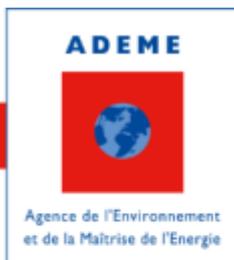


Oct.
2019

ÉTUDE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES BATIMENTS INDUSTRIELS

BATINDUS 2

Rapport



En partenariat avec :



CITATION DE CE RAPPORT

Thibault MAQUENHEM (CTICM), Stéphane Herbin (CTICM), Cécile Hurel (FCBA), François Vial (CETIAT), Romain Casaliggi (CETIAT), Rémi Matray (CETIAT), Audrey Lapouge (CERIB), Félicien Thiou (CERIB), Céline Vinot (CERIB). 2019. BATINDUS2, étude énergétique et environnementale des bâtiments industriels. 97 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne dans notre [Librairie](#)

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. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de 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, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 1781C006

Étude réalisée par (le CTICM, le FCBA, le CETIAT, le CERIB et le MECD) pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Coordination technique - ADEME: Guillaume DAILL, ingénieur

Direction/Service : Direction Entreprises et Transitions Industrielles - Service Industrie



SOMMAIRE

1. Contexte du projet	7
1.1. Périmètre	7
1.2. Objectifs	8
2. Méthodologie de sélection des bâtiments types	8
2.1. Introduction	8
2.2. Bâtiments agricoles	9
2.2.1. Analyse du secteur	9
2.2.2. Les bâtiments d'élevages	9
2.2.3. Les serres et les abris hauts	10
2.2.4. Bâtiments non conditionnés type hangar agricole	10
2.2.5. Choix des bâtiments	11
2.3. Bâtiments logistiques	11
2.3.1. Analyse du secteur	11
2.3.2. Critère de choix des bâtiments types logistiques	13
2.4. Bâtiments industriels	13
2.4.1. Analyse du secteur	13
2.4.2. Critères de choix des bâtiments types industrie	14
2.5. Détermination du nombre de bâtiments pour chaque secteur	14
2.5.1. Généralités	14
2.5.2. Détermination quantitative du nombre de bâtiments par secteurs étudiés	16
2.5.3. Ajustement qualitatif du nombre de bâtiment par secteur	16
2.5.4. Utilisation de la Matrice en 3 grilles	17
3. Présentation des cas d'étude	18
4. Présentation des 15 cas d'étude de Batindus 2	19
4.1. Bâtiments de stockage et logistique	19
4.1.1. Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)	19
4.1.2. Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)	20
4.1.3. Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)	21
4.2. Bâtiments industriels	22
4.2.1. Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)	22
4.2.2. Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)	23
4.2.3. Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)	24
4.2.4. Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)	25
4.2.5. Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)	26
4.2.6. Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)	27
4.2.7. Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)	28
4.3. Bâtiments agricoles	29
4.3.1. Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)	29



4.3.2.	Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)	30
4.3.3.	Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)	31
4.3.4.	Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)	32
4.3.5.	Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)	33
4.4.	Synthèse des 21 cas d'étude retenus dans les 2 volets du projet	34
5.	Étude énergétique	36
5.1.	Présentation générale de l'outil de modélisation	36
5.2.	Cohérence des logiciels de calcul KoZiBu et TRNSYS	36
5.2.1.	Généralités	36
5.2.2.	Une présentation du logiciel	36
5.2.3.	Présentation de KoZiBu (BATINDUS 2 – étude de 15 bâtiments types)	36
5.2.4.	Illustration des modes d'échange thermique du logiciel	37
5.3.	Validité du calcul	37
5.4.	Présentation générale des résultats	38
5.4.1.	Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)	38
5.4.2.	Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)	39
5.4.3.	Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)	39
5.4.4.	Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)	41
5.4.5.	Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)	42
5.4.6.	Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)	43
5.4.7.	Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)	44
5.4.8.	Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)	44
5.4.9.	Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)	45
5.4.10.	Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)	46
5.4.11.	Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)	47
5.4.12.	Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)	48
5.4.13.	Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)	48
5.4.14.	Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)	49
5.4.15.	Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)	50
5.5.	Analyse par groupes de bâtiments	50
5.5.1.	Bâtiments du secteur de la logistique	50
5.5.2.	Bâtiments du secteur industriel	50
5.5.3.	Bâtiments du secteur agricole	51
5.6.	Tableau récapitulatif	52
6.	Étude environnementale	53
6.1.	Présentation générale de l'outil de modélisation ?	53
6.2.	Méthodologie et frontière des évaluations	55
6.2.1.	Définition des unités d'expression des résultats	55
6.2.2.	Contributeurs retenus	55
6.2.3.	Hypothèses et choix méthodologique	57
6.2.4.	Indicateurs environnementaux retenus	57

6.3.	Résultats et analyse	59
6.3.1.	Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)	59
6.3.2.	Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)	59
6.3.3.	Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)	60
6.3.4.	Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)	60
6.3.5.	Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)	60
6.3.6.	Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)	61
6.3.7.	Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)	61
6.3.8.	Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)	61
6.3.9.	Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)	62
6.3.10.	Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)	62
6.3.11.	Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)	62
6.3.12.	Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)	63
6.3.13.	Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)	63
6.3.14.	Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)	63
6.3.15.	Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)	64
6.4.	Analyse des résultats	64
6.5.	Synthèse des résultats de Batindus 1 & 2	65
6.6.	Analyse transversale des résultats de Batindus 1 & 2	68
6.6.1.	Consommation d'énergie non renouvelable	68
6.6.2.	Changement climatique	70
6.6.3.	Groupe de bâtiments	71
6.7.	Limites et perspectives	72
6.7.1.	Limites	72
6.7.2.	Perspectives	73
6.8.	Conclusions de l'analyse transversale	73
7.	Phase 3 : Analyses de sensibilité et extrapolations	74
7.1.	Analyses de sensibilité	74
7.1.1.	Analyse de sensibilité des études énergétiques	74
7.1.2.	Analyse de sensibilité des études environnementales	77
7.1.3.	Pistes d'amélioration	80
7.2.	Extrapolations	81
7.2.1.	Méthode d'extrapolation	81
7.2.2.	Résultats	83
8.	Phase 4 : Valorisation de la méthodologie et des outils développés	91
9.	Conclusions de Batindus 2	92



Résumé

Dans le cadre de de l'association Matériaux et Équipements pour une Construction Durable (MECD), labellisé Tremplin Carnot, trois de ses membres (CERIB, CTICM et FCBA) ont mené en compagnie du CETIAT une étude en deux volets (BATINDUS 1 et BATINDUS 2) visant à établir une évaluation énergétique et environnementale des bâtiments industriels du parc français.

Dans les bilans environnementaux et énergétiques des grands secteurs d'activité, l'industrie est souvent évaluée dans une approche globale, apparaissant alors comme un tout qui ne distingue pas le bâtiment qui héberge l'activité. Si l'on prend l'exemple simple de la consommation énergétique, le poste « bâtiments industriels » se trouve ainsi noyé dans le secteur industrie. Les consommations énergétiques fonctionnelles de base du bâtiment industriel sont écrasées par l'importance des consommations des procédés abrités par ces bâtiments.

Compte-tenu de la difficulté d'individualiser les impacts environnementaux et énergétiques liés à ces bâtiments et à leurs fonctionnalités de base, il en va ainsi des autres impacts liés à leur gestion, mais aussi de ceux liés à leur construction ou leur déconstruction (matériaux, chantiers).

L'objectif global du projet « BATINDUS » est donc d'explorer la performance environnementale et énergétique des bâtiments industriels en excluant celles liées aux procédés qui y sont hébergés. Ces études associées à des analyses de sensibilités ont été menés sur 21 bâtiments au total (6 dans le premier volet de l'étude et 15 dans ce second volet. Elles ont permis de proposer une extrapolation des résultats à l'ensemble du parc bâti.

Abstract

As part of the Materials and Equipment Alliance for Sustainable Construction (MECD), three of its members (CERIB, CTICM and FCBA), associated with CETIAT, conducted a study in two stages (BATINDUS 1 et BATINDUS 2) to assess industrial buildings. Indeed, compared to the relatively well-known residential and tertiary sectors in terms of specific consumption, there is little or no statistical data on the functions of the building in terms of "containers" and industrial functions, content-containing interactions. The overall objective of the "BATINDUS" project is therefore to explore the environmental and energy performance of industrial buildings excluding those related to the processes.

1. Contexte du projet

Dans le cadre de ses missions, l'ADEME apporte un soutien au développement et à la diffusion de technologies ou de bonnes pratiques permettant de réduire les consommations énergétiques et les impacts environnementaux dans l'industrie. Pour ce faire, il est important d'identifier les aspects de l'activité industrielle qui représentent des enjeux importants en matière de consommation énergétique et d'impacts environnementaux. C'est ainsi que se pose la question des impacts des bâtiments industriels, question qui, après analyse de la bibliographie existante, n'a pas fait l'objet, jusqu'à présent, de travaux systématiques pour évaluer les enjeux correspondants.

En effet, dans les bilans environnementaux et énergétiques des grands secteurs d'activité, l'industrie apparaît souvent comme un tout qui ne distingue pas le bâtiment. Si on prend l'exemple de la consommation énergétique, le poste bâtiments industriels se trouve ainsi noyé dans le secteur industrie et les consommations énergétiques fonctionnelles de base du bâtiment industriel écrasées par l'importance des consommations des procédés abrités par ces bâtiments.

Compte-tenu de la difficulté d'individualiser les impacts environnementaux et énergétiques liés à ces bâtiments et à leurs fonctionnalités de base, il en va ainsi des autres impacts liés à leur gestion, mais aussi de ceux liés à leur construction ou leur déconstruction (matériaux, chantiers). L'objectif global du projet « BATINDUS » est d'explorer la performance environnementale et énergétique des bâtiments industriels.

Le premier volet intitulé BATINDUS 1, objet du rapport du 9 octobre 2016 convention ADEME numéro 1481C0004, a rempli sa fonction exploratoire sur la thématique de l'impact énergétique et environnemental des bâtiments industriels en fournissant quatre productions pour mener à bien ce type d'évaluation :

- Un panorama du parc de bâtiments industriels au niveau national,
- Une typologie permettant la description de ce parc,
- Une méthode d'évaluation des consommations énergétiques des bâtiments par modélisation, éprouvée sur 6 cas de bâtiments industriels types,
- Une méthode d'évaluation des impacts environnementaux par modélisation. Également éprouvée sur les mêmes 6 cas de bâtiments industriels types.

Le présent volet BATINDUS 2 s'inscrit dans la continuité du volet BATINDUS 1 et a pour but d'élargir le nombre de cas représentatifs étudiés pour obtenir un échantillon de 21 cas au total. La méthode de calcul utilisée est celle développée dans le cadre du premier volet du projet. Les analyses seront réalisées sur l'ensemble des bâtiments (les – du premier volet de l'étude et les 15 bâtiments de ce second volet).

1.1. Périmètre

Le projet vise tous les bâtiments des secteurs primaires et secondaires : bâtiments hébergeant un procédé de production, bâtiments agricoles, bâtiments liés à la distribution (logistique et stockage). Sont également inclus dans le périmètre de l'étude le cas des bureaux couplés aux bâtiments, lorsque les informations sont disponibles ou indissociables des données des bâtiments industriels.

En sont exclus :

- Les bureaux (sauf ceux accolés à des ateliers industriels),
- Les bâtiments des secteurs éventuellement sans données statistiques (TPEs, artisans, ...),
- Les bâtiments du secteur tertiaire accueillant du public (équipements sportifs, salles de spectacle),
- Le secteur commercial (grandes surfaces, hypermarchés, ...).



Un « Procédé hébergé » par le bâtiment industriel doit être entendu comme :

- Les équipements et/ou installations de transformation de matières, d'assemblage de composants,
- Les cultures (en serre), les animaux élevés,
- Le stockage, la gestion et l'entreposage de matériaux, de matières, de produits, et de composants.

1.2. Objectifs

L'objectif de ce second volet du projet BATINDUS est de déterminer 15 cas d'études de bâtiments industriels et de collecter les données nécessaires aux études énergétiques et environnementales. Ces 15 cas d'études viendront en complément des 6 premiers cas d'études déjà traités dans BATINDUS 1, portant l'ensemble des configurations étudiées à 21 cas.

Le travail de BATINDUS 2 se base directement sur ceux réalisés dans les phases 1 et 3 de BATINDUS 1. Pour rappel, la phase 1 a notamment permis la collecte et l'exploitation de données statistiques sur le marché du bâtiment industriel (volume construit, segmentation par typologie, mise en situation par rapport aux autres segments de marché, ...) et la compilation de retours d'expériences par interview d'experts. Lors de la phase 3 a été élaborée une matrice reprenant les éléments clés et les critères nécessaires à une description aisée et satisfaisante d'un cas d'étude. Cette matrice synthétique permet de décliner succinctement le nombre de combinaisons de critères et donc de cas potentiels à étudier.

Les travaux du présent volet se déroulent selon les deux étapes suivantes :

- Identifier et sélectionner 15 combinaisons de la matrice, en fonction de critères pertinents au regard des objectifs du projet. Les cas d'étude visés devront permettre d'obtenir la meilleure représentativité possible dans les segmentations définies précédemment avec une répartition équilibrée dans les trois destinations concernées (à savoir : secteurs agricole, industriel et logistique).
- Trouver ou définir les bâtiments correspondants à ces 15 cas d'études. Pour chaque cas, collecter l'ensemble des informations nécessaires à la bonne réalisation des études énergétiques et environnementales : plans, typologie, mètres, quantités et nature des matériaux, scénarios d'usage, équipements installés ...

Lors de la sélection des cas d'études, il sera possible d'effectuer des déclinaisons de cas réels vers des cas virtuels par la variation de paramètres ou de critères de la matrice, notamment la surface ou le scénario d'usage, afin de favoriser la représentativité recherchée.

Les cas déclinés se font selon une approche itérative fondée sur les résultats des travaux des phases 2 et 3 de BATINDUS 2.

Remarque : Les systèmes de conditionnement des bâtiments peuvent être au besoin complétés par d'éventuelles informations manquantes lors de la collecte en définissant et dimensionnant les systèmes de chauffage, ventilation, conditionnement d'air équipant les bâtiments étudiés. De plus, on note que les scénarios d'usage (charges thermiques du procédé hébergé ...) dans le bâtiment industriel sont un élément clé de détermination des bâtiments types qui sont étudiés au même titre que sa structure.

2. Méthodologie de sélection des bâtiments types

2.1. Introduction

Le projet BATINDUS 1 a permis d'obtenir un état des lieux du parc français des bâtiments notamment la répartition en surfaces par secteur. D'autres données plus détaillées, disponibles dans le rapport final de BATINDUS 1, permettent de caractériser plus précisément chaque segment de part de marché. Par exemple, pour les bâtiments agricoles, une grande partie des bâtiments n'est pas conditionnée en température ; les hangars de stockage en sont un exemple.

Afin de définir de la manière la plus représentative possible les 15 bâtiments types à étudier, une veille bibliographique complémentaire a été menée, notamment pour obtenir des informations permettant de recouper des données énergétiques par secteur et par typologie d'activité. Cette veille a permis d'identifier pour l'agriculture et la logistique des données solides (sources ministérielles & ADEME) sur lesquelles s'appuyer.

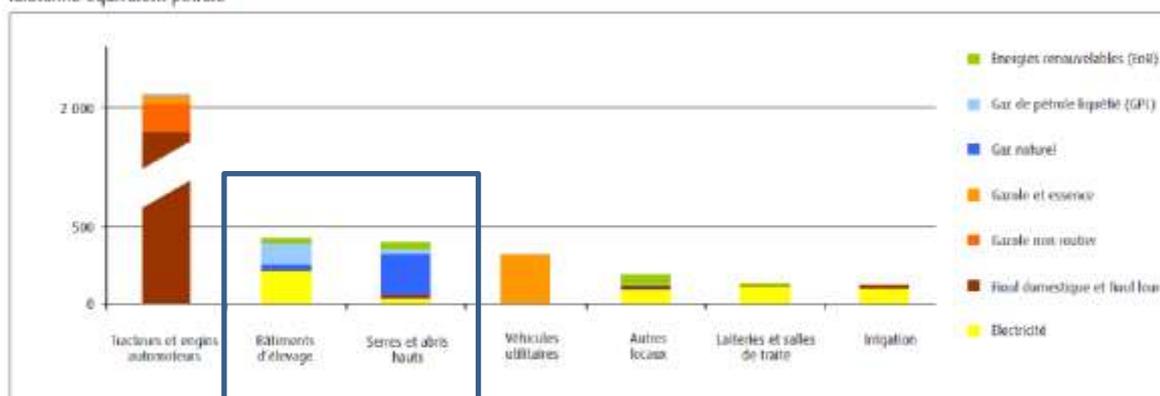
Pour le choix des bâtiments concernant le troisième secteur - industrie - des données énergétiques chiffrées issues de la veille bibliographique ont été complétées par des données issues de l'expérience transverse du CETIAT du secteur ainsi que d'études déjà réalisées (Etude Ateliers Types réalisée avec le concours de l'ADEME) sur le domaine du conditionnement des locaux industriels.

2.2. Bâtiments agricoles

2.2.1. Analyse du secteur

Concernant ce secteur, comme observé dans le premier volet de l'étude (BATINDUS 1), l'aspect énergie est impactant dans les études ACV. D'après des données du ministère de l'environnement, deux grands types d'activités représentent les principaux bâtiments consommateurs (hors tracteurs) : l'élevage, et les serres / abris hauts (cf. figure 1). Néanmoins un troisième type de bâtiment ressort par son impact en termes de surface : le bâtiment non chauffé type hangar qui peut être traité sur l'aspect environnemental.

Consommation par type d'énergie pour chaque usage
Kilotonne équivalent pétrole



Champ : France métropolitaine et DOM.

Source : Maaf-SSP, enquête sur les consommations et les productions d'énergie dans les exploitations agricoles en 2011

Figure 1: bâtiments agricoles consommations par types d'usage [1]

2.2.2. Les bâtiments d'élevages

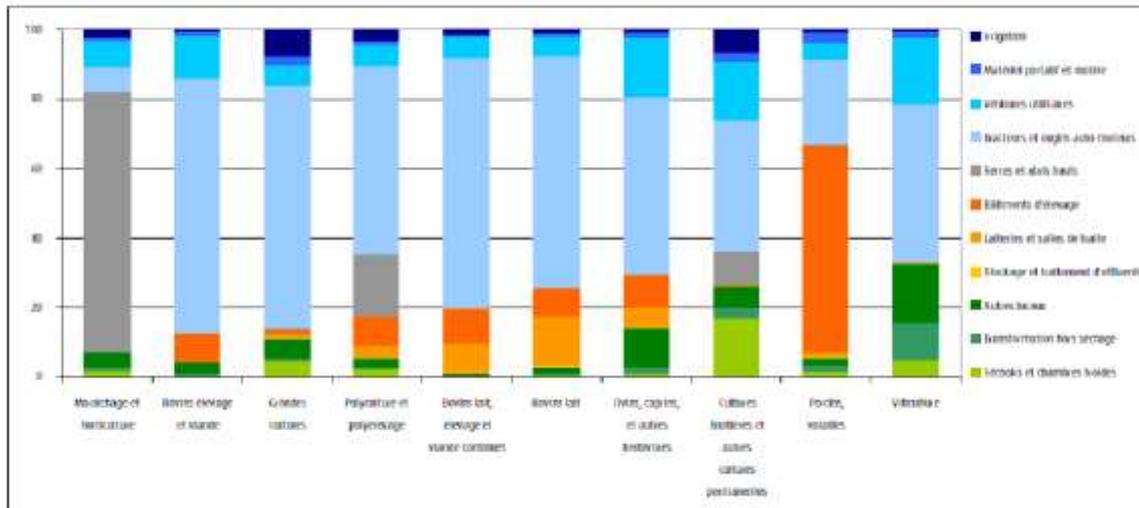
Dans les bâtiments d'élevage, certaines activités sont plus énergivores en termes de chauffage (source IFIP institut du porc et ITAVI) : les maternités de porcins et les élevages de volailles. Pour rappel, les élevages de bovins ont été traités dans BATINDUS 1.



L'énergie est surtout utilisée pour les tracteurs et les bâtiments

Répartition des usages en énergie selon l'activité principale.

En %



Champ : France métropolitaine et DOM.

Source : MAAF-SSP, enquête sur les consommations et les productions d'énergie dans les exploitations agricoles en 2011

Figure 2: Répartition par poste des consommations d'énergie [2]

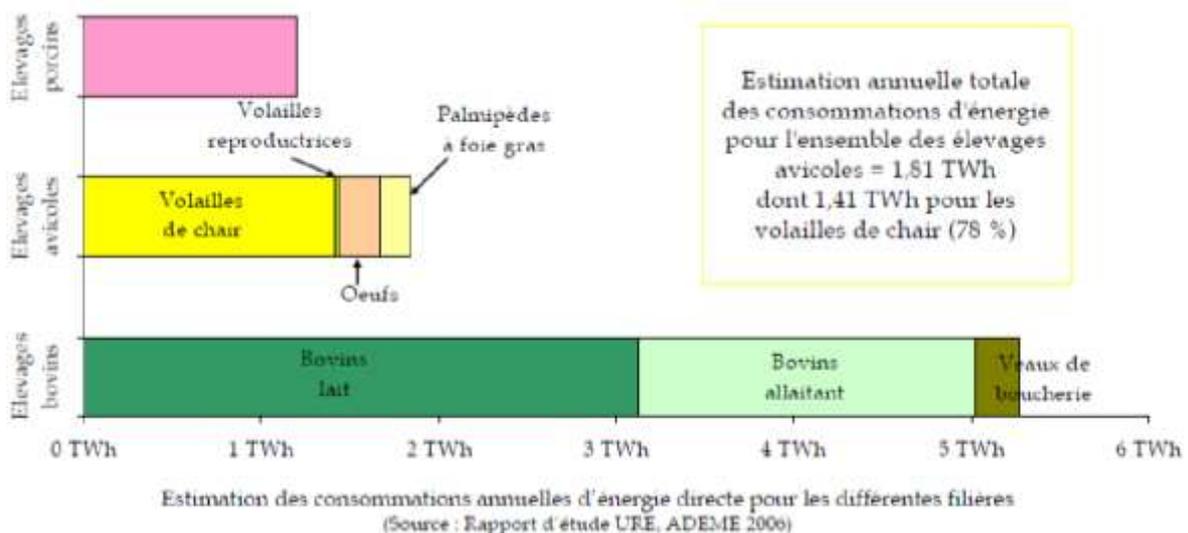


Figure 3: Consommations d'énergie des filières élevage [3]

2.2.3. Les serres et les abris hauts

En France, d'après l'étude URE de l'ADEME de 2005, on trouve 1700 ha de serres de maraîchage produisant des légumes (tomate à 85% concombre à 15 %) et 1300 ha d'abris hauts destinés à la production de fleurs ornementales (plantes en pot / fleurs coupées).

Dans cette étude, des données de consommations moyennes sont disponibles : 320 kWh/m²/an pour les serres maraichères et 160 kWh/m²/an pour les abris hauts pour le chauffage.

2.2.4. Bâtiments non conditionnés type hangar agricole

Sur 900 millions de m² de bâtiments agricoles, la part des hangars est estimée à 50% (cf. figure 4 et tableau 2).

