une démarche de progrès à l'échelle système. *Innovations Agronomiques* 37, 53-65.
- Colomb V., Ait Amar S., Basset Mens C., Gac A., Gaillard G., Koch P., Mousset J., Salou T., Tailleur A., van der Werf H.M.G., 2014. AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling, In: Schenck R, Huizenga D (Eds.), *Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014)*, 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, 248-254.
- EDF-AITF, 2007. Guide AITF/EDF Bâtiment basse consommations [Guide], Edition AITF, 32p.
- IDELE, 2014. Bâtiment à énergie positive. Quel intérêt économique pour les élevages de ruminants ? Edition Idele, 12p.
- IFIP, 2008. Les consommations énergétiques dans les bâtiments porcins [Brochure]. Edition IFIP, 6p.
- IFIP, 2012. Le bâtiment d'élevage à basse consommations d'énergie (BEBC) [Brochure]. Edition IFIP, 8p.

IFIP, 2013. Vidéo 3D d'un prototype de bâtiment à énergie positive BEBC+ pour l'élevage de porcs, <https://www.youtube.com/watch?v=RMTO6WVXKoo>

ITAVI, 2014. Bâtiment à énergie positive, Quel intérêt économique pour les élevages de volailles ? Edition Itavi, 16p.

Marcon M., 2014. Bâtiment à énergie positive, Quel intérêt économique pour les élevages de porcs ? Edition IFIP, 10p.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)