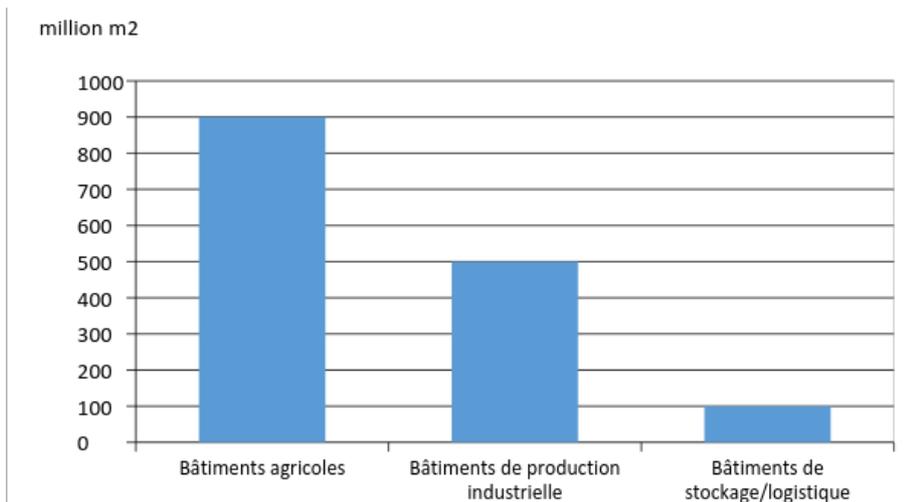


Figure 4: Parc des bâtiments industriels en France en 2012 [4]

Secteur	Consommation d'énergie	Surface	Sous-secteur	Surface	
	TWh	Mm ²		Mm ²	%
Agricole*	20.4	900.0	Hangars	450	50%
* Hors tracteurs et engins			Autres bâtiments	149	17%
			Elevages	229	25%
			Serres	72	8%

Tableau 1: Répartition des bâtiments agricoles par taille [5]

2.2.5. Choix des bâtiments

Concernant le secteur agricole, les typologies de bâtiments pour lesquels il semble pertinent d'évaluer l'impact énergétique et environnemental dans le cadre de BATINDUS 2 sont :

- Les bâtiments de type serre pour leur part importante de consommations énergétiques et les surfaces occupées,
- Les bâtiments d'élevage pour leur part de consommations énergétiques importantes et la représentativité du secteur agricole,
- Les bâtiments non chauffés de type hangar qui concernent la grande majorité des surfaces bâties du secteur agricole.

Remarque : pour ces derniers, la consommation d'énergie est pour l'essentiel réalisée lors de leur construction.

2.3. Bâtiments logistiques

2.3.1. Analyse du secteur

La bibliographie a permis d'identifier les principaux types de bâtiment logistique, en fonction de leur surface. La principale source est l'enquête entrepôts datant de 2010, présentée sous forme de tableurs, disponible auprès du ministère de l'environnement et de la transition écologique et solidaire.



Accès rapides : Menu principal | Aller au contenu | Menu de pied de page | Plan du site

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET SOLIDAIRE
 Commissariat général au Développement durable

Recherche

PUBLICATIONS L'ESSENTIEL SUR... INDICATEURS & INDICES DONNÉES

OBSERVATION ET STATISTIQUES

Accueil > Transports > Transport de marchandises > Entrepôts

THÈMES

- Logement – Construction
- Transports**
 - Véhicules routiers
 - Transport de marchandises
 - Tous modes
 - Rail
 - Route
 - Entrepôts
 - Transit
 - Messagerie
 - Transport de voyageurs
 - Entreprises et emploi

Premiers résultats | L'essentiel en chiffres

Entrepôts et plates-formes logistiques - année 2010

Les tableaux ci-dessous sont structurés en fonction des items du questionnaire de l'enquête, téléchargeable sur ce site à partir de la [fiche méthodologique](#) dédiée à l'enquête sur l'activité des entrepôts et des plates-formes logistiques (2010).

Les résultats portent sur l'activité de l'année 2010 :

- activité des entrepôts et des plates-formes d'entrepôtage ;
- caractéristiques physiques et fonctionnelles des entrepôts ;
- intermodalité et mouvements de véhicules.

Mis à jour le 09.07.2012

[Haut de page](#)

Figure 5: Site ministère de la transition écologique et solidaire

De ces tableaux, on peut extraire les principales surfaces de bâtiments logistiques.

	Ensemble
Ensemble	57 190
Moins de 10 000 m ²	9 913
De 10 000 à moins de 20 000 m ²	12 329
De 20 000 à moins de 35 000 m ²	12 786
35 000 m ² et plus	22 162
Non frigorifiques	45 542
Frigorifiques	11 648
IAA (yc agriculture)	2 388
Industrie	10 147
Commerce	14 831
Transports et entreposage (yc conditionnement)	27 925
Autres services	1 899

Tableau 2: Surface des entrepôts selon type de stockage

Dans le volet BATINDUS 1, deux bâtiments logistiques standards (non frigorifiques) ont été traités :

- Un entrepôt automatisé de grande hauteur conditionné en température et ventilé ;
- Un entrepôt de stockage maintenu hors gel en hiver.

Nous proposons de nous concentrer sur des cas de bâtiments frigorifiques, non traités pour le moment.

	en milliers de m ²				en %		
	Ensemble	Température			Température		
		Positive	Négativ	Mixte*	Positive	Négativ	Mixte*
Ensemble	11 648	6 501	1 026	4 120	56	9	35
Moins de 10 000 m ²	2 551	1 399	412	740	55	16	29
De 10 000 à moins de 20 000 m ²	2 613	1 527	324	763	58	12	29
De 20 000 à moins de 35 000 m ²	2 642	1 655	109	878	63	4	33
35 000 m ² et plus	3 841	1 920	182	1 739	50	5	45
IAA (yc agriculture)	925	438	299	187	47	32	20
Industrie	931	867	0	64	93	0	7
Commerce	4 337	2 197	99	2 041	51	2	47
Transports et entreposage (yc conditionnement)	4 943	2 591	628	1 724	52	13	35
Autres services	512	408	0	104	80	0	20

Tableau 3: Répartition de la surface des entrepôts frigorifiques

*Température mixte : à la fois positive et négative

Ce tableau des surfaces d'entrepôts frigorifiques (tableau 3) montre deux grands types d'entrepôts : ceux à température positive et ceux à température négative.

Les entrepôts à température positive (inférieure à 12°C et supérieure à 0°C) et négative (inférieure à 0°C) nécessitent une production de froid et une isolation des parois pour être maintenus aux températures de consigne. Ces bâtiments impliquent une consommation d'énergie liée au conditionnement d'ambiance conséquente, en plus des autres utilités. Les bâtiments mixtes sont des ensembles d'ateliers à température négative ou positive dans un même bâtiment avec en général des productions de froid dédiées par zone d'activité.

2.3.2. Critère de choix des bâtiments types logistiques

Il est proposé de traiter les bâtiments logistiques de type :

- Froid positif pour sa surface et son poids énergétique probable,
- Froid négatif pour sa surface et son poids énergétique probable.

2.4. Bâtiments industriels

Pour l'industrie, la bibliographie permettant de catégoriser les typologies de bâtiment par leur superficie ou leur consommation d'énergie est moins riche.

Le choix a été fait de s'appuyer sur l'expérience transverse des différents sous-secteurs industriels du CETIAT et sur l'étude "Ateliers types" réalisée en 2014 pour l'ADEME et qui a permis de recenser les différentes typologies d'ateliers industriels existants, permettant d'obtenir un certain nombre de données chiffrées sur le parc français industriel.

2.4.1. Analyse du secteur

Lors de l'étude "Ateliers types", un recensement de 170 ateliers types a été réalisé dans différents secteurs industriels. Sur ces 170 ateliers, des points communs ont été identifiés et l'étude d'une dizaine d'ateliers types a permis couvrir la majorité des situations. Dans BATINDUS 1, les cas industriels ont été proposés sur la base de cette analyse. Il est suggéré de poursuivre cette démarche pour BATINDUS 2.

La particularité du secteur industriel est que, pour une même typologie de bâtiments, l'usage qui en est fait peut-être très varié. Les consommations d'énergie sur la durée de vie d'exploitation seront en effet très impactées par les scénarios d'usage et les typologies des procédés thermiques abrités. Il est donc très important dans le choix des bâtiments types du secteur industriel de qualifier précisément l'usage du bâtiment et les procédés de fabrication qui y seront logés, notamment pour établir et qualifier les charges thermiques dégagées dans le bâtiment.

Pour rappel, le tableau ci-dessous présente les 10 ateliers types retenus dans l'étude Ateliers Types et les correspondances avec les bâtiments sélectionnés pour le projet BATINDUS. Ces ateliers types peuvent être déclinés pour différentes situations (scénarios



d'activité et de charges thermiques par exemple) afin de mieux représenter le panel des bâtiments industriels français.

Atelier-type n°	Principales caractéristiques de l'atelier	Cas Type dans BATINDUS
1	Atelier chauffé Conditionnement confort ; hauteur entre 4 et 10 m ; machines/procédés ; faiblement exothermique ; électricité et gaz	Bat n° 1 - Usine de fabrication mécanique
2	Atelier contrôlé en température avec procédés Conditionnement confort et procédés (chaud et froid) ; présence de polluants	Bat n° 13 - Brûlerie (fabrication de cafés)
3	Atelier avec procédés contrôlés en température et hygrométrie Machines électriques ; présence de polluants ; conditionnement procédé complet (température et hygrométrie)	
4	Atelier avec procédés fortement exothermiques sans polluants Conditionnement confort chaud uniquement ; absence de polluant	BAt. n°10 - Usine de fabrication de tissu
5	Atelier avec procédés électriques exothermiques Conditionnement confort ; présence de polluants, exothermique électrique	BAt. n°11 - Usine de produits de construction préfabriqués en béton
6	Atelier avec procédés fortement exothermiques (four) et de grande hauteur (supérieure à 10 m) Présence de polluants	Bat. n°6 - Usine de plasturgie
7	Atelier avec procédés fortement exothermiques (séchage, bain) Conditionnement confort ; présence de polluants	Bat. n°15 - Usine agroalimentaire de produits culinaires
8	Atelier avec procédés et conditionnement froid positif Présence de polluants (bactéries)	Bat. n° 5 - Usine agroalimentaire (abattoir)
9	Atelier de stockage froid positif Conditionnement froid procédés uniquement	Bat. n° 8 - Entrepôt frigorifique (froid positif)
10	Atelier de stockage Conditionnement confort chaud uniquement ; grande hauteur ; grande surface	Bat. n° 2 - Entrepôt de stockage de grande hauteur

Tableau 4: Atelier types retenus dans l'étude ADEME de 2014 [6]

2.4.2. Critères de choix des bâtiments types industrie

- Type de conditionnement de bâtiment
- Type de procédé hébergé

Compte tenu des éléments ci-dessus, des orientations ont été proposées par le CETIAT pour la recherche des cas d'études (cf. annexe 1).

2.5. Détermination du nombre de bâtiments pour chaque secteur

2.5.1. Généralités

Toute la démarche précédente a consisté à définir la méthodologie permettant d'identifier les typologies de bâtiment les plus intéressantes à étudier. Nous définissons dans ce paragraphe la méthodologie permettant de répartir pour chacun des 3 secteurs (agricole, production industrielle, logistique) le nombre de bâtiments à allouer.

Est utilisé pour ce faire le croisement de deux données macroscopiques connues et déjà identifiées par la veille bibliographique :

- Les surfaces construites

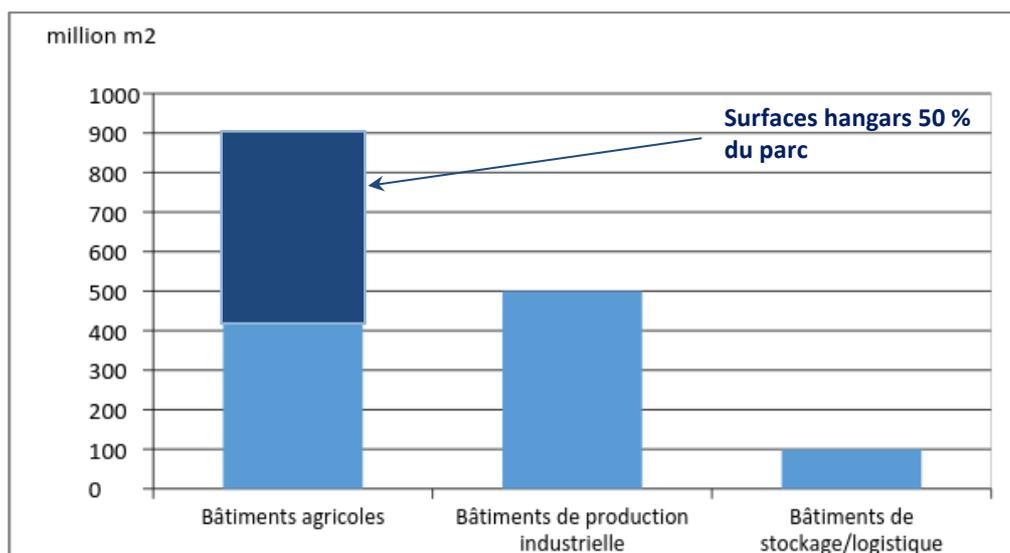


Figure 6 : Répartition des surfaces par secteur d'activité [7]

- Les données énergétiques (consommation totale, y compris les activités de production)

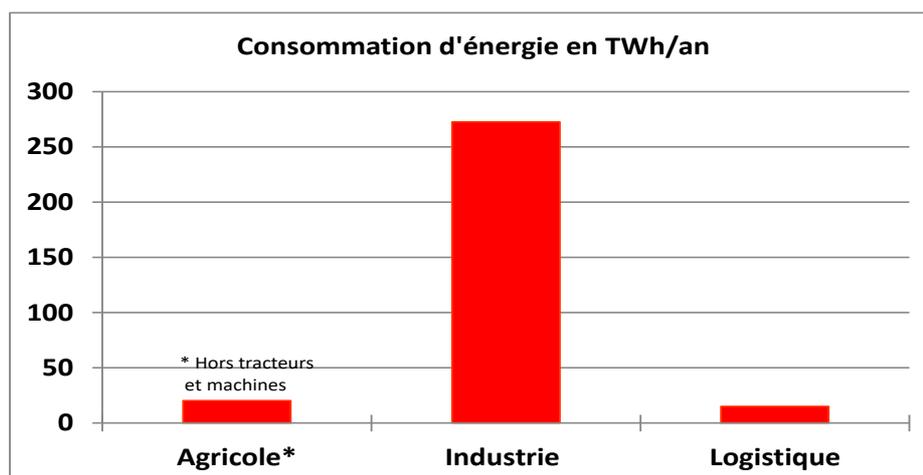


Figure 7 : Répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité exprimé en TWh/an [8]

Secteur	Consommation d'énergie	Surface Mm ²	Sous-secteur	Consommation d'énergie		Surface	
	TWh			TWh	%	Mm ²	%
Agricole* * Hors tracteurs et engins	20.4	900.0	Hangars	0.0	0%	450	50%
			Autres bâtiments	7.8	38%	149	17%
			Elevages	7.3	36%	229	25%
			Serres	5.2	26%	72	8%
Industrie	272.6	500.0	Chimie	79.1	29%	20	4%
			IAA	49.1	18%	60	12%
			Autres industries	144.5	53%	420	84%
Logistique	15.0	100.0	Frigorifique	10.0	67%	25.0	25%
			Non-frigorifique	5.3	35%	75.0	75%

Tableau 5: récapitulatif surfaces et consommations par secteur

Ces données conduisent aux constats suivants :

- Le secteur agricole représente la plus grande part de surfaces construites avec un poids énergétique plutôt faible. À noter que les hangars (abris) sont estimés à 50 % du parc des bâtiments agricoles,



la consommation énergétique de ces bâtiments lors de leur usage est nulle :

- Beaucoup de surfaces bâtiments mais peu de consommation d'usage,
 - Consommation spécifique moyennée 22,7 kWh/an.m² (procédés + bâtiments),
- Le secteur logistique représente peu de surface avec un poids énergétique faible. Ce secteur est plutôt en développement :
- Le poids énergétique total du secteur de la logistique est le plus faible des trois secteurs étudiés,
 - Consommation spécifique moyennée 150 kWh/an.m² (procédés + bâtiments),
- Le secteur industrie représente des quantités construites conséquentes en surface avec une consommation d'énergie associée très importante :
- Le secteur se caractérise par une consommation énergétique liée aux procédés (production manufacturière),
 - Consommation spécifique moyennée 545 kWh/an.m² (procédés + bâtiments).

2.5.2. Détermination quantitative du nombre de bâtiments par secteurs étudiés

A partir des données ci-dessus pour chaque secteur une moyenne (en pourcentage) de la représentativité est établie.

Au total 21 cas de bâtiments seront étudiés et la répartition moyenne issue du tableau précédent nous conduit à la répartition suivante des 21 bâtiments :

Secteur	Surface		Consommation d'énergie		moyenne (% surface + %énergie)	Nombre de bâtiments par secteur
	millions m ²	% surface du parc	MTEP/An	% conso du parc		
Agricole	900	60%	4,5	15%	38%	7,9
Industrie	500	33%	23,5	80%	57%	11,9
Logistique	100	7%	1,3	4%	6%	1,2
Total	1500	100%	29,3	100%	100%	21,0

Tableau 6: nombre de bâtiments par secteur

2.5.3. Ajustement qualitatif du nombre de bâtiment par secteur

Sur la base des résultats obtenus (tableau 6), un ajustement du nombre de bâtiments par secteur est réalisé en fonction des critères décrits ci-après. Le résultat de cet ajustement est présenté dans le tableau 7.

Le nombre de bâtiments industriels est revu à la baisse de 11,9 à 10, compte tenu du fait que la consommation d'énergie du secteur est essentiellement portée par les procédés ce qui tend à surcoter notre pondération du secteur.

Le nombre de bâtiments logistiques est revue à la hausse de 1,2 à 5 compte tenu du fait que la part de la consommation d'énergie pour exploiter le bâtiment pendant sa durée de vie (conditionnement : chauffage climatisation et éclairage) est largement prépondérante sur ce secteur (peu de consommation des procédés).

Le nombre de bâtiments agricoles est diminué de 7,9 à 6 compte tenu de la part importante de surface non chauffée de type hangar.

Secteur	Batiment étudiés BATINDUS1	Répartition BATINDUS 2	Total
Agricole	1	5,0	6,0
Industrie	3	7,0	10,0
Logistique	2	3,0	5,0
Total	6,0	15,0	21,0

Tableau 7: répartition du nombre de bâtiments par secteur

2.5.4. Utilisation de la Matrice en 3 grilles

Le volet 1 du projet a permis d'élaborer une matrice représentative et pratique permettant de classer les bâtiments industriels. Le modèle de grille, commun à chaque destination visée, décrit les typologies de bâtiments à caractère industriel.

La recherche des bâtiments s'est donc faite en essayant au maximum de compléter ces grilles afin de couvrir les différents types de matériaux, les différentes dimensions et les scénarios d'usage retenus (cf. Figures 8, 9 et 10) tout en ayant le souhait d'étudier des bâtiments réels afin de coller au mieux aux caractéristiques du parc existant. Concernant le secteur industrie, il a été fait le choix de réunir sous un même scénario d'usage les bâtiments climatisés (chauffés en hiver, rafraîchis en été) et les bâtiments conditionnés en froid (froid positif et froid négatif : leur point commun étant la production de froid plus ou moins marqué en fonction des consignes de température souhaitée à l'aide de machines thermodynamiques).

Bâtiments agricoles														
Géométrie	Surface	Moins de 500 m ²			De 500 à 999 m ²			De 1 000 à 1 999 m ²			2 000 m ² et plus			
Bâti	Matériau de structure	Acier	Bois	Béton	Acier	Bois	Béton	Acier	Bois	Béton	Acier	Bois	Béton	
Scénarios d'usage	Eclairage seul (non chauffé)								18			3		
	Hors gel			21										
	Chauffé							19			20		17	
Part de marché (BATINDUS 1_phase1)		27%			28%			23%			22%			

Figure 8: Vue de la matrice « agricole »

Bâtiments de production industrielle (+/- bureaux accolés)																	
Géométrie	Surface	Moins de 1 000 m ²						De 1 000 à 5 000 m ²						5 000 m ² et plus			
Bâti	Matériau de structure	Acier		Bois		Béton		Acier		Bois		Béton		Acier	Bois	Béton	
Scénarios d'usage	Energie de chauffage : Fossiles / Elec	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E
	Eclairage seul (non chauffé)																
	Hors gel																
	Chauffé							10/15		13				1		16	
	Climatisé, froid positif, froid négatif											5		12			6/14
Part de marché (BATINDUS 1_phase1)		25%						39%						36%			

Figure 9: Vue de la matrice « industriel »



Bâtiments de stockage/logistique																										
Géométrie	Surface	Moins de 2 000 m ²						De 2 000 à 4 999 m ²						De 5 000 à 9 999 m ²						Plus de 10 000 m ²						
		Acier		Bois		Béton		Acier		Bois		Béton		Acier		Bois		Béton		Acier		Bois		Béton		
Bâti	Matériau de structure	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non	
Energie	Isolation																									
	Energie de chauffage : Fossiles / Elec	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	F	E	
Scénarios d'usage	Eclairage seul (non chauffé)																									
	Hors gel																									
	Chauffé																									
Climatisé, froid positif, froid négatif																				2					4	7
Part de marché (BATINDUS 1_phase1)		37%						16%						22%						25%						

Figure 10: Vue de la matrice « stockage-logistique »

Remarque : nous pouvons observer que les bâtiments types choisis dans l'étude remplissent globalement, de manière homogène, les critères des matrices. À noter que le bâtiment hangar a été affecté au critère "Hors gel". Nous remarquons la sous représentativité des bâtiments de petites dimensions pour la logistique, ce secteur construisant dans la pratique des unités logistiques de grandes surfaces.

3. Présentation des cas d'étude

Sur les 21 cas d'études du projet, le **tableau 8** reprend la répartition définie par rapport au système constructif principal (9 bâtiments à structure acier, 7 bâtiments à structure béton et 5 bâtiments à structure bois) croisée avec la destination des bâtiments (10 bâtiments de production industrielle, 6 bâtiments agricoles, 5 bâtiments de stockage/logistique). Cette répartition par rapport au système constructif principal est liée aux parts de marché représentées par chaque matériau dans le secteur des bâtiments industriels au sens large, tel que démontré dans le premier volet de l'étude.

	Structure principale acier (9)	Structure principale béton (7)	Structure principale bois (5)
Bâtiment de stockage et logistique (5)	Entrepôt de grande hauteur (bât. 2)	Entrepôt de picking et d'emballage (bât. 7)	Entrepôt de stockage (bât. 4)
	Entrepôt frigorifique (froid positif) (bât. 8)	Entrepôt frigorifique (froid négatif) (bât. 9)	
Bâtiment industriel (10)	Usine de fabrication mécanique (bât. 1)	Usine agroalimentaire (abattoir) (bât. 5)	Brûlerie (fabrication de cafés) (bât. 13)
	Usine de fabrication de tissu (bât. 10)	Usine de plasturgie (bât. 6)	Usine d'embouteillage (bât. 16)
	Usine agroalimentaire de charcuterie (bât. 12)	Usine de produits de construction préfabriqués en béton (bât. 11)	
	Usine agroalimentaire de produits culinaires (bât. 15)	Usine agroalimentaire de plats surgelés (bât. 14)	
Bâtiment agricole (6)	Bâtiment d'élevage avicole (bât. 19)	Maternité porcine (bât. 17)	Bâtiment d'élevage de bovins (bât. 3)
	Serre de culture de tomates (bât. 20)		Bergerie (élevage d'ovins) (bât. 18)
	Hangar agricole avec panneaux PV (bât. 21)		

Tableau 8: 21 cas d'études

Les descriptions détaillées et scénarios d'usages pour chaque bâtiment sont présentés dans l'annexe.

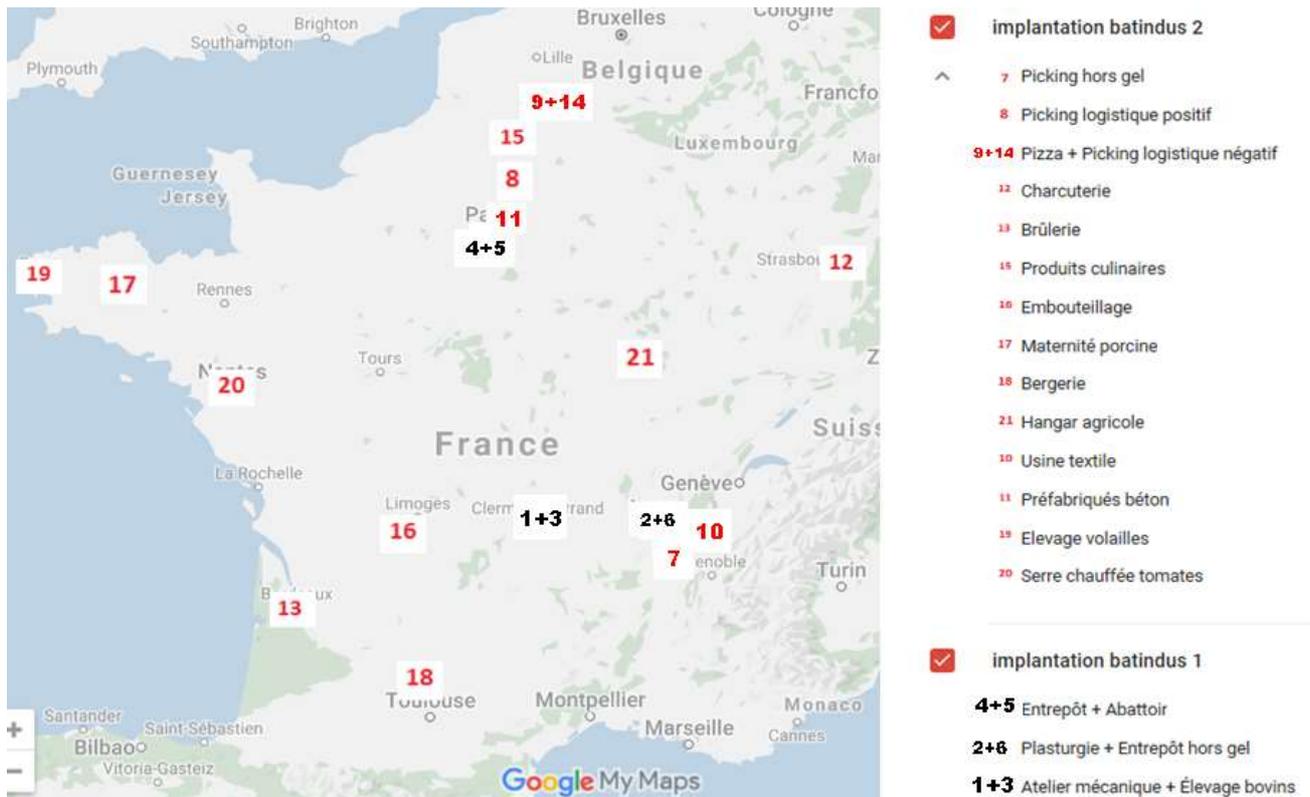


Figure 11: Implantation géographique des bâtiments

4. Présentation des 15 cas d'étude de Batindus 2

4.1. Bâtiments de stockage et logistique

4.1.1. Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Lyon (Isère, 38)

Fichier météo : Lyon

Caractéristiques générales du bâtiment

Avec une emprise au sol de 28 348 m² et une hauteur sous plafond de 12 m, cet entrepôt sert à l'entreposage et au reconditionnement de biens alimentaires.

Les activités de ce site logistique sont :

- Entreposage de produits destinés à l'expédition --> Non-consommateur d'énergie,
- Conditionnement : "co-packing" qui consiste au remballage de produits en lots --> Consommation d'énergie électrique,
- Manutention --> Consommation d'énergie électrique.

Cet entrepôt logistique est un bâtiment composé d'une ossature en béton et isolé avec des panneaux sandwich métalliques garnis de laine de roche.

La température est conditionnée entre 14 et 18°C. L'essentiel des consommations d'énergie du bâtiment est lié à ce conditionnement. Toutes les consommations d'énergie sont assurées par le réseau d'électricité. Aucune consommation d'eau du personnel n'a été considérée ici.

Le bâtiment fonctionne en 3*8h. Le nombre d'employés est de 100 personnes, en moyenne sur l'année soit 50 personnes en simultané sur une période de 8 heures de travail.



Le TRA (Taux de Renouvellement d'Air) général du bâtiment est estimé à 0,1 vol/h. On estime que le brassage d'air à l'intérieur du bâtiment est de 1 vol/h. Ce brassage est nécessaire pour éviter la stratification en température. Le conditionnement en température $14^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$ est maintenu par des systèmes de chauffage l'hiver et de climatisation l'été (si nécessaire).

Plans et illustrations



Figure 12: Photo de la façade du bâtiment n°7

4.1.2. Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Compiègne (Oise, 60)

Fichier météo : Paris

Caractéristiques générales du bâtiment

Le site étudié est composé de 2 bâtiments : un entrepôt frigorifique (zones stockage, process et technique) et un bâtiment de bureau (en rouge dans la figure 13). L'entrepôt frigorifique à froid positif est un bâtiment à structure acier de 9 048 m² de surface au sol et de 10,4 m de hauteur. Le bâtiment de bureau a une surface au sol de 636 m² et une hauteur de 4,5 m.

Le site est découpé en 4 zones pour l'étude énergétique :

- Zone stockage : conditionnée à 2°C ; activités de réception et manutention ; 3 508 m²,
- Zone process : conditionnée à 2°C ; activités emballage, manutention et expédition ; 4 937 m²,
- Zone technique : conditionnée à 12,5°C ; production de froid, transformation ; 663 m²,
- Zone tempérée : conditionnée à 19°C ; vestiaires, réfectoire, bureau au niveau +1 ; 1 120 m².

Pour des raisons de collecte de données, seul l'entrepôt frigorifique est étudié dans l'étude environnementale.

L'ensemble des lieux de stockage et de transformation des marchandises est conditionné en température afin de respecter la chaîne du froid et éviter la dégradation des denrées à expédier.

L'entrepôt est composé pour sa partie fondation de pieux en béton allant jusqu'à 18 m de profondeur, d'un dallage béton sur terre-plein, d'une ossature en acier de type portique, de panneaux sandwich en polyuréthane (60 ou 100 mm selon les parois) en façade, d'un mur coupe feu, ainsi que d'un complexe « support d'étanchéité + isolant laine de roche 160 mm + étanchéité bitumineuse » en toiture.

Le travail s'effectue en 2*8h, 5 jours par semaine de 5h du matin à 22h le soir et une journée de 8 heures le samedi de 7h à 15h. L'effectif total est de 152 personnes, soit 76 personnes en simultané sur une période de 8 heures de travail. Le total d'heures sur l'année est donc de 3 816 h/ an.

Plans et illustrations

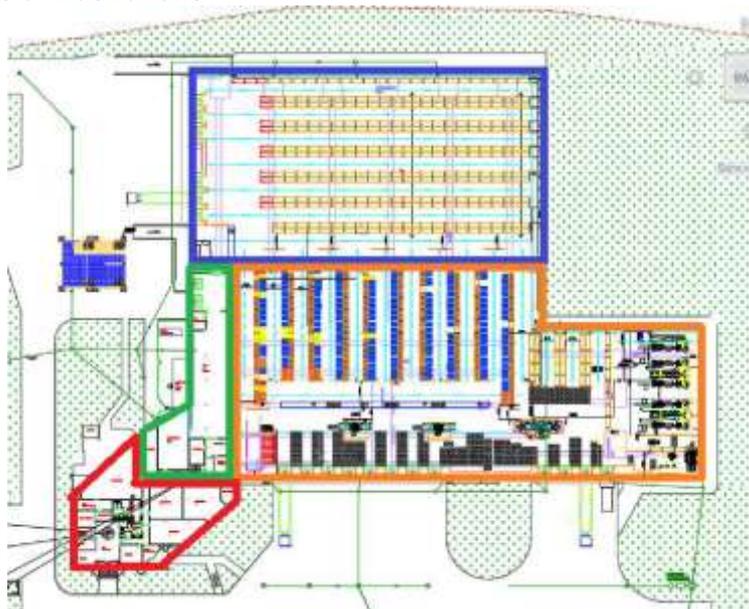


Figure 13: Plan de masse du bâtiment n°8

4.1.3. Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Cambrai (Nord, 59)

Fichier météo : Paris

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment étudié est une extrapolation des résultats d'un entrepôt de 383 m² pour concevoir un bâtiment logistique de froid négatif représentatif du parc français. La surface au sol du bâtiment théorique étudié est de 3 830 m².

Les activités exercées dans le bâtiment sont :

- Réception et expédition de marchandises alimentaires surgelées,
- Manutention.

La zone de stockage est conditionnée à -20°C toute l'année. La zone de chargement n'est pas conditionnée et sert de tampon entre l'entrepôt et l'extérieur. Le sol des deux zones est maintenu hors gel au moyen de résistances électriques incorporées dans la dalle.

La structure du bâtiment est en béton avec une isolation par panneaux sandwich en polyuréthane.

L'impact énergétique est principalement porté par le conditionnement. Les consommations d'énergie sont assurées par le réseau d'électricité, excepté pour le chauffage qui est réalisé avec du gaz naturel.

Aucune consommation d'eau du personnel n'a été considérée ici.

Pour des raisons de collecte de données, seul l'entrepôt frigorifique est étudié dans l'étude environnementale.

Le travail s'effectue en 3*8h, 5 jours par semaine soit environ 6 000 heures/an pour la zone stockage et le sas.

Pour la zone bureaux, on estime le temps de travail à environ 2 000 heures/an, avec un fonctionnement en 1/8, 5 jours par semaine.

Plans et illustrations





Figure 14 : Schéma du bâtiment n°9

4.2. Bâtiments industriels

4.2.1. Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)

L'usine de fabrication de tissu étudiée est un bâtiment fictif élaboré à partir d'un bâtiment existant dont le CETIAT a effectué le diagnostic énergétique dans le cadre d'un projet externe à BATINDUS.

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Lyon (Rhône, 69)

Fichier météo : Lyon

Caractéristiques générales du bâtiment

L'usine étudiée a une surface au sol de 4 032 m² et une hauteur moyenne de 7,5 m. Elle est composée de 3 zones thermiques :

- Tissage/stockage (1 920 m²) : 20°C toute l'année chauffage, ventilation et refroidissement, présence de charges thermiques faibles,
- Atelier (raseuses, rames de séchage) (1 752 m²) : pas de conditionnement mais ventilation et charges thermiques de puissance importante mais récurrence rare,
- Teinturerie (360 m²) : pas de conditionnement mais ventilation, charges thermiques importantes (dégagement vapeur, eau chaude) et récurrentes (8h/j).

Le bâtiment est composé de fondations en béton, d'un dallage béton sur terre-plein, et d'une ossature en acier de type portique. La façade et la toiture sont composées de panneaux sandwich en polyuréthane.

Il est constitué de 4 nefs de 16 m de largeur : deux de 48 m de long, et deux autres de 78 m de long.

L'usine fonctionne en 1 x 8h avec arrêt le weekend, 245 jours/an (les métiers à tisser fonctionnent en automatique, donc également la nuit).

Plans et illustrations

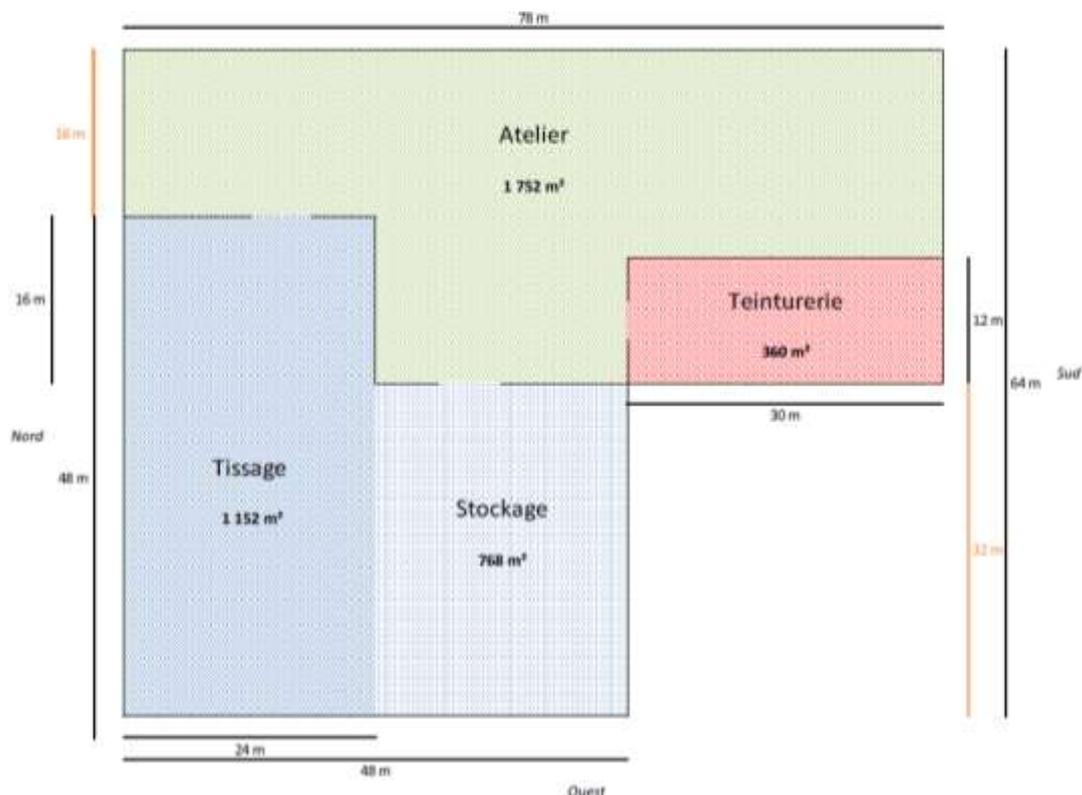


Figure 15 : Schéma des zones thermiques pour le bâtiment n°10

4.2.2. Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Dreux (Eure-et-Loir, 28)
Fichier météo : Paris

Caractéristiques générales du bâtiment

L'usine de préfabrication des produits en béton est un bâtiment composé d'une ossature en béton, d'une façade en béton en partie basse et d'une isolation en panneau sandwich en polyuréthane en partie haute de façade.

La spécificité de la zone de production est la fabrication d'éléments en béton dont la prise est une réaction exothermique. Cela permet de consommer moins d'énergie pour la production et le chauffage. La puissance des charges internes est de 479,6 kW pendant 16 heures par jour, hors week-end. Toutes les consommations d'énergie sont assurées par le réseau d'électricité.

Aucune consommation d'eau du personnel n'a été considérée ici.

Le bâtiment n'étant pas encore existant, on estime la future consommation de ce dernier à partir des usines existantes du même groupe qui ont une activité similaire et de la production annuelle attendue sur le nouveau site. Cette énergie, 2,37 GWh / an, est de l'énergie électrique uniquement.

Elle répond aux besoins d'énergie du procédé de fabrication et n'intègre pas les pôles de consommation "bâtiment" (ex : chauffage, éclairage ...).

L'usine fonctionne en 2 x 8h avec arrêt de week-end. Cela représente donc 3 840 heures de fonctionnement dans l'année.

Les temps de fonctionnement des divers systèmes de conditionnement en température, d'éclairage et de process seront donc calés sur cette valeur de temps.



Plans et illustrations

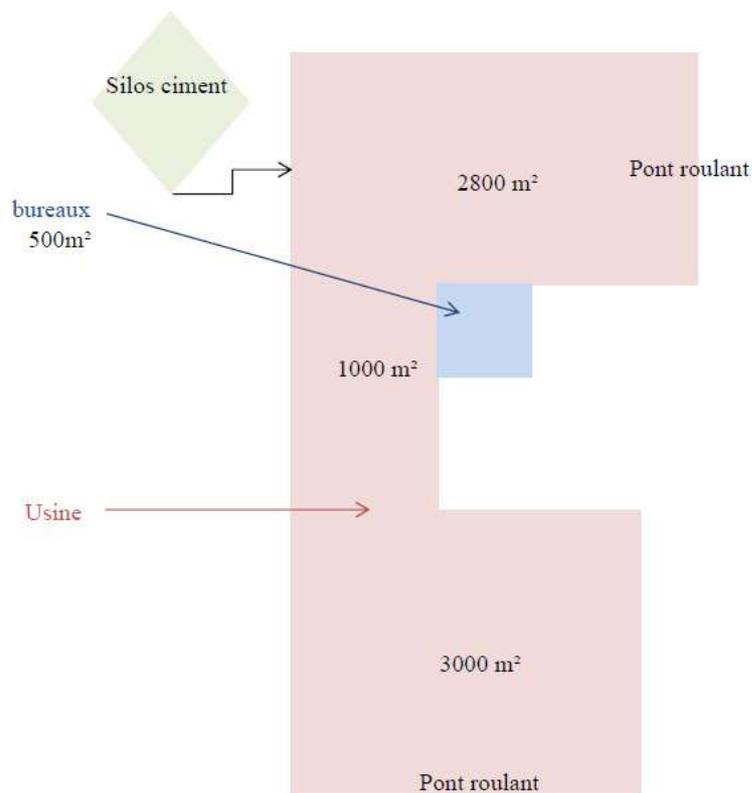


Figure 16: Plan de masse du bâtiment N°11

4.2.3. Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Strasbourg (Bas-Rhin, 67)

Fichier météo : Strasbourg

Caractéristiques générales du bâtiment

L'usine agroalimentaire étudiée a une surface au sol de 14 533 m² et une SHON de 18 221 m². Elle possède 3 niveaux (+0 m / +3,4 m / +6,9 m) avec des surfaces variables. Le bâtiment a une hauteur au faîtage de 11 m.

Le bâtiment est étudié en considérant 4 zones thermiques :

- Zone tempérée : 10, 15 ou 20°C (en jaune),
- Zone froid négatif : -2°C, -7°C ou -18°C (en bleu),
- Zone process : 9°C (en rouge),
- Zone froid positif (frigo) : 1°C (en vert).

Le bâtiment est composé pour sa partie fondation de pieux en béton allant jusqu'à 16 m de profondeur, d'une isolation sous-dallage en polystyrène expansé, d'un dallage béton sur vide sanitaire, d'une ossature en acier constituée d'un mix de portiques/fermes/poteaux, de panneaux sandwich en polyuréthane en façade, ainsi que d'un complexe « support d'étanchéité- isolant laine de roche- étanchéité multicouche bitumineuse » en toiture. Les planchers intermédiaires sont composés de bac acier et de dalle en béton. Le cloisonnement intérieur est principalement composé de panneaux sandwich en polyuréthane.

Le site est en activité 24h/24, 365 jours/an. Selon les jours et périodes de la journée, le nombre d'opérateur en activité varient entre 30 et 132 personnes. Le conditionnement des locaux est réalisé avec des installations de climatisation et des groupes froids. L'ensemble des lieux de stockage et de transformation des marchandises sont conditionnés en température afin de respecter la chaîne du froid et éviter la dégradation des denrées à expédier.

Pour des raisons de données collectées, l'étude environnementale ne prend pas en compte la zone des bureaux.

Plans et illustrations



Figure 17 : Façades du bâtiment n°11



Figure 18 : Plan de masse du bâtiment n°11

4.2.4. Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Bordeaux (Gironde, 33)

Fichier météo : Bordeaux

Caractéristiques générales du bâtiment

La brûlerie étudiée a une surface au sol de 2 024 m², et une hauteur au faîtage de 9,62 m.

Le bâtiment est découpé en 3 zones pour l'étude énergétique :

- Zone atelier : 1 663 m²,
- Zone stockage : 167,5 m²,
- Zone bureau : 386 m² (sur 2 niveaux : 193 x 2).

La structure principale du bâtiment est en bois lamellé-collé. La façade est composée d'un bardage acier simple peau, et la toiture est composée d'une couverture acier simple peau.

Caractéristiques énergétiques

- Activité : Agroalimentaire, torréfaction de café, 142 tonnes/an
- Mode de production : 1 x 8 h
- Energies utilisées : Electricité + gaz

Le bâtiment est conditionné par zone :

- Zone bureaux : 22 °C en hiver 26 °C max en été, chauffage en hiver et climatisation en été par splits réversibles.
- Zone atelier : 20 °C en hiver chauffage par aérothermes doublés de déstratificateurs en été pas de climatisation.

Plans et illustrations



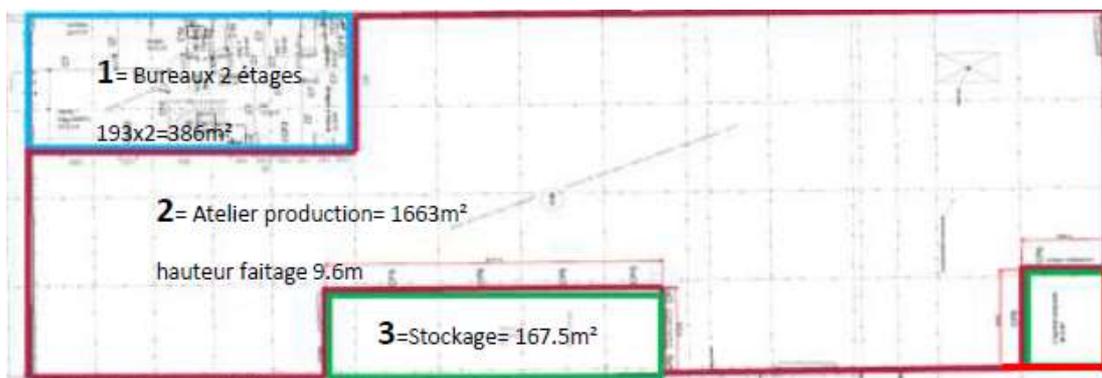


Figure 19 : Plan général du bâtiment n°13

4.2.5. Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Cambrai (Nord, 59)

Fichier météo : Paris

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment de production de plats cuisinés surgelés est divisé en plusieurs zones d'activités et de conditionnement. Seules cinq de ces zones ont été étudiées :

- Une zone de boulangerie (préparation des pâtes),
- Une de cuisson (présence de fours tunnels en continu),
- Une zone de garnissage utilisant des produits frais,
- Une zone de conditionnement,
- Une zone de stockage à froid négatif.

Le poste de production de froid est largement majoritaire. Cependant, la consommation de gaz pour le fonctionnement des fours est également importante. Les consommations d'énergie sont assurées par le réseau d'électricité, sauf pour le chauffage assuré par le gaz naturel. Aucune consommation d'eau du personnel n'a été considérée ici.

Le nombre de salariés dans l'usine est de 190 pour un fonctionnement en 3 x 8h et 5 jours/semaine soit 6 000 h/an de production environ.

Les caractéristiques thermiques et aérauliques de chaque zone sont indiquées ci-après :

Zones Thermiques	Surface au sol (m²)	Hauteur moyenne (m)	Conditionnement			Charge thermique éclairage (kW)		Charge thermique CTA (W)		Procédés (kW)		
			Ventilation	Air neuf (vol/h)	Température (°C)	WE	Production	WE	Production	WE	Production	
1	Boulangerie	1 100	6.1	CTA	1.0	18	6	6	4.3	4.3	20	100
2	Fours	680	6.1	Extraction par les fours	0.8	Subie (non chauffée)	4	4	2.7	2.7	0	379
3	Garnissage	1 810	4.0	CTA	1.0	10	9	9	7.1	7.1	0	139
4	Conditionnement	1 980	5.4	CTA	1.0	10	10	10	7.8	7.8	0	191
5	Stockage -20 °C	480	7.2	Sans	0.1	-20	3	3	1.9	1.9	5	5
Total	Usine	6 050	5.3									

Figure 20 : spécificités de conditionnement et charges thermiques par zones

Plans et illustrations

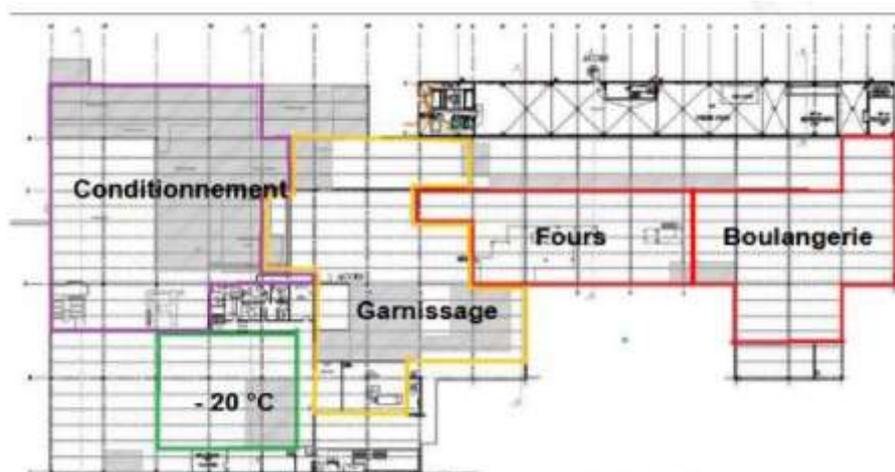


Figure 21 : Schéma des zones étudiées pour le bâtiment n°14

4.2.6. Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Amiens (Somme, 80)

Fichier météo : Paris

Caractéristiques générales du bâtiment

Le périmètre étudié sur le site a une surface au sol de 19 332 m² et une hauteur moyenne de 8,25 m. Il est composé de 4 zones thermiques :

- Zone Fabrication (5 314 m²) : conditionnée à 20°C si nécessaire ($T > \text{ou} = \text{à } 20^\circ\text{C}$ dans tous les cas, pas de climatisation),
- Zone Conditionnement (6 471 m²) : conditionnée à 20°C si nécessaire ($T > 20^\circ\text{C}$ dans tous les cas, pas de climatisation),
- Zone Stockage produits finis (7 548 m²) : pas de conditionnement,
- Zone Sous-sol Fabrication (5 314 m²) : la salle électrique est climatisée à 20°C pour éviter les surchauffes, pas de conditionnement sur le reste de la zone.

La zone Fabrication possède un sous-sol de 2 m de haut. Les zones Conditionnement et Stockage produits finis sont sur terre-plein.

Le bâtiment est composé de fondations en béton, d'une infrastructure poteau-poutre en béton dans le sous-sol, d'un dallage béton, et d'une ossature en acier de type portique et panne pour la superstructure. Les façades sont composées d'une paroi en brique creuse en terre cuite. Celles de la zone Fabrication sont complétées en plus de panneaux sandwich en polyuréthane (de part et d'autre de la paroi en brique). La couverture de la zone Fabrication est composée d'un complexe « panneaux sandwich en polyuréthane/panneau isolant en perlite expansée/membrane en PVC ». La couverture des zones Conditionnement et Stockage produits finis est composée d'un complexe « support d'étanchéité en acier/couche d'isolant en laine de roche/ étanchéité multicouche bitumineuse ». Le cloisonnement intérieur est réalisé soit en brique creuse, en panneau sandwich ou en blocs béton.

Le site est en activité 6 jours/7, avec :

- Zone Fabrication : 42 employés sur 24h, soit 14 employés par tranche de 8h (3 x 8h),
- Zone Conditionnement : 51 employés sur 24h, soit 17 employés par tranche de 8h (3 x 8h),
- Zone Stockage produits finis : 9 employés sur 1 x 8h.

Une chaudière biomasse produit 550 tonnes de vapeur / jour sur le site pour les usages process et chauffage du bâtiment.

Plans et illustrations



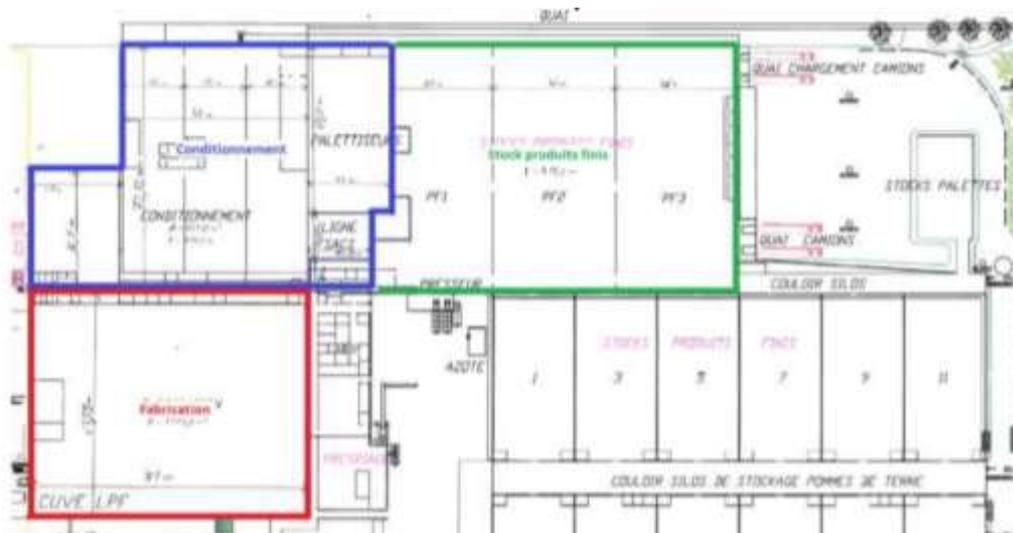


Figure 22 : Plan de masse du bâtiment n°15

4.2.7. Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Limoges (Haute-Vienne, 87)

Fichier météo : Limoges

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment étudié a une surface au sol de 5 175 m² et une hauteur moyenne de 7,1 m. Il est découpé en 4 zones pour l'étude énergétique :

- Zone atelier : 2 575 m² et de 7,4m de hauteur,
- Zone stockage : 1 930 m² et de 7,4m de hauteur,
- Zone de livraison : 245 m² et de 5,36 m de hauteur,
- Une zone de bureau de 425 m² et de 5,36 m de hauteur.

La structure principale est en bois lamellé-collé. Les parties hautes sont en panneaux sandwichs métalliques.

Caractéristiques énergétiques :

- Activité : agroalimentaire, embouteillage d'eau de source 15 M de litres/an,
- Mode de production : 3 x 8 h,
- Énergies utilisées : Électricité (process, climatisation, éclairage, ventilation et manutention) + gaz (chauffage, ECS, eaux de lavage).

Bureaux et réception, on applique les consignes de température d'ambiance suivantes :

- Déclenchement du chauffage à T < 19°C,
- Déclenchement climatisation à T > 24 °C.

On considère que l'atelier n'est pas climatisé, mais chauffé lorsque la température passe en dessous de 19°C.

Le stockage est maintenu en température en période hivernale à 12 °C.

Plans et illustrations

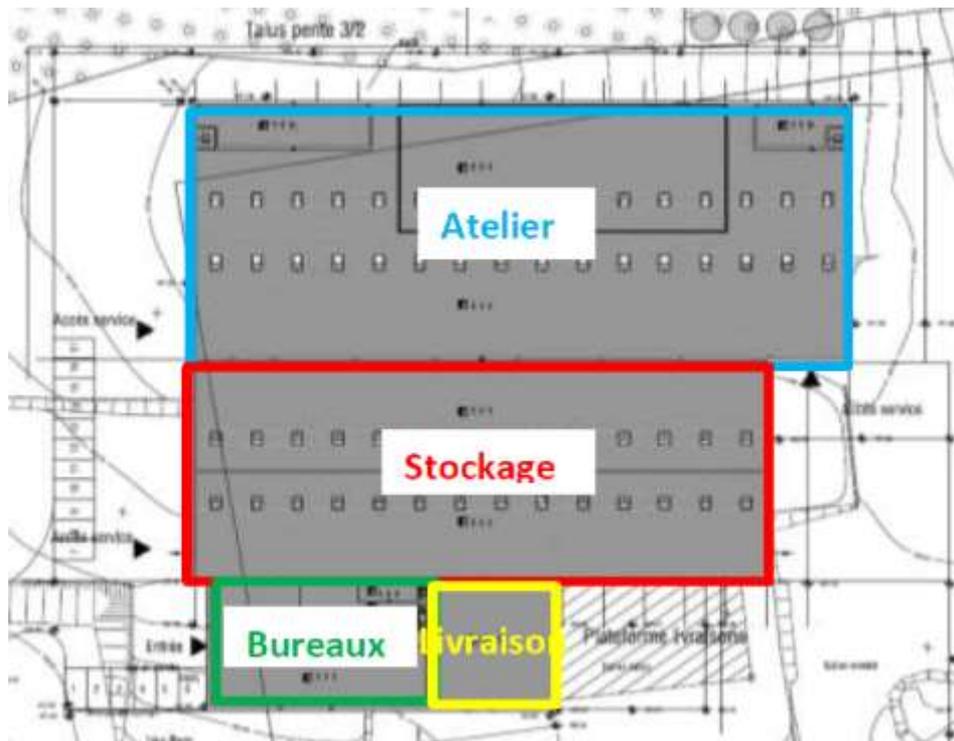


Figure 23: Plan général du bâtiment n°16

4.3. Bâtiments agricoles

4.3.1. Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Saint-Brieuc (Côtes d'Armor, 22)

Fichier météo : Rennes

Caractéristiques générales du bâtiment

Le site d'élevage porcin étudié est construit entièrement en béton, avec une charpente en bois. Les animaux sont élevés sur des caillebotis surmontant une fosse.

Le site d'élevage est divisé en deux bâtiments :

- Une zone de maternité/sevrage (salles gestantes, maternité, post sevrage et couloir), avec chauffage et peu de ventilation pour le confort des nouveaux nés,
- Une zone d'engraissement, sans chauffage mais beaucoup de ventilation pour réguler la température émise par les animaux.

Toutes les consommations d'énergie sont assurées par le réseau d'électricité.

Aucune consommation d'eau du personnel n'a été considérée ici.

Dénomination	Bâtiment	Surface au sol (m2)
couloir		357.1
Salles gestantes	B4	474.6
maternité		233.9
post sevrage		169.6
engraissement	B3	796.0

Tableau 9 : surface des différentes zones

Plans et illustrations



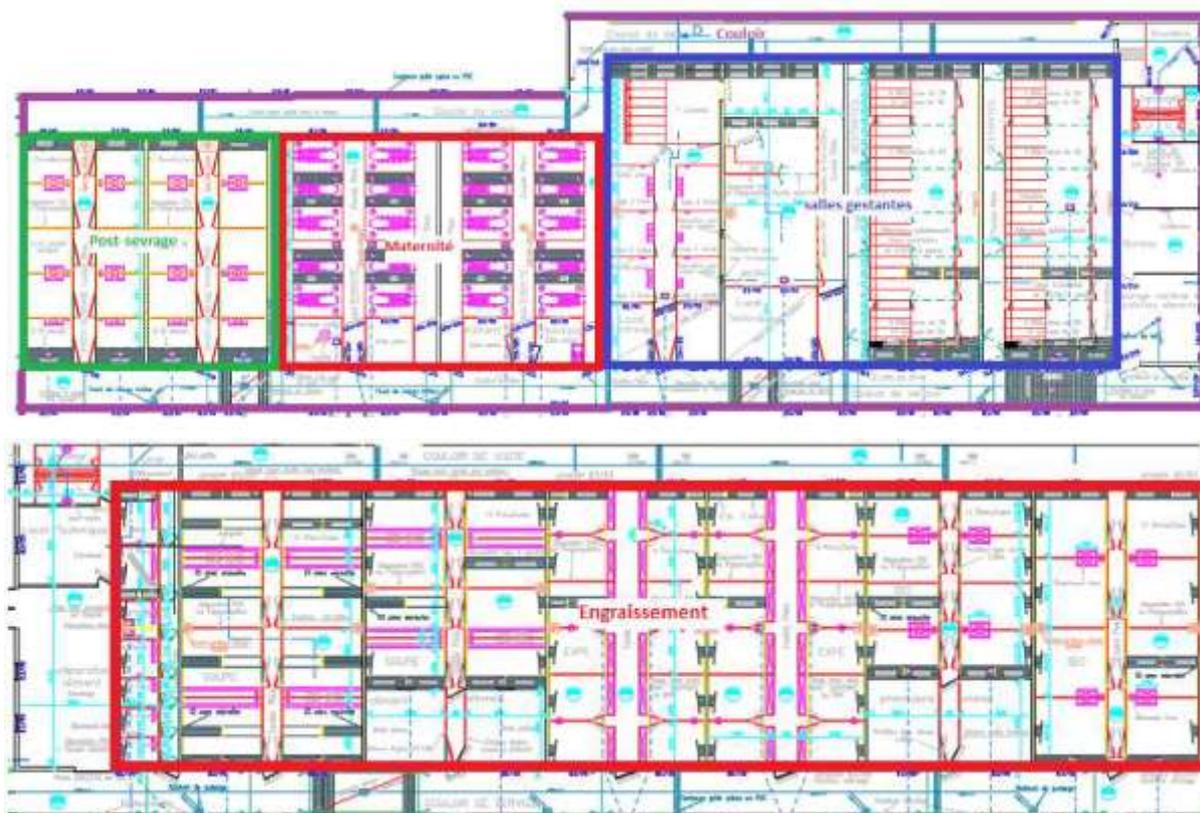


Figure 24: Plan général du bâtiment n°17

4.3.2. Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)

Géographie et météo

Emplacement géographique : Tarn et Garonne (82)

Fichier météo : Néant

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment agricole étudié est une bergerie de 1 151 m² de surface au sol, et de 8,34 m de hauteur sous faîtage. Il est composé d'une charpente traditionnelle en bois et de bardages en bois reposant sur un massif en béton et longrines. La toiture est en fibrociment. Le sol est en terre battue.

Dimensions du bâtiment : Longueur = 42,2 m, largeur = 27,27 m

Orientation des parois : Longs pans orientés Est-Ouest, Pignons orientés Nord-Sud

Une seule zone thermique a été considérée puisque le bâtiment n'est pas chauffé.

Plans et illustrations

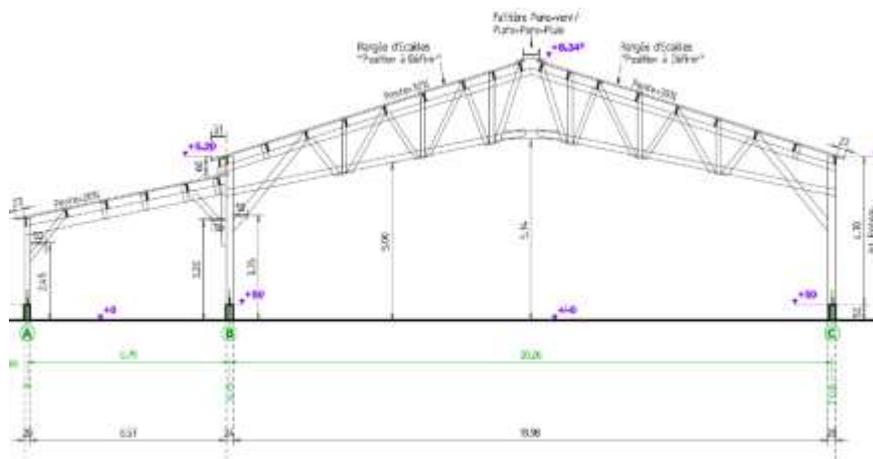


Figure 25: Coupe du bâtiment n°18



Figure 26 : Vue extérieure de la façade du bâtiment n°18

4.3.3. Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)

Le bâtiment d'élevage avicole étudié est un bâtiment fictif élaboré à partir d'une veille bibliographique sur l'élevage de volailles à chair, et à partir d'un retour d'expériences de la Chambre d'Agriculture de Bretagne (la Bretagne étant la région avec la plus haute concentration d'élevage avicole).

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Brest (Finistère, 29)

Fichier météo : Brest

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment d'élevage avicole étudié a une surface au sol de 1 300 m² (65 x 20 m), et une hauteur sous faitage de 4 m. On considère que le bâtiment se résume à une seule zone thermique conditionnée à 22°C en moyenne par période d'élevage. Le bâtiment fonctionne en continu sur l'année. La durée de production est estimée à 7 200 heures/an.

Le bâtiment est composé de fondations en béton, d'un dallage béton sur terre-plein, d'une ossature en acier de type portique, d'un bardage acier simple peau en façade, d'une couverture acier simple peau en toiture, d'un doublage intérieur pour paroi et plafond en panneau sandwich polyuréthane, et de longrines en béton (60 cm de haut) sur le pourtour intérieur du bâtiment pour protéger le doublage. De la paille est disposée au sol pour les animaux (4 kg/m²).

Ce type de construction appliquée à la culture avicole est dite "lanterneau" (voir illustration ci-dessous).

Le chauffage est effectué au moyen de systèmes radiants, et la ventilation est assurée par des ventilateurs latéraux de type Colorado avec récupération de chaleur.



La charge thermique d'un poulet moyennée sur la période d'élevage d'environ 50 jours est de 3 W/animal. Le nombre de poulets est de 10 par m², ce qui fait un total de 13 000 animaux par lots d'élevage. La charge thermique correspondante pour l'ensemble d'un lot est donc de 39 kW.

Plans et illustrations



Figure 27 : Photo élevage avec lanterneaux – Source : ITAV

4.3.4. Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)

La serre de culture de tomates étudiée est un bâtiment fictif élaboré à partir de données fournies par le CTIFL (Centre Technique d'Industrie des Fruits et Légumes) et par des sociétés qui fabriquent et commercialisent des serres de culture (CMF Culture et Richel Group).

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Nantes (Loire-Atlantique, 44)

Fichier météo : Nantes

Caractéristiques générales du bâtiment

Le bâtiment étudié a une surface au sol de 24 500 m². Il est composé de la serre de culture à proprement parlé, et d'un local technique (pompage, irrigation, chaufferie).

La serre de culture se compose de 6 travées de 20 m de large (soit 120 m en tout) et de 200 m de long, soit 24 000 m². Sa hauteur au faîtage est de 5,25 m. Elle est composée d'une ossature en acier de type portique. La façade et la toiture sont composées de plaques de verre (simple vitrage, 5 mm) et de montants en aluminium. Le sol en terre battue est recouvert d'un polyane.

La serre correspond à une serre de culture de type B (voir : Cas-types_Serres-énergie.pdf édité par la Chambre de l'Agriculture des Bouches-du-Rhône).

Le local technique a une surface de 500 m² et une hauteur moyenne de 3 m. Il est composé d'un dallage en béton, d'une ossature en acier, d'un ceinturage en bloc béton avec enduit, et d'une couverture simple peau en acier.

Les données de conditionnement de la serre sont les suivantes :

- Taux de production du bâtiment : 24h/24,
- Fonctionnement de la serre en chauffage uniquement : consigne 17 °C mini,
- Pas de dégagement thermique des végétaux,
- Fort dégagement d'humidité nécessitant une aération naturelle de la serre par des ouvrants. Le taux d'humidité généralement préconisé est d'environ 75 %,
- Aération de la serre par ventilation naturelle :
 - En été : renouvellement d'air important : 20 vol / h 8 heures par jour + volontaire + 0.5 vol/h d'infiltrations,
 - En hiver : ouvrant fermés et chauffage : 0 vol/h volontaire + 0.5 vol/h d'infiltrations.

Plans et illustrations

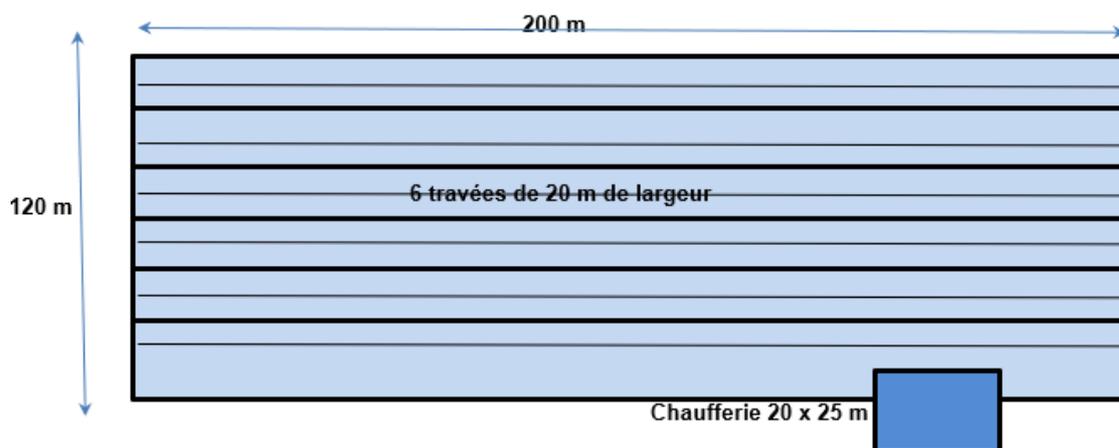


Figure 28: Schéma du bâtiment n°20 - Vue de dessus

4.3.5. Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)

Géographie et météo

Emplacement géographique : région de Dijon (Côte-d'Or, 21)
Fichier météo : néant

Caractéristiques générales du bâtiment

Le hangar agricole étudié a une surface au sol de 640 m² (32 x 20 m), et sa hauteur varie entre 4 et 9,4 m. Il est composé de 4 travées de 8 m chacune. C'est un bâtiment couvert et partiellement clos (3 faces), avec un auvent sur sa face ouverte. Il est utilisé pour le stockage de céréales en vrac.

Le bâtiment est composé de fondations en béton, d'un dallage béton sur terre-plein, d'une ossature en acier de type portique, de blocs béton en partie basse de façade (sur 2,9 m de haut), d'un bardage acier simple peau en partie haute de façade, et d'une couverture acier simple peau en toiture.

Le bâtiment ne consomme pas d'énergie. En revanche, il produit de l'électricité car il est équipé de 626 m² de panneau photovoltaïque polycristallin installés sur la toiture. L'installation a une puissance de 99 000 Wc, et sa production annuelle moyenne (sur 20 ans) est estimée à 105 462 kWh/an. Toute l'électricité produite est exportée et revendue.

Plans et illustrations



Figure 29 : Modélisation du hangar agricole



4.4. Synthèse des 21 cas d'étude retenus dans les 2 volets du projet

Le tableau ci-après synthétise les typologies des bâtiments étudiés (21 bâtiments)

Cas n°	n° de volet du projet BATINDUS	Secteur	Sous-secteur	Intitulé	Détail	Type de conditionnement principal	SHOB (m²)	Hauteur au faitage (m)	Structure principale	Fichier météo	Consignes Plage de T
2	1	Logistique	Entrepôt non-frigorifique	Entrepôt de stockage de grande hauteur	Entrepôt automatisé de grande hauteur, conditionné en température et ventilé	Chauffé et climatisé	14 524	26,0	Acier	Lyon	17 à 25 °C
4				Entrepôt de stockage	Entrepôt de stockage maintenu en hors gel en hiver	Hors gel	14 773	12,4	Bois	Paris	> 5 °C
7				Entrepôt de picking & emballage	Activité de picking, bâtiment avec personnel en nombre important	Chauffé	28 348	12,0	Béton	Lyon	14 à 18 °C
8	2		Entrepôt frigorifique	Entrepôt frigorifique (froid positif)	Entrepôt de produits frais, Activité de picking (préparation de commandes)	Froid industriel positif	10 644	10,4	Acier	Paris	2 à 12,5 °C (selon zones)
9				Entrepôt frigorifique (froid négatif)	Entrepôt de produits congelés	Froid industriel négatif	3 830	7,5	Béton	Paris	Stockage : -20 °C
1	1		Industrie	Autres industries	Usine de fabrication mécanique	Fabrication machines et équipements	Chauffé	6 904	7,7	Acier	Clermont-Ferrand
6		Usine de plasturgie			Procédé injection plastique fortement exothermique	Chauffé	6 050	11,4	Béton	Paris	Atelier : > 16 °C Bureaux : 18 à 25 °C
10	2	Usine de fabrication de tissu			Fabrication de tissus d'ameublement	Chauffé	4 392	7,7	Acier	Lyon	20 °C ou pas de conditionnement (selon zones)
11		Usine de produits de construction préfabriqués en béton			Produits de construction préfabriqués en béton	Chauffé	7 300	14,6	Béton	Paris	Atelier : > 16 °C Bureaux : 18 à 24 °C

5	1		Industrie agro-alimentaire	Usine agroalimentaire (abattoir)	Conditionnement de produit frais + stockage froid positif	Froid industriel positif	2 900	12,0	Béton	Lyon	< 4 °C	
12	2			Usine agroalimentaire de charcuterie	Fabrication de jambons et saucisses	Froid industriel positif	18 221	11,0	Acier	Strasbourg	-2 °C à 20 °C (selon zones)	
13				Brûlerie (fabrication de cafés)	Torréfaction de cafés	Chauffé	2 024	9,6	Bois	Bordeaux	> 20 °C	
14				Usine agroalimentaire de plats surgelés	Fabrication de pizza surgelés	Chauffé, et froid industriel + et -	6 050	10,0	Béton	Paris	-20 °C à > 18 °C (selon zones)	
15				Usine agroalimentaire de produits culinaires	Fabrication de produits déshydratés	Chauffé	19 332	8,3	Acier	Paris	> 20 °C ou néant (selon zones)	
16				Usine d'embouteillage	Embouteillage d'eau de source	Chauffé	5 175	7,4	Bois	Limoges	Atelier : > 19 °C Stockage : > 12 °C	
3				1	Agricole	Elevage	Bâtiment d'élevage de bovins	Production laitière	Hors gel	2 347	7,3	Bois
17	2	Maternité porcine	Elevage porcin	Chauffé			2 032	2,8	Béton	Rennes	Temp. mini entre 20 et 26 °C selon zones	
18		Bergerie (élevage d'ovins)	Bergerie de montagne	Eclairage seul (non chauffé)			1 151	8,3	Bois	Néant	-	
19		Bâtiment d'élevage avicole	Elevage de volailles à chair	Chauffé			1 300	4,0	Acier	Brest	22 °C en moyenne	
20		Serre chauffée	Serre de culture de tomates	Production de tomates			Chauffé	24 500	5,3	Acier	Nantes	> 17 °C
21		Hangar	Hangar agricole avec PV	Stockage de céréales			Néant	640	9,4	Acier	Néant	-

Tableau 10: Bâtiment types étudiés



5. Étude énergétique

5.1. Présentation générale de l'outil de modélisation

Les études énergétiques des bâtiments types retenus pour alimenter le projet sont effectuées à l'aide d'un logiciel de simulation thermique des bâtiments nommé "KoZiBu" (ex "CODYBA").

Il permet d'établir un bilan énergétique et d'analyser l'influence de nombreux paramètres (comme la régulation, les vitrages, les protections solaires, l'inertie ou l'orientation d'un bâtiment, etc.).

Les données de base sont la géométrie (parois, fenêtres, volumes, etc.).

Les paramètres principaux sont les conditions climatiques, les charges internes (dont les procédés thermiques industriels dans le cas présent) et les caractéristiques des appareils de régulation.

En sortie figurent les évolutions temporelles des températures d'air, des puissances fournies et cédées, ainsi que le cumul des puissances sensibles et latentes. Le confort thermique peut également être évalué.

Les calculs énergétiques sont donc réalisés avec le logiciel KoZiBu en remplacement du logiciel TRNSYS utilisé dans BATINDUS 1 (voir rapport final BATINDUS 1). La cohérence entre les résultats obtenus avec le logiciel KoZiBu et ceux précédemment obtenus avec le logiciel TRNSYS dans l'étude BATINDUS-1 est vérifiée sur le **Bâtiment type n°2 de BATINDUS 1: bâtiment de production manufacturière à structure acier** (voir détail du calcul en annexe).

5.2. Cohérence des logiciels de calcul KoZiBu et TRNSYS

5.2.1. Généralités

Un préalable des travaux décrit dans la phase 2 ci-dessus consiste en une validation de l'outil de calcul KoZiBu utilisé dans le présent projet et qui remplace le logiciel TRNSYS pour la réalisation des modélisations thermiques et aérauliques.

Son emploi associé avec les paramètres constructifs des bâtiments va permettre l'évaluation des impacts environnementaux "énergie" pour les 15 bâtiments types étudiés dans le volet BATINDUS 2.

Il s'agit donc de vérifier la cohérence entre les résultats obtenus avec le logiciel KoZiBu et ceux précédemment obtenus avec le logiciel TRNSYS dans le premier volet de l'étude sur un échantillon des cas d'études. Ce présent chapitre rend compte des résultats comparatifs entre les deux outils de calcul énergétique.

Les calculs comparatifs ont été effectués pour le Bâtiment type n°2 : bâtiment de production manufacturière à structure acier.

Les données du bâtiment ont été extraites du tableau E (p. 81 et 82 Rapport final BATINDUS 1), sans modification ni adaptation, à l'exception de certains points explicités plus loin.

5.2.2. Une présentation du logiciel

TRNSYS est disponible dans le rapport du premier volet de l'étude (BATINDUS 1), un benchmark numérique réalisé permet de mettre avant des "d les résultats d satisfaisants". Le benchmark cité est le standard ANSI/ASHRAE 140-20012, version finalisée du benchmark BESTEST sur lequel s'appuie également KoZiBu.

5.2.3. Présentation de KoZiBu (BATINDUS 2 – étude de 15 bâtiments types)

Description générale

Le logiciel KoZiBu (ex-CODYBA), développé par JNLOG, est un code multi zones permettant d'effectuer des calculs de bilans thermiques en régime dynamique. Il s'appuie sur une modélisation d'un système thermique constitué par un bâtiment placé

dans un environnement climatique. Cet outil répond aux besoins spécifiques du projet, notamment à travers ces fonctionnalités suivantes :

- - intégration des apports liés à la ventilation par le biais d'un réseau de conditionnement d'air,
- - variété des coefficients d'échanges pour la prise en compte de conditions climatiques particulières,
- - interface homme-machine ergonomique facilitant le traitement d'un bâtiment avec un grand nombre de locaux,
- - modèles de "masses actives" pour la représentation de machines ou systèmes industriels, modèles de régulation thermique (dont la climatisation) spécifiques.

5.2.4. Illustration des modes d'échange thermique du logiciel

Ci-après un extrait de la documentation technique du logiciel : illustration des échanges thermiques

5.1. LES MECANISMES DE BILANS ENERGETIQUES

Les équations de bilan font intervenir des échanges au niveau de l'enveloppe du bâtiment. En ce qui concerne le rayonnement, on distingue les échanges dans les grandes longueurs d'onde (GLO, domaine de l'infrarouge) des échanges courtes longueur d'onde (CLO, domaine du visible), qui relèvent de mécanismes tout à fait différents.

La figure 3 présente schématiquement les différents mécanismes d'échanges par convection et par rayonnement CLO et GLO entre les surfaces extérieures d'un bâtiment et l'environnement extérieur.

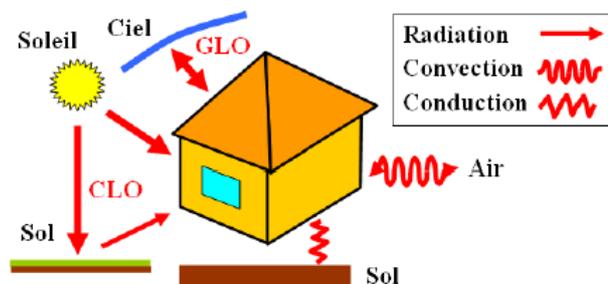


Figure 3 : schématisation des flux d'échange extérieurs

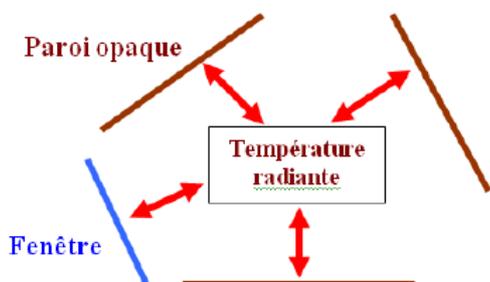


Figure 4 : flux GLO dans un volume d'air

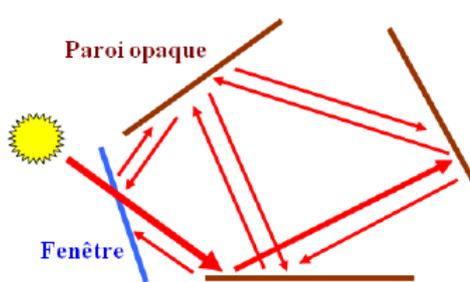


Figure 5 : flux CLO dans un volume d'air

La figure 4 présente la modélisation des transferts GLO, qui sont pris en compte par le biais d'une température radiante, et qui permet de traiter ces flux de la même façon que les transferts conductifs entre l'air et les parois.

La figure 5 schématise les mécanismes de réflexion/absorption du rayonnement CLO dans un local. Le rayonnement CLO pénètre dans le local par une surface vitrée, et subit une succession de réflexions et d'absorptions par les différentes parois. Le rayonnement CLO peut également être produit en plus petite quantité par une source interne de chauffage. Ce processus de réflexions/absorptions est rendu par un calcul matriciel.

5.3. Validité du calcul

La validation du modèle a été réalisée dans le cadre de marchés publics, notamment avec la DGA (Délégation Générale de l'Armement) au travers de campagnes de mesures sur des bâtiments réels.



La version utilisée est la version 1.50 du printemps 2018.

5.4. Présentation générale des résultats

Pour chaque bâtiment, un tableau de synthèse des consommations énergétiques postes par postes est proposé, avec une distinction entre les énergies électriques (ventilation, éclairage, procédés électriques, climatisation, etc.) et les énergies thermiques (procédés thermiques, chauffage, ECS, etc.).

De plus, pour chaque bâtiment a été déterminé le ratio "Rb/p" qui représente le rapport entre les consommations énergétiques totales du bâtiment et les consommations des procédés abrités par ce dernier.

Enfin, une présentation graphique de la répartition des consommations d'énergies est ajoutée afin de permettre une appréciation rapide du scénario de consommation énergétique du bâtiment étudié.

5.4.1. Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)

	Process		Batiment			
	lignes d'emballage	appareils de manutention	Ventilation, brassage,	éclairage	chauffage	climatisation
Puissance	10 kW	3,5 kW	13,5 kW (pour 1 vol/h)	3 W/m ²	maintien de T > 14°C	
quantité	11	35	1	28 348 m ²	maintien de T < 18°C	
temps fonctionnement	5/7 j en 2*8h +8h	50% de 5/7 j 2*8h +8h	7 j 24/24	5/7 j 2*8h +8h		
Consommation NRJ annuelle (MWh)	503,4	140,1	117,9	318,4	621,6	137,8
Pourcentage de la consommation totale (process+ batiment)	27%	8%	6%	17%	34%	7%
Total (MWh)	1839,2					

ration consommation bâtiment/Process **1,86**

Tableau 11: consommation par poste entrepôt

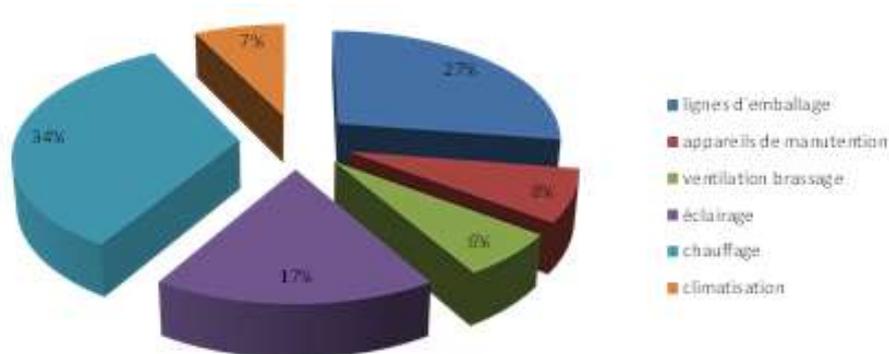


Figure 30: répartition des consommations pour l'entrepôt Picking

La consommation d'énergie totale bâtiment et process sur l'année est donc de 1 840 MWh, avec environ 1 200 MWh/an uniquement pour la partie bâtiment. Le ratio entre les consommations bâtiment & process est de 1,86.

L'essentiel de la consommation d'énergie liée au bâtiment est due au conditionnement en température $14^{\circ}\text{C} < T < 18^{\circ}\text{C}$. Le chauffage représente la plus grosse partie (34 %). L'énergie sensible de climatisation se voit appliquer un COP de 3.5 pour revenir à l'énergie électrique absorbée pour la produire.

La consommation d'énergie spécifique ramenée à sa surface donne 42,2 kWh/m²/an.

5.4.2. Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)

Zones	Process (MWh/an)			Bâtiment (MWh/an)					GRAND TOTAL
	manutention	emballage	bureautique	ventilation tertiaire	ventilation CTA	éclairage	climatisation	chauffage	
Stockage	73,2	-	-	-	289,7	68,0	413,1	-	3194,7
Process	100,7	396,9	-	-	407,7	95,3	972,4	-	
Technique	-	-	-	-	-	18,2	-	-	
Tempérée	-	-	-	1,9	-	12,3	-	264,4	
bureaux (+1)	-	-	45,8	1,4	-	9,1	24,5	0,1	
total	173,9	396,9	45,8	3,3	697,4	202,9	1410,1	264,5	

Tableau 12: consommation par poste entrepôt frigorifique (froid positif)

Zones	total process	total bâtiment	total
Stockage	73,2	770,8	844,0
Process	497,5	1475,4	1973,0
Technique	0,0	18,2	18,2
Tempérée	0,0	278,6	278,6
bureaux (+1)	45,8	35,1	80,9
TOTAL	616,5	2578,2	3194,7

Ratio de consommation d'énergie bâtiment / process : 4,2

Tableau 13: consommation par zones entrepôt frigorifique

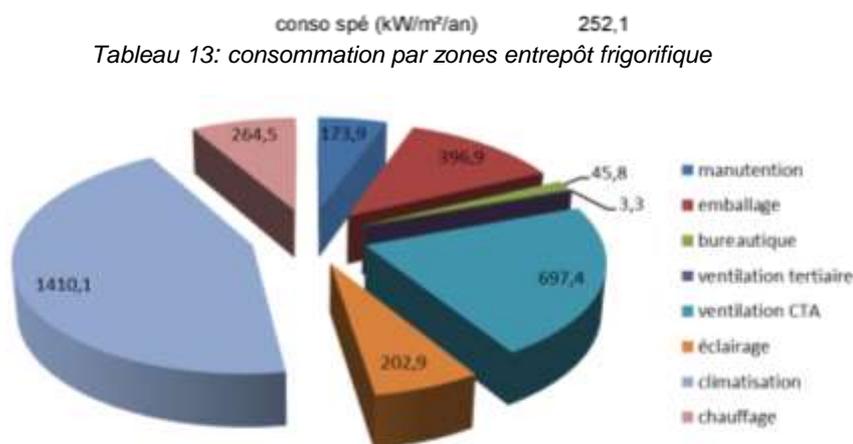


Figure 31 : répartition des consommations pour l'entrepôt frigorifique (froid positif)

Le ratio de consommation d'énergie du bâtiment par rapport à celle des process est de 4,2, l'air comprimé n'est pas pris en compte.

Ramenée à la surface, la consommation spécifique du bâtiment est de 252,1 kWh/m²/an.

Cette consommation d'énergie importante est due au conditionnement à 2°C des deux plus grandes zones du bâtiment, qui représentent env. 8 500m² (process + stockage). Le deuxième pôle de consommation est la distribution d'air conditionné (CTA) de ces mêmes zones.

5.4.3. Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)



consommation énergie en MWh/an												
zone	surface	HsP	Température	bâtiment						procédés		Grand total
				éclairage	ventilation	évaporateurs	hors gel dalle	chauffage	climatisation	manutention	bureautique	
stockage	3830	7.2	-20°C	9.2	13.9	60.0	347.4	-	2004.8	34.2	-	2524.8
sas	136	7.2	subie	0.3						34.2	-	
bureaux	200	3	18°C < T < 24°C	1.6	0.4	-	-	10.4	4.3	-	4.0	
totaux	4166	-	-	11.1	14.3	60.0	347.4	10.4	2009.1	68.4	4.0	
				2452.4						72.4		
				consommation spécifique réfrigération						72.7		kWh/m3/an

Ratio consommation bâtiment/procédé (hors ECS) 33.9

Tableau 14: consommation par poste entrepôt frigorifique (froid négatif)

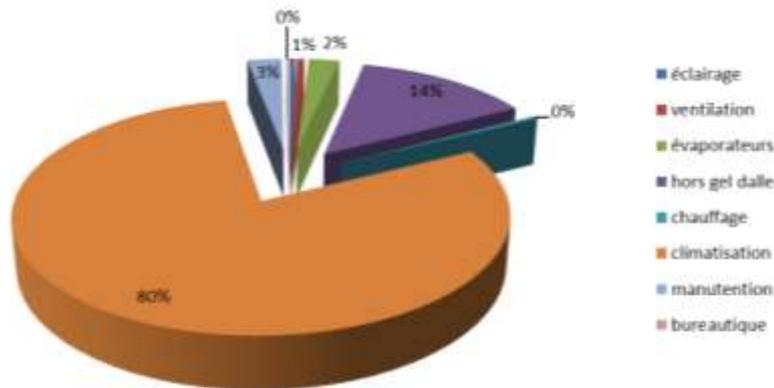


Figure 32: répartition des consommations pour l'entrepôt frigorifique (froid négatif)

On calcule donc une consommation d'énergie globale sur le site étudié de 2 452 .MWh/an.

L'essentiel de cette consommation d'énergie est porté par le conditionnement à -20°C de la zone stockage, avec environ 2 GWh/an soit 80 % de la consommation totale. La consommation ramenée au volume de la chambre négative est de 72,7 kWh/m3.an. Cette valeur est cohérente avec les grandeurs disponibles dans la littérature qui montre une valeur moyenne à 70 kWh/m3.an

Le second pôle de consommation est constitué par le dispositif de chauffage de maintien hors gel de la dalle de la chambre négative : 14% avec un total annuel d'environ 350 MWh.

En conclusion, ce bâtiment est très peu consommateur d'énergie pour les procédés, puisqu'il n'y a que des activités de manutention et de la bureautique. La consommation annuelle d'énergie liée aux procédés ne représente que 72 MWh, contre 2452,4 MWh pour la partie bâtiment.

Le ratio de consommation bâtiment / process est de 33,9.

5.4.4. Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)

Zone thermique	surface m ²	HsP (m) m	Conditionnement °C	TRA vol/h	procédés type	temps procédés heures/an	consommation d'énergie du bâtiment						
							Bâtiment				Procédés		
							ventilation	éclairage	chauffage	climatisation	procédés gaz	procédés électriques	
Atelier	1752	7,5	-	0,3	raseuses	980	9,6	20,6	-	-	-	82,5	
Tissage	1152	7,5	20	0,3	rames	490	6,3	27,1	-	-	348,1	17,8	
Stockage	768	7,5	20	0,3	métiers	3920	4,2	9,0	232,7	48,8	-	39,2	
Teinturerie	360	4	-	1	manutention	980	3,5	4,2	-	-	1855,3	3,4	
Total	4032	-	-	-	-	-	23,6	61,0	232,7	48,8	2203,4	142,8	
							366,1				2346,2		
							Total Gaz		2436,1	MWh/an			
							électrique		276,2	MWh/an			

Ratio conso bâtiment/procédés **0,156**

Tableau 15 consommation par poste usine de fabrication de tissu

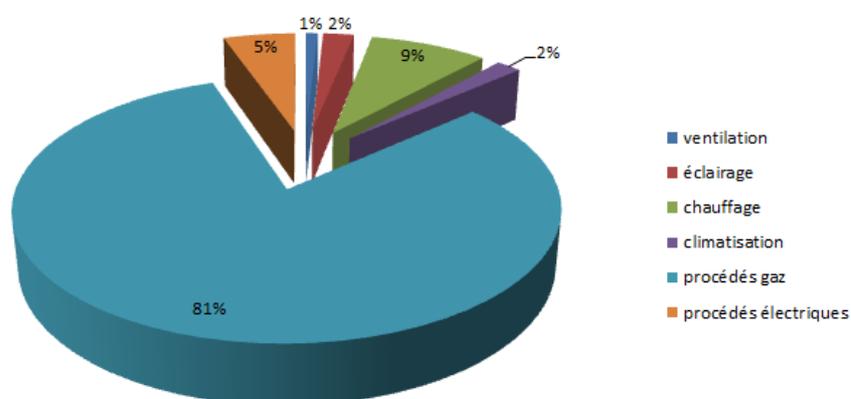


Figure 33: répartition des consommations usine de fabrication de tissus

La majorité de l'énergie consommée par le site est donc imputable aux procédés gaz (81 %) nécessaire au chauffage de l'eau. En effet, on sait qu'une grande partie des 30 000 m³ d'eau annuels est chauffée à 95°C au moyen de la chaudière vapeur (énergie primaire gaz naturel) pour effectuer les teintures, ce qui représente une quantité d'énergie thermique très importante. Le second pôle consommateur est le chauffage (9 %), bien que le chauffage pour les bureaux n'apparaisse pas dans l'analyse.

La part de consommation électrique est négligeable comparée à celle du gaz, avec seulement 276 MWh/an. Cette valeur est inférieure à celle attendue de 472MWh car la consommation des bureaux (ventilation, climatisation, éclairage) n'est pas prise en compte.

Le ratio final de consommation bâtiment/procédés est donc 0,156, la majeure partie du bâtiment n'étant pas conditionnée en température mais uniquement ventilée, face à des procédés thermiques très énergivores.



5.4.5. Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)

Zone thermique	surface m ²	conditionnement température	temps travail h/an	consommation d'énergie annuelle bâtiment					Grand total
				ventilation	éclairage	chauffage	climatisation	procédés	
Usine	6800	T°C > 16°C		0	156.7	534.67	0	2369.1	3100.3
Bureaux	500	18 > T°C > 24	3840	2.2	11.5	16.597	1.9	7.7	
Total	7300	-		2.2	168.2	551.3	1.9	2376.7	

consommation surfacique bâtiment 99.1 kWh/m².an
inclus : chauffage, climatisation, éclairage & ventilation

Ratio consommation bâtiment / process 0.30

Tableau 16: consommation par poste usine de produits de construction

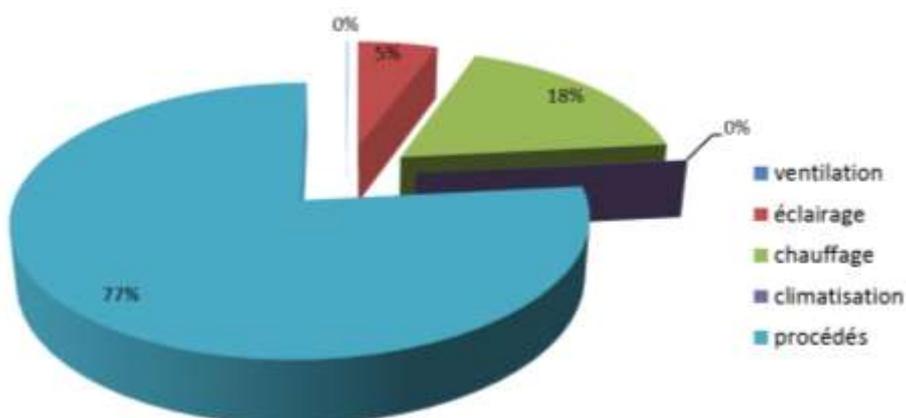


Figure 34: répartition des consommations usine de préfabrication

Il apparaît que la consommation d'énergie liée au procédé de fabrication reste le poste majoritaire (77%), ce qui nous donne un ratio de la consommation bâtiment / process de 0,30.

Le second pôle de consommation d'énergie est le chauffage (18 %) de l'usine pour maintenir la température > 16°C l'hiver, cette consommation est due au fort taux de renouvellement d'air du local (2 vol/h).

Enfin, l'éclairage contribue à hauteur de 5 % de la consommation annuelle, et les parts de la ventilation et de la climatisation des bureaux sont négligeables (0 %).

5.4.6. Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)

Consommation d'énergie en GWh/an					
	Zones thermiques	Electricité	Gaz	Total	
batiment	Eclairage	1.534	-	5.7%	
	Ventilation	0.539	-	2.0%	
	Chauffage gaz	-	0.416	1.5%	
	Production de froid	4.222	-	15.7%	
	TAR	1.762	-	6.5%	
process	ECS (eaux de process)	-	2.739	10.2%	
	Pertes combustion	-	1.370	5.1%	
	Procédés élec	7.046	-	26.1%	
	Procédés gaz	-	7.346	27.2%	
Total		15.102	11.870	100%	26.972

Consommation du bâtiment / Process (ECS comprise) 0.46

Tableau 17: consommation par poste usine agroalimentaire

Remarque : les consommations d'énergies des TAR (tours aéro-réfrigérantes), des eaux des procédés et des pertes de combustion sont ajoutées entre le premier et le second tableau et sont calculées sur la base des données disponible issus de l'audit énergétique.

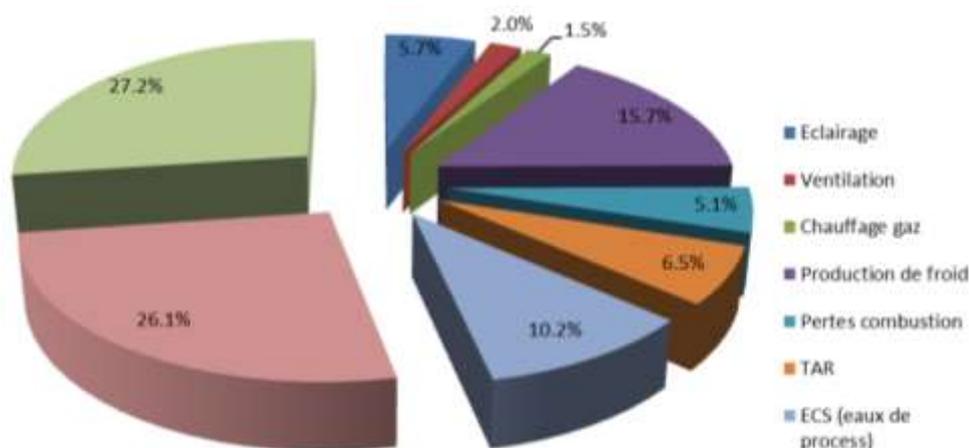


Figure 35 : répartition des consommations usine agroalimentaire

La consommation d'énergie générale du bâtiment déterminée est de 27 GWh/an. La part du bâtiment dans cette consommation globale est de 8,74 GWh/an, soit d'environ 31 %. La majorité de cette consommation est électrique (plus de 80 %)

Le ratio consommation bâtiment / consommation process est de 0,46. La consommation spécifique du bâtiment ramenée à sa surface est de 497 kWh/m²/an.

La majorité de la consommation énergétique du bâtiment est lié à la production de froid pour le maintien d'une ambiance de 9°C dans la zone process, en compensation des dégagements thermiques des procédés



5.4.7. Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)

Zone thermique	Consommation énergétique en MWh/an							Total usine	Ratio conso bât / conso process
	Part des procédés		Part des bâtiments				Total bâtiment hors procédé		
	Procédés électrique	Procédés gaz	Eclairage	Ventilation	Chauffage	Production de froid			
Bureaux	2	0	5,8	0	10	0,6	16	18	8,18
Stockage	0	0	2,4	0	8	0	10	10	-
Atelier	29	48	24	0	92	0	116	193	1,50
Total	31	48	32	0	109	0,6	142	221	1,80

Tableau 18: consommation par poste Brulerie

Consommation du bâtiment / procédés (compris ECS) 1,80

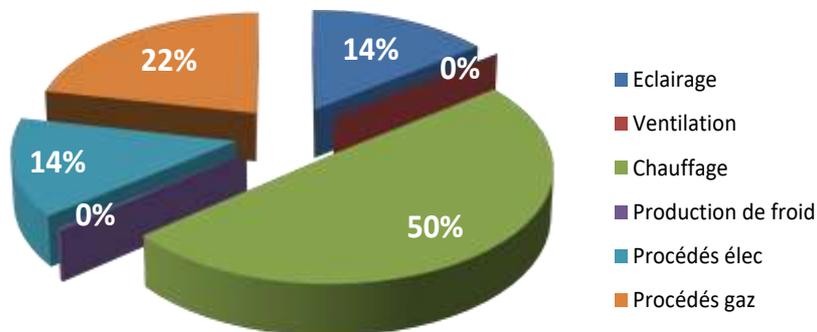


Figure 36 : répartition des consommations de la brûlerie

Le poste chauffage des locaux est majoritaire et contribue à hauteur de 50 % de la consommation énergétique annuelle.

La consommation énergétique totale annuelle du site industriel étudié est de 221 MWh/an.

La consommation énergétique annuelle liée à l'exploitation du bâtiment est de 142 MWh/an.

5.4.8. Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)

Zone	Consommation énergétique en MWh/an							Total usine	Ratio conso bât / conso process
	Part procédés		Part bâtiment				Total bâtiment hors procédés		
	Procédés électrique	Procédés gaz	Eclairage	Ventilation	Chauffage	Production de froid			
Boulangerie	849	0	21	25	7	312	366	1 214	0,43
Garnissage	1 030	2 496	47	75	0	1 836	1 958	5 484	0,56
Fours (énergie gaz)	0	2 280	15	68	0	0	83	2 363	0,04
Conditionnement	1 373	0	51	41	0	763	855	2 228	0,62
Stockage	87	0	10	3	0	360	372	459	4,26
Chambre froide	87	0	4	3	0	66	73	160	0,83
Total	3 426	4 776	148	215	7	3 337	3 707	11 908	0,45

Tableau 19 : consommation par poste usine agroalimentaire plats surgelés

Consommation du bâtiment / Process (compris ECS) 0,45

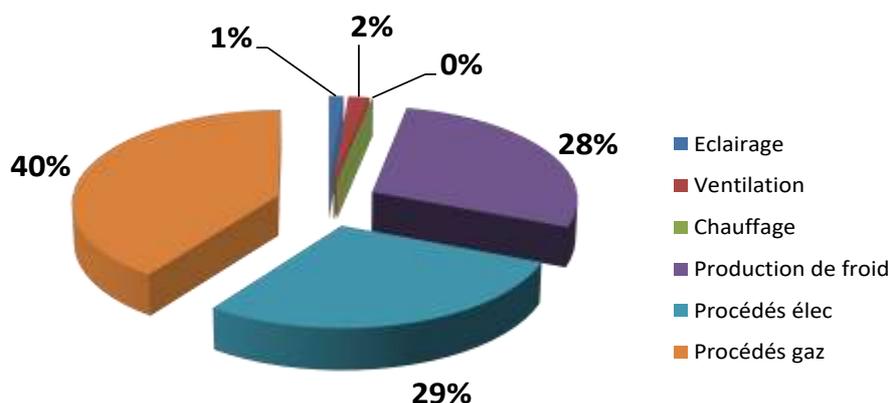


Figure 37 : répartition des consommations l'usine agroalimentaire

Le poste production de froid est largement majoritaire.

La consommation énergétique totale annuelle du site industriel étudié est calculée à 11 908 MWh/an contre 15 500 MWh/an pour le site réel. La différence s'explique par le fait que certains postes consommateurs n'ont pas été pris en compte dans cette étude notamment la partie compression d'air, surgélation (refroidissement rapide des produits) et autres ateliers annexes non comptabilisés.

On observe une part de consommation d'énergie au gaz importante liée au fonctionnement des fours de cuisson.

La charge thermique dégagée dans l'atelier four est importante. Cet atelier n'est pas chauffé.

La consommation énergétique annuelle liée à l'exploitation du bâtiment est de 3 707 MWh/an. La consommation d'énergie des procédés de fabrication est bien plus importante que celle ayant trait au bâtiment, ce qui donne un ratio "Rb/p" < 1 soit 0,45.

5.4.9. Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)

	conso process élec	process vapeur énergie primaire biomasse	éclairage	ventilation	Autres (STEP, convoyeurs, air comprimé...)	chauffage énergie primaire gaz	Climatisation énergie élec	Total process	Total bâtiment
Fabrication	4 388,7	87 241,4	70,4	-	-	-	-	91 610,1	70,4
Sous-sol Fabrication	-	-	-	0,6	-	-	686,4	-	687,0
Conditionnement	1 872,3	-	85,8	-	4 119,1	121,8	-	1 872,3	207,6
Stockage produits finis	-	-	100,0	-	-	-	-	-	100,0
Total	6 241,0	87 241,4	256,1	0,6	4 119,1	121,8	686,4	97 601,4	1 065,0

rendement chaudière biomasse 85,0%

	Conso élec	Conso thermique
conso process élec	6 241,0	-
éclairage	256,1	-
ventilation	0,6	-
Climatisation	686,4	-
Process vapeur	-	87 241,4
Chauffage	-	121,8
Autre (STEP, convoyeurs, air comprimé...)	4 119,1	-
TOTAL	11 303,2	87 363,2

Période été		Période hiver	
chauffage énergie primaire biomasse MWh	Climatisation énergie élec COP = 2 MWh	chauffage énergie primaire biomasse MWh	Climatisation énergie élec COP = 2,5 MWh
-	452,6	121,8	233,9
0,0	452,6	121,8	233,9

Ratio consommation bâtiment / procédé brut **0,0109**

conso spécifique du bâtiment sur le périmètre d'étude : **66,0 kWh/m².an**

Tableau 20 : consommation par poste usine agroalimentaire de produits culinaires



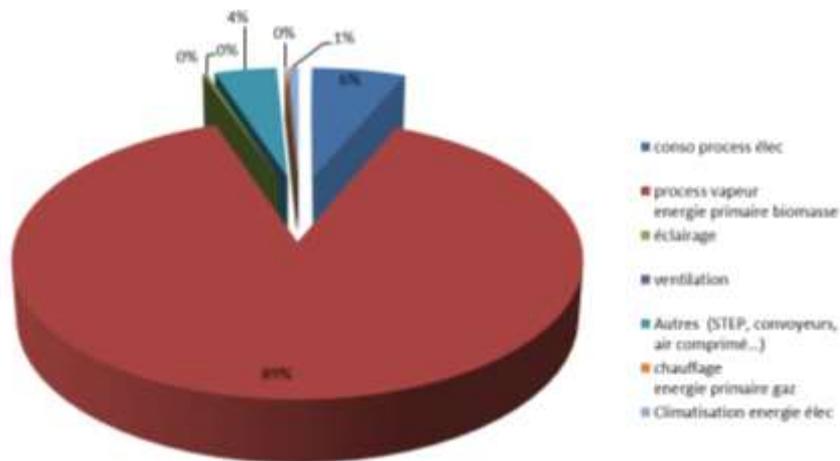


Figure 38 : répartition des consommations pour l'usine agro-alimentaire de produits culinaires

Comme attendu, la part de la consommation d'énergie liée aux process écrase celle liée au bâtiment en lui-même. L'énergie totale annuelle consommée par le bâtiment ne représente finalement que 1,1 % de la consommation globale du site. Cela est dû au fait que les process, et surtout le process de séchage est extrêmement énergivore (de l'ordre de 65 GWh/an). Autrement dit, la partie process est 90 fois plus énergivore que le bâtiment en lui-même. La consommation d'énergie spécifique du bâtiment est de 55 kWh/m².an. L'ensemble des surfaces du bâtiment sont considérées dans ce calcul.

5.4.10. Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)

Zone	Part procédés		Consommation énergétique en MWh/an				Total bâtiment hors procédés	Total usine	Ratio conso bât / conso process
	Procédés électrique	Procédés gaz	Eclairage	Ventilation	Chauffage	Production de froid			
Bureaux	1.5	0.0	12.0	1.7	21.9	14.7	50.2	51.8	33.4
Atelier	1 009.6	265.1	72.6	41.7	46.7	0.0	161.1	1 435.7	0.1
Stockage	22.6	0.0	54.4	10.4	8.1	0.0	73.0	95.5	3.2
Réception	22.6	0.0	6.9	1.0	1.4	3.5	12.9	35.4	0.6
Total	1 056.2	265.1	145.9	54.8	78.1	18.3	297.1	1 618.4	0.2

Tableau 21 : consommation par poste usine embouteillage

Consommation du bâtiment / Process (compris ECS) 0.22

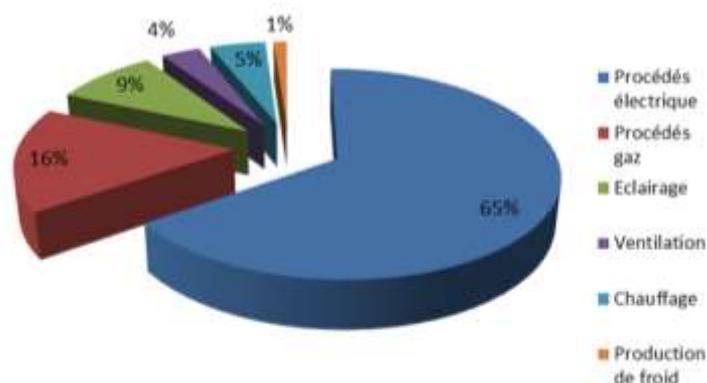


Figure 39 : répartition des consommations pour l'usine d'embouteillage

L'essentiel de la consommation d'énergie du site est donc porté par les process électriques de la zone "Atelier" comprenant le thermoformage des bouteilles et l'air comprimé 40 Bars (65 %). Viennent ensuite les process Gaz (Nettoyage En Place ou Clean In Place, 16 %) et l'éclairage (9 %).

La partie consommation d'énergie du bâtiment est finalement écrasée par la partie process, le ratio de consommation bâtiment/process étant de 0,22. Conso spécifique(en kWh/m².an)

5.4.11. Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)

consommations par postes	maternité	post sevrage	salles gestantes	couloir	engraissement B3	total
conso totale annuelle éclairage (kWh/an)	2649,4	1621,0	2998,7	651,5	10826,1	18747
conso totale annuelle chauffage (kWh/an)	17949,7	15900,4	27632,5	0,0	0,0	61483
ventilation (m3/h/animal), pris Qvmin*1.2 toute l'année	42,0	3,6	30,0	0,0	9,6	-
Pression totale estimée (Pa)	500,0	500,0	500,0	0,0	500,0	-
puissance aéraulique (W)	116,7	110,0	312,5	0,0	816,0	-
rendement moto-ventilateur	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-
energie électrique consommée lot ventil (kWh/an)	1585,1	1258,7	2367,4	0,0	13322,7	18534
Conso batiment totale (MWh/an)	98,8					

Tableau 22 : consommation par poste maternité porcine

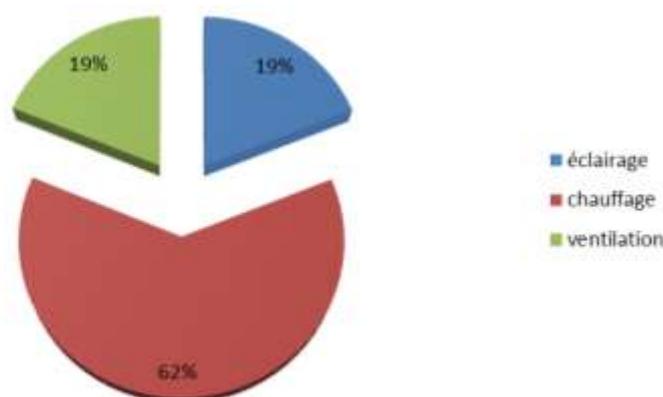


Figure 40 : répartition des consommations pour la maternité porcine

L'impact énergétique de ces bâtiments est assez faible, environ 100 MWh annuels pour l'ensemble du site étudié.

La partie naissance (comprenant les zones "maternité", "post-sevrage", "couloir" et "salles gestantes") est cependant bien plus énergivore que la partie engraissement, ceci vient du fait que cette partie nécessite du chauffage alors que la seconde non.

Dans la seconde partie du process, l'engraissement, l'apport sensible des animaux suffit en effet à maintenir la consigne de température du bâtiment en jouant sur la ventilation. Ceci explique également que l'essentiel de la part de consommation d'énergie liée à la ventilation soit pour la partie "engraissement" (environ 72 %).

La part du chauffage pour l'ensemble du cas étudié est d'environ 60 % (énergie gaz), viennent ensuite la ventilation et l'éclairage, avec tous deux environ 20 % de la consommation d'énergie totale annuelle.

Étant donné qu'il n'y a pas de procédés à proprement parler dans ce type de bâtiment, le ratio "Rb/p" n'est pas calculable (division par zéro).



5.4.12. Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)

L'impact énergétique d'un bâtiment d'élevage de ce type est très faible. Dans le cas considéré, seule une consommation annuelle liée à l'éclairage de la zone d'élevage est calculée pour une consommation annuelle obtenue de 0,5 MWh/an.

Ce type de bâtiment n'est pas chauffé. Le dégagement de chaleur des animaux suffit à tempérer l'atmosphère de la zone thermique tout au long de l'hiver.

L'apport thermique par les ovins correspond à une puissance cumulée de 60 kW. Cela représente la charge thermique "procédé" qui vient finalement se substituer à un moyen de chauffage utilisant de l'énergie.

Pour illustrer, nous représentons ci-dessous la résultante de la température ambiante dans la bergerie non chauffée tout au long de l'année.

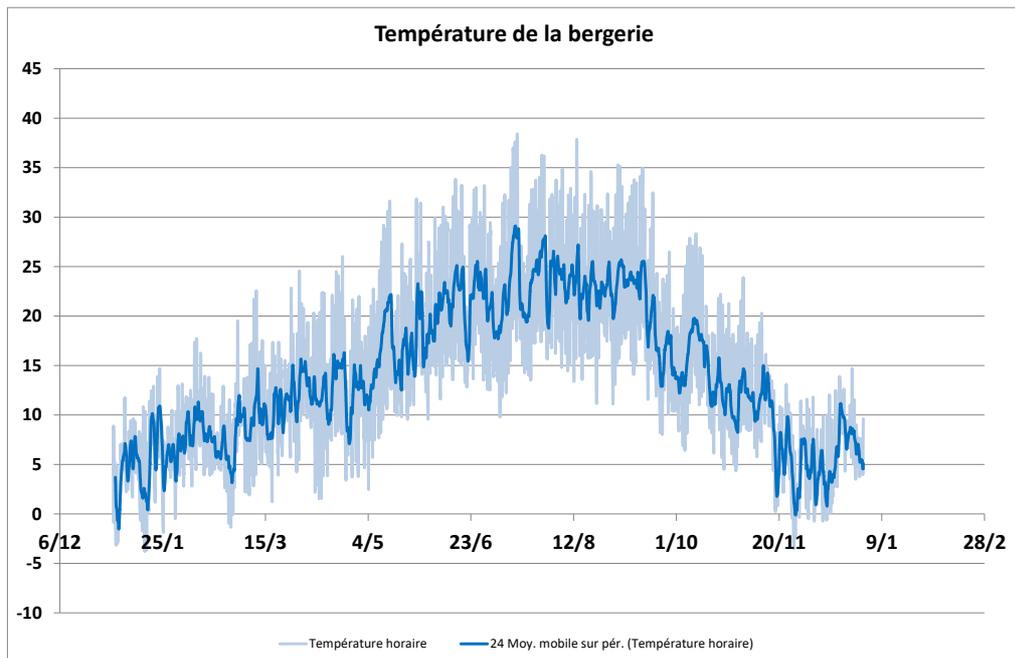


Figure 41 : courbe température dans la bergerie sur une année

5.4.13. Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)

Zone thermique	surface m ²	conditionnement température	temps travail h/an	consommation d'énergie annuelle bâtiment					
				Bâtiment			Procédés		Total
				ventilation	éclairage	chauffage	procédés fuel	procédés électriques	
élevage	1300	T°C > 22°C	7200	16.7	12.5	187.2	17.1	7.0	240.5
Total/ ratio	1300	-	-	6.9%	5.2%	77.8%	7.1%	2.9%	100%
de la consommation électrique				46.1%	34.5%			19.3%	100%

Tableau 23 : consommation par poste bâtiment élevage avicole

Ratio de consommation bâtiment / procédés 8.97

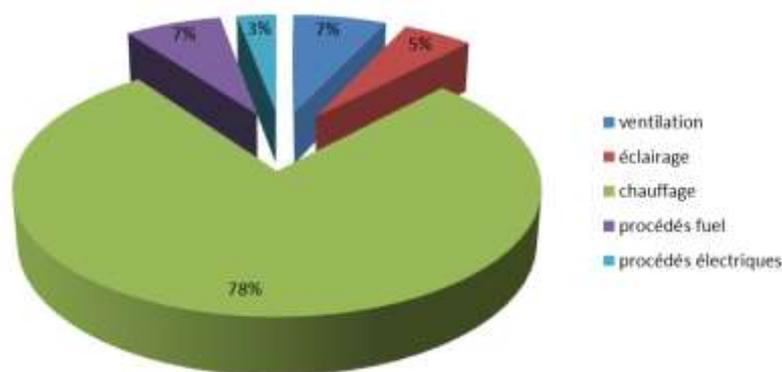


Figure 42 : répartition des consommations pour la bergerie

Comme attendu, l'essentiel de la consommation d'énergie sert donc à chauffer la surface d'élevage des animaux (78 % de la consommation annuelle). Viennent ensuite les pôles ventilation (7 %, ou 46,1 % de la part électrique) et éclairage (5 % ou 34,5 % de la part électrique).

Les procédés sont assez peu représentés dans la consommation annuelle finale (10 %). En effet, ce type de bâtiment est passif : le conditionnement en température et humidité est presque la seule activité (pas de fabrication, pas de charges thermiques internes) ce qui implique de forte consommation de chauffage pour maintenir la consigne moyenne de 22°C.

Cette consommation de chauffage est en fait une conséquence du taux de renouvellement d'air élevé imposé par ce type de bâtiment (environ 5 volumes/heure) : il faut réchauffer l'air neuf entrant.

Le ratio final de consommation bâtiment/procédé est d'environ 9, et la consommation d'énergie surfacique totale de 185 kWh/m².an.

5.4.14. Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)

Zone thermique	Consommation énergétique en MWh/an							Total usine
	Part des procédés		Part des bâtiments				Total bâtiment hors procédé	
	Procédés électrique	Procédés gaz	Eclairage	Ventilation	Chauffage	Production de froid		
Serre (été)	2.5	0	0.0	0	3 307.5	0	3 308	3 310
Serre (hiver)	2.5	0	0.0	0	5 668.9	0	5 669	5 671
Local Technique	10	0	8.8	1.1	0.8	0	11	21
Total	15.0	0.0	8.8	1.1	8 977.2	0.0	8 987.1	9 002.1
					consommation surfacique totale		374.46	kWh/m².an

Tableau 24 : consommation par poste serre de culture de tomates

Consommation du bâtiment / procédés (compris ECS) 599.14

La consommation surfacique de la serre étudiée est donc de 374 kWh/m².an. On rencontre usuellement 350 kWh/m².an sur le parc existant, ce qui conforte les résultats obtenus.

L'impact énergétique d'un bâtiment de type serre est important. Dans le cas considéré, la consommation calculée est essentiellement liée au besoin en chauffage à environ 9 000 MWh/an. Cette consommation de chauffage importante s'explique par une contrainte double qui est la consigne de température (17 °C) nécessaire au développement des tomates et par la structure en verre des parois qui est très peu isolante thermiquement.

Il n'y a pas d'apport thermique significatif par les tomates. Le dégagement d'humidité nécessite en revanche un renouvellement d'air important de la serre, surtout en été.

Concernant le local technique (chaufferie et auxiliaires), les dégagements de chaleur des équipements notamment les pertes thermiques par les parois de la chaudière suffisent presque à maintenir le local en hors gel (seulement 800 kWh de chauffage /an).



5.4.15. Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)

Le hangar agricole avec toiture photovoltaïque ne consomme pas d'énergie, que ce soit pour d'éventuels procédés ou un conditionnement du bâtiment. L'analyse des consommations d'énergie de ce dernier n'a donc pas lieu d'être.

5.5. Analyse par groupes de bâtiments

5.5.1. Bâtiments du secteur de la logistique

Le trait commun à l'ensemble des bâtiments du secteur logistique étudiés dans le cadre du projet BATINDUS 2 est la très faible contribution énergétique des procédés dans la consommation annuelle.

En effet, ces bâtiments abritent peu ou pas de procédés si ce n'est les opérations de manutention et de co-packing dans le cas du picking.

Dès lors, le ratio de consommation d'énergie du bâtiment sur celle des procédés "Rb/p" est supérieur à 1.

Dans le cas des bâtiments frigorifiques, cette valeur est même largement dépassée avec un ratio de 4,2 dans le cas d'un stockage à froid positif et de 33,9 dans le cas du froid négatif. Le stockage à ambiance négative ($T < 0^{\circ}\text{C}$) étant en effet bien plus énergivore qu'à froid positif. Cette consommation est alors essentiellement de l'énergie électrique servant à alimenter des groupes frigorifiques et les systèmes de diffusion du froid. Par ailleurs, la réfrigération négative se caractérise par une efficacité énergétique (EER, ou le rapport entre l'énergie électrique fournie au système de production de froid et l'énergie thermique réelle fournie) inférieure à celle du froid positive.

On atteint péniblement un EER de 2 pour le premier, alors qu'il peut atteindre 4 pour le second.

Dans tous les cas, la consommation énergétique des bâtiments logistiques est portée par le conditionnement en température de l'ambiance de ces derniers. En effet, sur l'ensemble des cas étudiés, les conditions de température de stockage des marchandises livrées ou expédiées sont maîtrisées. Cela est dû au fait que les 3 bâtiments retenus dans le projet servent à assurer la logistique de denrées alimentaires, et que la chaîne du froid doit être respectée tout le long du cheminement des denrées.

Il est cependant nécessaire de noter que les consommations de carburant, qui représentent l'immense majorité de l'énergie consommée par ce secteur (le gasoil pour les camions), ne sont pas prises en compte dans l'analyse.

5.5.2. Bâtiments du secteur industriel

Comme on peut l'imaginer, on observe une très forte prépondérance des consommations d'énergie liées aux procédés de fabrication par rapport à celles liées aux bâtiments en eux-mêmes sur le secteur de l'industrie. De ce fait, quasiment l'ensemble des bâtiments industriels étudiés dans le cadre de BATINDUS 2 présentent un ratio "Rb/p" inférieur à 1.

Il est également intéressant de citer le cas de l'usine de produits culinaires (transformation de pommes de terre), qui présente un ratio Rb/p de 0,0109. Ce coefficient traduit une consommation énergétique des procédés environ 100 fois plus importante que celle consommée par les bâtiments de l'usine. En effet, cette industrie se caractérise par des procédés de séchages rotatifs très énergivores, et un conditionnement en température des bâtiments limité.

On observe par ailleurs que les consommations d'énergie des bâtiments sont portées essentiellement par le conditionnement en température des zones de fabrication. En effet, les procédés de fabrication constituent des charges thermiques à compenser. Que ce soit

pour maintenir une température ambiante dans l'atelier convenable pour les opérateurs, ou pour respecter des contraintes de température propres au secteur (4°C dans l'exemple de l'usine de charcuterie par exemple), la production de froid ou le chauffage sont alors le premier poste consommateur d'énergie des bâtiments. Viennent ensuite les postes éclairage et ventilation, avec plus ou moins de poids suivant le type d'industrie étudiée.

5.5.3. Bâtiments du secteur agricole

Dans le cas des bâtiments d'élevages, il n'y a pas ou quasiment pas de consommation énergétique liée aux procédés de fabrication. De plus, dans les cas des élevages bovins et ovins, le confort des animaux ne nécessite pas de chauffage d'appoint, ce qui fait que la consommation énergétique annuelle totale est quasiment nulle (quelques MWh au maximum).

La maternité porcine et l'élevage avicole se démarquent des deux cas précédents par le fait que les bâtiments sont chauffés et ventilés mécaniquement de façon à fournir un environnement de croissance favorable au développement des animaux. Malgré cela, la consommation d'énergie annuelle totale des bâtiments reste très faible en comparaison, des bâtiments d'industrie (quelques centaines de MWh/an au maximum).

Ces bâtiments n'abritant par ailleurs peu ou pas de procédés consommateurs d'énergie, leur ratio Rb/p sont largement supérieurs à 1, voire même non quantifiables dans le cas où il n'y a pas de procédés.

En ce qui concerne la serre chauffée de production de tomates, la typologie énergétique du bâtiment ressemble à celle des bâtiments d'élevage, avec une consommation procédés faible, voire très faible en comparaison de la consommation d'énergie du bâtiment.

Cependant, le conditionnement en température du bâtiment est ici extrêmement important puisque la serre est fortement chauffée et ventilée toute l'année. Le ratio de consommation du bâtiment sur les procédés est en conséquence très important : environ 600.

En définitive, on peut conclure que sur le panel de bâtiments agricoles étudiés, la consommation du bâtiment par rapport aux procédés est prépondérante mais cependant assez faible en comparaison du secteur de l'industrie (sauf cas de la serre chauffée).



5.6. Tableau récapitulatif

Ci-dessous le tableau récapitulatif de l'ensemble des bâtiments types retenus pour les projets BATINDUS 1 & 2.

n°	secteur	sous-secteur	Bâtiment	consommation d'énergie du bâtiment					répartition par poste					poste principal
				consommation annuelle	rapport Rb/p	Surfactique	Volumique	type de chauffage	chauffage	climatisation	éclairage	ventilation	ECS	
				MWh/an	Bâtiment / procédé	kWh/m²/an	kWh/m³/an	énergie	%					
2	Logistique	Entrepôt non-frigorifique	Entrepôt de stockage de grande hauteur	1291	17.2	89	3.4	gaz	9.8%	7.1%	11.9%	71.2%	-	ventilation
4			Entrepôt de stockage	828	16.5	21	1.7	gaz	37.6%	-	62.4%	-	-	éclairage
1	Industrie	Autres Industries	Usine de fabrication mécanique	794	1.2	115	16.1	gaz	73.0%	1.1%	23.2%	0.2%	2.4%	chauffage
6			Usine de plasturgie	588	0.5	96	10.5	électrique	7.0%	40.6%	35.3%	14.8%	2.2%	climatisation
5		Industrie agro-alimentaire	Usine agroalimentaire (abattoir)	473	6.3	163	29.3	électrique	15.5%	39.4%	19.6%	22.2%	3.3%	climatisation
3	Agricole	Elevage	Bâtiment d'élevage de bovins	16	7.3	7	0.9	électrique	60.4%	-	39.6%	-	-	chauffage
7	Logistique	Entrepôt non-frigorifique	Entrepôt de picking & emballage	1196	1.86	42	3.5	gaz	52.0%	11.5%	26.6%	9.9%	-	chauffage
8			Entrepôt frigorifique	2578	4.2	252	25.2	électrique	10.3%	54.7%	7.9%	27.0%	-	climatisation
9		Entrepôt frigorifique	2452.4	33.9	523.44	72.7	-	15.7%	81.9%	2.9%	0.6%	-	climatisation	
10	Industrie	Autres Industries	Usine textile	366	0.166	90.77380952	12.1031746	gaz	63.6%	13.3%	16.7%	6.4%	-	chauffage
11			Usine de préfabriqués bétons	723.6	0.3	99.1	6.741496599	électrique	76.2%	0.3%	23.2%	0%	-	chauffage
12		Industrie agroalimentaire	Usine agroalimentaire de charcuterie	6711	0.46	497	91.02564103	gaz	6.2%	62.9%	22.9%	8.0%	-	climatisation
13			Brûlerie	142	1.8	78.88888889	8.217592593	gaz	76.8%	0.4%	22.5%	0.0%	-	chauffage
14			Usine agroalimentaire de plats surgelés	3707	0.45	612.7272727	11.56089194	gaz	0.2%	90.0%	4.0%	5.8%	-	climatisation
15			Usine agroalimentaire de produits culinaires	1065	0.0109	55	6.626506024	gaz	11.4%	64.5%	24.0%	0.1%	-	climatisation
16			Usine d'emballage	297.1	0.22	57.41062802	7.758192976	gaz	26.3%	6.2%	49.1%	18.4%	-	éclairage
17	Agricole	Elevage	Elevage porcin	98.7	-	48.59675037	19.43870015	électricité	62.3%	0.0%	19.0%	18.8%	-	chauffage
18			Elevage ovins	0.5	-	0.434404865	0.051714865	-	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	-	éclairage
19			Elevage avicole	216.4	8.97	166.4615385	66.58461538	gaz	86.5%	0.0%	5.8%	7.7%	-	chauffage
20	Agricole	Serre chauffée	Serriste	8987	599	374.46	74.892	gaz	99.9%	0.0%	0.1%	0.0%	-	chauffage
21			Hangar	Hangar agricole avec PV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 25 : récapitulatif des consommations par poste pour ensemble des bâtiments

6. Étude environnementale

6.1. Présentation générale de l'outil de modélisation ?

L'Analyse de Cycle de Vie (ACV) d'un bâtiment se fait sur le cycle de vie complet du bâtiment, depuis la production des matériaux qui le composent jusqu'à sa déconstruction et au traitement des déchets (fin de vie).

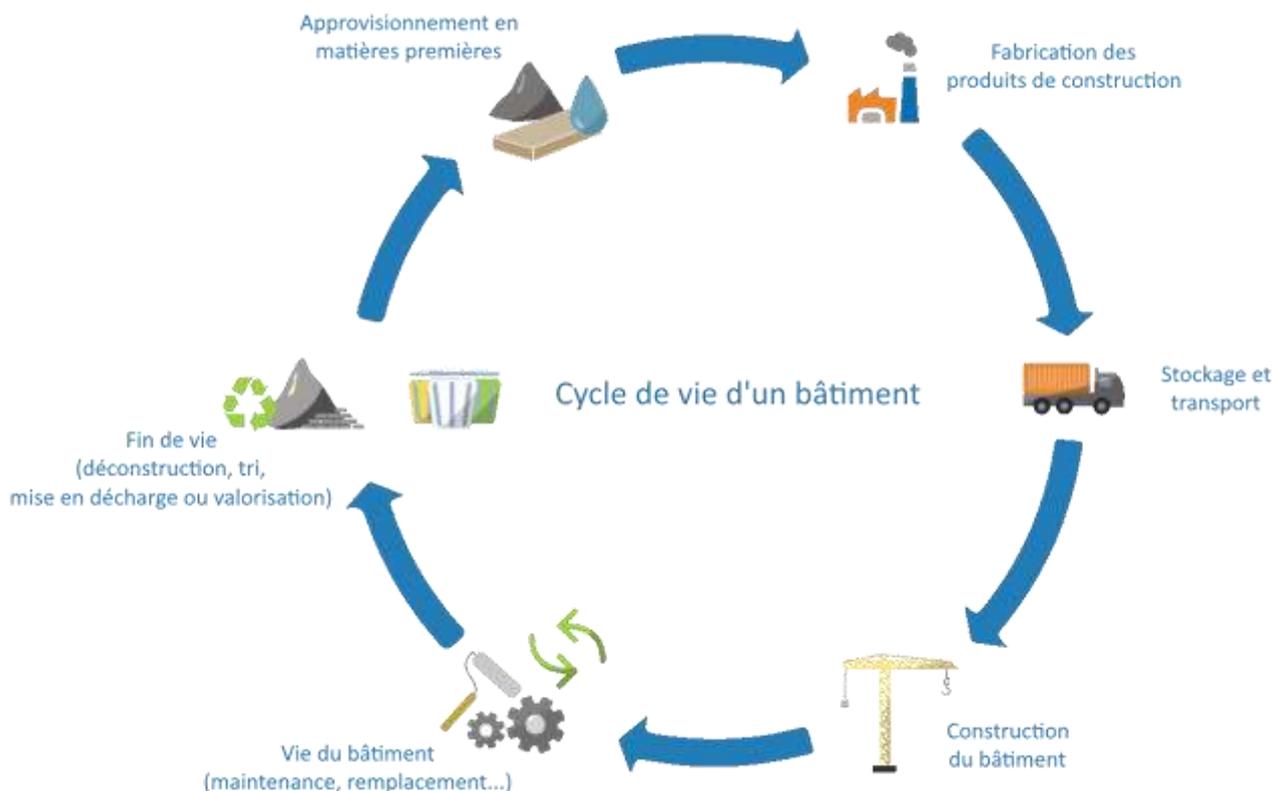


Figure 43 : Le cycle de vie d'un bâtiment

Le logiciel utilisé dans ce projet pour réaliser les études environnementales de bâtiment est Elodie Version 2, développé par le CSTB. Ce logiciel introduit la notion de « contributeur » aux impacts environnementaux d'un bâtiment sur son cycle de vie. Les contributeurs sont des regroupements d'impacts environnementaux par catégorie d'impact.

Les contributeurs sont les suivants :

- Contributeur produit et matériaux de construction,
- Contributeur équipements,
- Contributeur consommation d'énergie liées au bâti, postes RT¹,
- Contributeur consommation d'énergie liées au bâti, hors postes RT,
- Contributeur consommation d'énergie, liées à l'activité du bâtiment,
- Contributeur consommation d'eau et rejets,
- Contributeur chantier,
- Contributeur transport des usagers,
- Contributeur déchets d'activité.

Ces contributeurs interviennent sur une ou plusieurs phases du cycle de vie d'un bâtiment.

¹ Réglementation Thermique



CYCLE DE VIE →

CONTRIBUTEURS ↓	Phase de PRODUCTION (modules A1 à A3)	Phase de CONSTRUCTION (modules A4 à A5)	Phase d'UTILISATION (modules B1 à B7)	Phase de FIN DE VIE (modules C1 à C4)
PRODUITS ET EQUIPEMENTS	Aquisition matières premières, Transport, Fabrication	Transport, Processus de construction - Installation	Utilisation, Maintenance, Réparation, Remplacement, Réhabilitation	Déconstruction, Transport, Traitement, Elimination
CONSOMMATION ET PRODUCTION D'ENERGIE LIEES AU BATI			Postes RT (B6) Hors postes RT - Usages spécifiques de l'électricité (B6)	
CONSOMMATION D'ENERGIE LIEES A L'ACTIVITE			Usages spécifiques de l'électricité (B6)	
CONSOMMATION ET REJETS D'EAU			Consommation d'eau et rejets (B7)	
CHANTIER		Chantier de construction (A5)		Chantier de déconstruction (C1)
TRANSPORT DES USAGERS			Transport des usagers	
DECHETS D'ACTIVITE			Déchets d'activité	

Figure 44: Présentation des contributeurs par phase de cycle de vie

La réalisation d'une évaluation environnementale à travers le logiciel Elodie se fait en renseignant l'ensemble des contributeurs retenus pour l'évaluation. Par exemple, pour renseigner les contributeurs « produits », « équipements », « énergie » et « eau », il s'agit de :

- lister en détail tous les composants du bâtiment étudié, et leur attribuer des quantités et des données environnementales : des Fiches de Données Environnementales et Sanitaires (FDES – Produits de construction) ou des Profils Environnementaux Produit (PEP – Equipements),
- lister en détails les consommations de ressources (énergie et eau) du bâtiment et leur attribuer des Données Environnementales de Service (DES).

Le logiciel calcule ensuite les impacts environnementaux de chaque composant et ressource en fonction de leurs quantités, et les additionne pour obtenir la performance environnementale à l'échelle du bâtiment.

6.2. Méthodologie et frontière des évaluations

6.2.1. Définition des unités d'expression des résultats

Sur des bâtiments avec des hauteurs d'étage classiques (2,5 m) tel que les logements ou les bureaux, les données de référence sont exprimées couramment par m² de surface. Dans notre projet, nous étudions des bâtiments industriels de grandes surfaces, de grandes hauteurs, et qui ont pour la plupart un seul niveau. Pour de tels bâtiments, il apparaît donc également pertinent d'exprimer les données de référence non pas en fonction de la surface, mais en fonction du volume du bâtiment.

Les résultats des études environnementales du présent projet sont donc décrits :

- par m² de Surface Hors Œuvre Brute (SHOB), unité couramment utilisée dans le secteur du bâtiment,
- par m³ de volume de bâtiment, unité également intéressante au regard de la spécificité des bâtiments étudiés ici.

La SHOB d'un bâtiment est la surface de tous les planchers mesurés à l'extérieur des murs ; pour le calcul réglementaire en thermique, les surfaces de plancher des combles non aménageables ($h < 1,80\text{m}$), des locaux non clos (toitures-terrasses, balcons...), des zones de stationnement. Cela met donc en évidence une différence conséquente des surfaces de référence prise en compte pour l'étude environnementale d'une part et thermique d'autre part.

6.2.2. Contribueurs retenus

Dans ce projet, les études environnementales prennent en compte les contributeurs suivants :

- Produits et Matériaux de construction,
- Consommations d'énergies liées au bâti, postes RT,
- Consommations d'eau et rejets.

L'analyse ne prend pas en compte les impacts environnementaux (et les contributeurs associés) suivants, :

- Impacts des consommations d'énergies liées au bâti hors postes RT et des consommations d'énergies liées à l'activité,
- Impacts du contributeur équipements, liés à la fabrication, à la maintenance et à la fin de vie des équipements de génie climatique et d'éclairage,
- Impacts de la phase d'utilisation autres que ceux liés à l'énergie consommée et à la consommation d'eau par les occupants (comme par exemple les impacts liés à la maintenance et à l'entretien du bâtiment - sauf ceux déjà pris en compte au niveau des données environnementales produits),
- Impacts du contributeur transport des usagers (personnel, clients, ...),
- Impacts du contributeur chantier de construction et chantier de déconstruction, sauf les impacts de chantier déjà pris en compte dans les données environnementales produits,
- Impacts du contributeur production de déchets d'activité.

Ces indicateurs n'ont pas été considérés dans le cadre de l'étude car soit ils sont soit extrêmement variables d'un cas à l'autre, soit de moindre importance, soit exclus par choix méthodologique (ex : consommations liées aux procédés hébergés), soit exclus par manque de données.

Les impacts liés aux procédés hébergés ne sont pas pris en compte. A noter que les économies de chauffage réalisées grâce aux dégagements thermiques du procédé au sein du bâtiment sont cependant comptabilisées dans le bilan énergétique du bâtiment. Dans la même logique, l'augmentation des besoins en climatisation dues aux dégagements thermiques du procédé est également prise en compte dans le bilan énergétique du bâtiment.



Les périmètres des contributeurs considérés dans les évaluations environnementales de ce projet sont détaillés ci-dessous.

Contributeur Produits et Matériaux de construction

Les données **environnementales** des produits et matériaux de construction sont disponibles sur les bases de données courantes (INIES, Ecoinvent), dans les configurateurs de FDES (BETie pour les composants en béton prêt à l'emploi², Save-construction pour les produits en acier³, DE-Bois⁴ pour les produits bois) et pour certains cas directement auprès des fabricants. Quatre catégories de données environnementales se dégagent :

- Données disponibles et correspondant exactement au produit à modéliser (FDES spécifique individuelle ou collective),
- Données ne correspondant pas au produit à modéliser, mais possibilité d'adaptation afin de s'en approcher (FDES pour un produit similaire, utilisation d'un configurateur),
- Données non disponibles pour le produit à modéliser, mais substitution par un produit répondant à la même fonction ou une donnée par défaut (donnée générique pénalisante),
- Pas de données disponibles ou similaires.

Ce contributeur est ventilé par lot, selon le découpage retenu par l'opération pilote « HQE Performance »⁵ (qui intègre également les équipements) :

Lot	Considéré dans le périmètre d'étude
1. VRD (Voirie et Réseaux Divers)	-
2. Fondations et infrastructures	oui
3. Superstructure - Maçonnerie	oui
4. Couverture – Etanchéité - Charpente - Zinguerie	oui
5. Cloisonnement - Doublage - Plafonds suspendus - Menuiseries intérieures	oui
6. Façades et menuiseries extérieures	oui
7. Revêtements des sols, murs et plafonds - Chape - Produits de décoration	oui
8. CVC (Chauffage – Ventilation – Refroidissement - Eau Chaude Sanitaire)	-
9. Installations sanitaires	oui
10. Réseaux d'énergie électrique et de communication (courant fort et courant faible)	-
11. Sécurité des personnes et des bâtiments	-
12. Eclairage	-
13. Appareils élévateurs et autres équipements de transport intérieur	NC
14. Equipement de production locale d'électricité	NC

Tableau 26: Liste des lots considérés dans le périmètre d'étude

Les critères d'exclusion des lots sont les suivants :

- Aspects hors périmètre d'étude : Voirie et Réseaux Divers, Sécurité des personnes et des biens, ...
- Manque de données : équipements Chauffage, Ventilation, Climatisation et Eclairage,
- Faible impact dans le bilan global du bâtiment (sur base de l'expérience acquise),
- Absence de certains lots équipements pour les cas d'études sélectionnés : lots 13 et 14.

Le détail des FDES utilisée par lot est indiqué en annexe 3.

² www.snbpe.org/developpement_durable/calcullette

³ www.save-construction.com

⁴ www.de-bois.fr

⁵ <http://www.hqegbc.org/respect-environnement/acv-indicateurs/>

Contributeur **Energie (consommation d'énergie liées au bâti, postes RT)**

Ce contributeur est ventilé par poste de consommation RT :

- Chauffage,
- Refroidissement – Climatisation,
- Eclairage,
- Ventilation,
- Eau Chaude Sanitaire (ECS).

Pour ce contributeur, les données utilisées sont celles obtenues dans le cadre de l'étude énergie du projet Batindus, présentée au chapitre précédent. Le détail de ces données est indiqué dans l'annexe 4.

Contributeur **Eau (consommation d'eau et rejets)**

Ce **contributeur** est ventilé en 2 catégories :

- Les consommations d'eau,
- Les rejets d'eau.

L'estimation des consommations d'eau est réalisée à l'aide de ratios élaborés par avis d'expert des partenaires du projet. Les sources publiques sont très rares et souvent anciennes. Des fourchettes incluses dans l'étude SMEGREG-2007⁶ et des données élaborées à l'occasion d'études internes CTICM ont permis d'établir deux valeurs de référence : l'une pour l'administratif et l'autre pour les zones de production. Les usages considérés dans ce projet sont les usages courants liés au personnel : WC, lave-mains, boisson, douche, cuisine.

Les 2 ratios **retenus** sont : 10 m³/pers/an pour le personnel de bureau, et 20 m³/pers/an pour le personnel en atelier (comprenant l'eau chaude pour les douches).

Il a été considéré comme hypothèse simplificatrice que toute l'eau consommée dans un bâtiment durant sa vie en œuvre est ensuite rejetée dans le réseau d'eaux usées (quantité eau consommée = quantité eau rejetée).

Le détail de ces données d'entrée dans le logiciel de modélisation est indiqué dans l'annexe 1.

6.2.3. Hypothèses et choix méthodologique

La durée de vie de référence d'un bâtiment est fixée à 50 ans et cette donnée a été reprise dans les études environnementales.

Les données propres aux FDES utilisées n'ont pas été modifiées (ex : distance au chantier, taux de chute lors de l'installation d'un produit ...).

Si un composant a une durée de vie déclarée (dans sa FDES) inférieure à celle du bâtiment mais, si dans les faits, il n'est pas remplacé durant la vie du bâtiment, sa durée de vie est alors considérée comme identique à celle du bâtiment.

6.2.4. Indicateurs environnementaux retenus

Deux formats de données environnementales coexistaient encore durant la réalisation de ce projet :

- Le format suivant la norme NF P01-010, en vigueur jusqu'au 1er juillet 2014 (les FDES concernées ont une durée de validité de 5 ans),
- Le format suivant la norme NF EN 15804+A1, qui est la norme actuellement en vigueur.

Les indicateurs environnementaux considérés par ces normes ne sont pas tous identiques. De plus, les méthodes de calcul des indicateurs communs aux 2 normes peuvent varier entre la NF P01-010 et NF EN 15804. Les données environnementales disponibles aujourd'hui sur les bases de données reprennent ces deux formats. C'est pourquoi seuls les 9 indicateurs communs aux deux normes et présentant des méthodes de calculs similaires sont présentés dans les résultats du présent rapport.

⁶ SMEGREG - Principaux ratios de consommation d'eau - Décembre 2007



Pour une plus grande lisibilité, seuls 4 des 9 indicateurs communs ont été retenus dans le corps du rapport.

Ces quatre indicateurs ont été sélectionnés car ils sont considérés comme prioritaires pour l'évaluation de la performance environnementale du bâtiment dans la loi de Transition Energétique et pour la Croissance Verte.

Le tableau suivant présente ces quatre indicateurs environnementaux issus du logiciel Elodie.

Indicateur	Unité	Présentation
Consommation d'énergie non renouvelable	kWh PCI	<p>Somme de l'ensemble des consommations énergétiques provenant de ressources non renouvelables, à savoir : le charbon, le lignite, le gaz naturel, le pétrole et l'uranium. Exprimée en Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI).</p> <p>Cet indicateur prend en compte l'énergie primaire, c'est-à-dire la somme de l'énergie consommée par le client final et de l'énergie nécessaire à sa production et sa mise à disposition.</p> <p>Les valeurs de cet indicateur ne peuvent donc pas être directement comparées aux valeurs d'une étude thermique de bâtiment, qui elle ne prend en compte que l'énergie consommée par le bâtiment.</p> <p><i>Rappel : l'énergie consommée par les procédés abrités est exclue</i></p>
Changement climatique	kg éq CO ₂	<p>Effet de réchauffement à l'horizon 100 ans des émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, notamment les émissions de dioxyde de carbone (CO₂), protoxyde d'azote (N₂O), ou méthane (CH₄).</p> <p>L'électricité en France est majoritairement produite par des centrales nucléaires, faiblement émettrices de CO₂. La consommation de ressources fossiles (gaz, fioul, charbon ...) est fortement émettrice de CO₂.</p> <p>Généralement, les postes de consommation Eclairage, Ventilation et Climatisation fonctionnent à l'électricité. Lorsque les postes Chauffage et ECS sont alimentés en énergies fossiles, ce sont eux qui concentrent la majorité des impacts CO₂ du contributeur Energie.</p>
Consommation d'eau	litre	<p>Volume brut d'eau prélevé en entrée à l'exception des consommations d'eau relatives au refroidissement ou au fonctionnement de certains procédés avec une restitution au milieu naturel.</p>
Déchets non dangereux	kg	<p>Somme des déchets dangereux générés et éliminés par incinération ou enfouissement.</p> <p><i>Note : Après analyse des résultats et échange avec le SNBPE, il a été vérifié que les données concernant les déchets non dangereux éliminés provenant de l'outil BETie sont erronées. Les résultats pour le contributeur Produits et Matériaux de construction sont donc à prendre avec précaution.</i></p>

Tableau 27: Liste des indicateurs considérés dans le périmètre d'étude

Les résultats de l'ensemble des 9 indicateurs calculés au moyen du logiciel Elodie sont toutefois disponibles à titre informatif dans l'annexe 5.

1.1.1. Mise en forme des résultats

5%	Contribution environnementale inférieure à 10 %
15%	Contribution environnementale de 10% à 20%
25%	Contribution environnementale supérieure à 20%

6.3. Résultats et analyse

Pour les 15 cas d'étude traités dans le cadre de BATINDUS 2, un tableau présente les résultats ACV pour les 4 indicateurs mentionnés précédemment. Ces résultats sont exprimés, pour le cycle de vie complet du bâtiment (50 ans), par m² SHOB et par m³ de volume de bâtiment, et précisent la répartition pour chaque contributeur. Les résultats calculés pour l'ensemble des 9 indicateurs communs sont présentés en annexe.

6.3.1. Entrepôt de picking et d'emballage, à structure béton (bât. 7)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	5 036	420	12,5%	87,5%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	521	43	35,2%	64,8%	0,0%
Consommation d'eau	L	8 717	726	14,3%	85,7%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	277	23	82,0%	18,0%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 4. Toitures terrasse et 7. Revêtement de sol

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 28: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt de picking et d'emballage à structure béton

6.3.2. Entrepôt frigorifique (froid positif), à structure acier (bât. 8)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	38 795	3 934	2,1%	97,9%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	1 283	130	17,3%	82,7%	0,0%
Consommation d'eau	L	88 403	8 965	1,7%	98,3%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	793	80	30,5%	69,5%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Superstructure - Maçonnerie
4. Couverture – Etanchéité

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Climatisation - Refroidissement

Tableau 29: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt frigorifique à structure acier



6.3.3. Entrepôt frigorifique (froid négatif), à structure béton (bât. 9)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ²	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	98 975	19 795	0,5%	99,5%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	2 929	586	5,1%	94,9%	0,0%
Consommation d'eau	L	226 526	45 305	0,7%	99,3%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	1 598	320	10,6%	89,4%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Façades, Superstructure et Maçonnerie

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 30: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt frigorifique à structure béton

6.3.4. Usine de fabrication de tissu, à structure acier (bât. 10)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	8 353	1 213	8,0%	92,0%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	939	136	22,0%	78,0%	0,0%
Consommation d'eau	L	12 702	1 845	11,2%	88,8%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	275	40	71,8%	28,2%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lot prépondérant : 3. Superstructure - Maçonnerie

Contributeur Energie :

--> Postes prépondérants : Chauffage
Eclairage

Tableau 31: Indicateurs environnementaux de l'usine de fabrication de tissus à structure acier

6.3.5. Usine de produits de construction préfabriqués en béton, à structure béton (bât. 11)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	16 486	1 122	4,0%	96,0%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	625	43	29,2%	70,8%	0,0%
Consommation d'eau	L	39 040	2 656	7,2%	92,8%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	485	33	52,5%	47,5%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Façades, Superstructure et Maçonnerie

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 32: Indicateurs environnementaux de l'usine de produits de construction préfabriqués en béton à structure béton

6.3.6. Usine agroalimentaire de charcuterie, à structure acier (bât. 12)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	73 642	9 751	2,4%	97,6%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	2 767	366	19,4%	80,6%	0,0%
Consommation d'eau	L	165 998	21 981	2,6%	97,4%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	1 970	261	47,8%	52,2%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lot prépondérant : 3. Superstructure - Maçonnerie

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Climatisation - Refroidissement

Tableau 33 : Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de charcuterie à structure acier

6.3.7. Brûlerie (fabrication de cafés), à structure bois (bât. 13)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	6 896	717	10,5%	89,4%	0,1%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	958	100	20,2%	79,7%	0,1%
Consommation d'eau	Litres	10 099	1 050	15,2%	68,3%	16,5%
Déchets non dangereux	kg	243	26	78,7%	20,8%	0,5%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Superstructure - Maçonnerie
4. Couverture - Etanchéité - Charpente - Zinguerie

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 34: Indicateurs environnementaux de la brûlerie à structure bois

6.3.8. Usine agroalimentaire de plats surgelés, à structure béton (bât. 14)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	101 769	10 177	0,4%	99,6%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	2 979	298	4,5%	95,5%	0,0%
Consommation d'eau	L	233 218	23 322	0,6%	99,4%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	1 661	166	11,4%	88,6%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 4. Toiture

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Climatisation

Tableau 35: Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de plats surgelés à structure béton



6.3.9. Usine agroalimentaire de produits culinaires, à structure acier (bât. 15)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	9 382	1 135	13,4%	86,6%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	593	72	51,3%	48,7%	0,0%
Consommation d'eau	L	19 962	2 414	10,6%	89,4%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	454	55	74,9%	25,1%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lot prépondérant : 3. Superstructure - Maçonnerie
4. Couverture – Etanchéité

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Climatisation - Refroidissement

Tableau 36: Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de produits culinaires à structure acier

6.3.10. Usine d'embouteillage, à structure bois (bât. 16)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	8 418	1 190	10,1%	89,9%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	583	82	38,4%	61,5%	0,1%
Consommation d'eau	Litres	18 273	2 561	10,0%	84,9%	5,1%
Déchets non dangereux	kg	395	55	74,5%	25,4%	0,2%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 4. Couverture - Etanchéité - Charpente - Zinguerie
3. Superstructure - Maçonnerie

Contributeur Energie :

--> Postes prépondérants : Eclairage
Chauffage

Tableau 37: Indicateurs environnementaux de l'usine d'embouteillage à structure bois

6.3.11. Maternité porcine, à structure béton (bât. 17)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	7 133	2 547	11,3%	88,7%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	371	133	52,4%	47,6%	0,0%
Consommation d'eau	L	16 951	6 054	14,6%	85,4%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	485	173	81,0%	19,0%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Planchers et dalles, Superstructure

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 38: Indicateurs environnementaux de la maternité porcine à structure béton

6.3.12. Bergerie (élevage d'ovins), à structure bois (bât. 18)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	383	46	82,6%	17,4%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	80	10	97,7%	2,3%	0,0%
Consommation d'eau	Litres	224	27	32,0%	68,0%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	162	19	99,4%	0,6%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 4. Couverture - Etanchéité - Charpente - Zinguerie

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Eclairage

Tableau 39: Indicateurs environnementaux de la bergerie à structure bois

6.3.13. Bâtiment d'élevage avicole, à structure acier (bât. 19)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	11 827	3 639	4,5%	95,5%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	1 884	580	8,6%	91,4%	0,0%
Consommation d'eau	L	10 495	3 229	17,3%	82,7%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	170	52	58,1%	41,9%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lots prépondérants : 3. Superstructure - Maçonnerie
5. Doublage - Plafonds suspendus

Contributeur Energie :

--> Postes prépondérants : Chauffage
Ventilation

Tableau 40: Indicateurs environnementaux du bâtiment d'élevage avicole à structure acier

6.3.14. Serre de culture de tomates, à structure acier (bât. 20)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Energie non renouvelable	kWh	20 416	4 117	3,7%	96,3%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	4 268	881	3,2%	96,8%	0,0%
Consommation d'eau	L	2 889	542	49,6%	50,4%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	104	21	52,0%	48,0%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

--> Lot prépondérant : 4. Couverture – Etanchéité

Contributeur Energie :

--> Poste prépondérant : Chauffage

Tableau 41: Indicateurs environnementaux de la serre de culture de tomates à structure acier



6.3.15. Hangar agricole avec panneaux PV, à structure acier (bât. 21)

Indicateurs environnementaux	Unités	Total / m ² SHOB	Total / m ³	Répartition par contributeur (%)		
				Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Contributeur Eau
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	1 632	274	100,0%	0,0%	0,0%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	538	80	100,0%	0,0%	0,0%
Consommation d'eau	L	16 818	2 510	100,0%	0,0%	0,0%
Déchets non dangereux	kg	439	66	100,0%	0,0%	0,0%

Contributeur Produits et Matériaux de construction

-> Lot prépondérant : 13. Equipement de production locale d'électricité

Contributeur Energie :

-> Poste prépondérant : Néant

Bénéfices au-delà du cycle de vie du bâtiment (électricité produite localement et exportée)

Indicateurs environnementaux	Unités	Contributeur Energie		
		/ m ² SHOB	/ m ³	% par rapport au Total cycle de vie du bâtiment
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	-26 320	-3 928	-1436,3%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	-736	-110	-136,9%
Consommation d'eau	L	-60 229	-8 989	-358,1%
Déchets non dangereux	kg	-337	-50	-76,7%

Nota : Les valeurs négatives traduisent un bénéfice environnemental sur les indicateurs concernés

Tableau 42: Indicateurs environnementaux du hangar agricole à structure acier

6.4. Analyse des résultats

Dès qu'un bâtiment consomme de l'énergie pour conditionner en température l'ambiance, le contributeur Energie est plus impactant que le contributeur Produits et Matériaux de construction, et ce, quelle que soit la typologie du bâtiment ou la structure mise en œuvre. Nous constatons au regard des 21 cas étudiés que l'impact du conditionnement en température varie selon les besoins du bâtiment (impacts du plus petit au plus grand) : besoins en chauffage ou refroidissement, besoins en froid positif, besoins en froid négatif.

Dans la plupart des cas, la majeure partie des impacts des Produits et Matériaux de construction proviennent de la superstructure, sauf dans le cas de structures très simples pour lesquelles les impacts sont majoritairement liés à la couverture de l'ouvrage (par exemple Bat7 entrepôt de picking et emballage).

Quand le bâtiment consomme très peu d'énergie, comme le bâtiment n°18 (la bergerie), le contributeur Produits et Matériaux de construction devient plus important que le contributeur Energie pour tous les indicateurs, sauf pour la consommation d'eau. En effet, le mix électrique français est majoritairement issu de la filière nucléaire et est peu carboné, mais très consommateur d'eau.

Le cas du hangar est très spécifique car il est le seul à produire de l'énergie, sans en consommer. Lorsque toute la toiture de l'ouvrage est recouverte de panneaux photovoltaïques, alors les impacts du contributeur Produits et Matériaux de construction sont principalement dus aux panneaux.

6.5. Synthèse des résultats de Batindus 1 & 2

Indicateurs environnementaux	Unités	2	4	7	8	9	1	6
		Entrepôt de stockage de grande hauteur	Entrepôt de stockage	Entrepôt de picking & emballage	Entrepôt frigorifique (froid positif)	Entrepôt frigorifique (froid négatif)	Usine de fabrication mécanique	Usine de plasturgie
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh / m² SHOB	14 984	7 121	5 036	38 795	99 437	10 001	16 413
	kWh / m3	576	573	420	3934	19 887	1 498	1 713
Changement climatique	kg éq. CO2 / m² SHOB	920	503	521	1 283	3 069	1 214	616
	kg éq. CO2 / m3	35	40	43	130	614	182	65
Consommation d'eau	L / m² SHOB	32 570	14 127	8 717	88 403	227 937	23 559	38 650
	L / m3	1 253	1 137	726	8 965	45 587	3 530	4 102
Déchets non dangereux	kg / m² SHOB	814	357	277	793	1 720	265	475
	kg / m3	31	29	23	80	344	40	50

Hauteur au faitage	26 m	12,4 m	12 m	10,4 m	7,5 m	7,65 m	11,4 m
Caractéristiques du bâtiment	grande hauteur, besoin important en ventilation, bâtiment chauffé et climatisé	chauffage hors-gel (5°), bien isolé		besoin important en réfrigération	besoin important en réfrigération	bâtiment classique (atelier chauffé + bureaux)	procédés de fabrication exothermiques, besoin important en refroidissement
Energies	chauffage au gaz	chauffage au gaz	tout électrique	tout électrique	pratiquement tout électrique	chauffage au gaz	tout électrique
Type de conditionnement principal	Chauffé et climatisé	Hors gel	Chauffé	Froid industriel positif	Froid industriel négatif	Chauffé	Chauffé
Structure principale	Acier	Bois	Béton	Acier	Béton	Acier	Béton
Consignes Plage de T	17 - 25 °C	> 5 °C	14 à 18 °C	2°C à 12,5°C (selon zones)	Stockage : -20 °C	Atelier : > 16 °C Bureaux : 20 - 24 °C	Atelier : > 16 °C Bureaux : 18 - 25 °C
Fichier météo	Lyon	Paris	Lyon	Paris	Paris	Clermont-Ferrand	Paris

Consommation d'Énergie non renouvelable	Contributeur PCE	11,4%	5,8%	12,5%	2,1%	1,0%	5,1%	3,9%
	Contributeur Énergie	88,6%	94,2%	87,5%	97,9%	99,0%	94,7%	96,1%
	Contributeur Eau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%
Changement climatique	Contributeur PCE	50,5%	21,6%	35,2%	17,3%	9,5%	10,2%	29,6%
	Contributeur Énergie	49,5%	78,3%	64,8%	82,7%	90,5%	89,4%	70,4%
	Contributeur Eau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,4%	0,0%



Indicateurs environnementaux	Unités	10	11	5	12	13	14	15
		Usine de fabrication de tissu	Usine de produits de construction préfabriqués en béton	Usine agroalimentaire (abattoir)	Usine agroalimentaire de charcuterie	Brûlerie (fabrication de cafés)	Usine agroalimentaire de plats surgelés	Usine agroalimentaire de produits culinaires
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh / m² SHOB	8 353	16 486	25 662	73 642	6 896	101 769	9 382
	kWh / m3	1 213	1 122	2 584	9 751	717	10 177	1 135
Changement climatique	kg éq. CO2 / m² SHOB	939	625	872	2 767	958	2 979	593
	kg éq. CO2 / m3	136	43	88	366	100	298	72
Consommation d'eau	L / m² SHOB	12 702	39 040	675 20	165 998	10 099	233 218	19 962
	L / m3	1 845	2 656	6 799	21 981	1 050	23 322	2 414
Déchets non dangereux	kg / m² SHOB	275	485	734	1 970	243	1 661	454
	kg / m3	40	33	74	261	25	166	55

Hauteur au faîtage	7,65 m	14,6 m	12 m	11 m	9,6 m	10 m	8,3 m
Caractéristiques du bâtiment	bâtiment classique (atelier partiellement chauffé)		be soin important en réfrigération	be soin important en réfrigération	bâtiment classique (atelier chauffé + bureaux)	be soin important en réfrigération	procédés de fabrication exothermiques
Energies	chauffage au gaz	tout électrique	tout électrique	tout électrique	chauffage au gaz	pratiquement tout électrique	chauffage au gaz
Type de conditionnement principal	Chauffé	Chauffé	Froid industriel positif	Froid industriel positif	Chauffé	Froid industriel positif et négatif	Chauffé
Structure principale	Acier	Béton	Béton	Acier	Bois	Béton	Acier
Consignes Plage de T	20°C ou pas de conditionnement (selon zones)	Atelier: > 16°C Bureaux: 18- 24°C	< 4°C	-2°C à 20°C (selon zones)	> 20°C	-20°C à > 18°C (selon zones)	> 20°C ou néant (selon zones)
Fichier météo	Lyon	Paris	Lyon	Strasbourg	Bordeaux	Paris	Paris

Consommation d'Énergie non renouvelable	Contributeur PCE	8,0%	4,0%	2,5%	2,4%	10,5%	0,4%	13,4%
	Contributeur Énergie	92,0%	96,0%	97,4%	97,6%	89,4%	99,6%	86,6%
	Contributeur Eau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
	Total	100,0%	100,0%	99,9%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Changement climatique	Contributeur PCE	22,0%	29,2%	19,2%	19,4%	20,2%	4,5%	51,3%
	Contributeur Énergie	78,0%	70,8%	80,7%	80,6%	79,7%	95,5%	48,7%
	Contributeur Eau	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%



Indicateurs environnementaux	Unités	16	3	17	18	19	20	21
		Usine d'embouteillage	Bâtiment d'élevage de bovins	Marternité porcine	Bergerie (élevage d'ovins)	Bâtiment d'élevage avicole	Serre de culture de tomate	Hangar agricole (sans panneaux PV)
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh / m² SHOB	8 418	1 571	7 133	383	11 827	20 416	460
	kWh / m3	1 180	216	2547	46	3 639	4 117	69
Changement climatique	kg éq. CO2 / m² SHOB	583	141	371	80	1 884	4 268	150
	kg éq. CO2 / m3	82	19	133	10	580	861	22
Consommation d'eau	L / m² SHOB	18 273	3 239	16 951	224	10 495	2 689	756
	L / m3	2 561	446	6 054	27	3 229	542	113
Déchets non dangereux	kg / m² SHOB	395	397	485	162	170	104	213
	kg / m3	55	55	173	19	52	21	32

Hauteur au faîtage	7,4 m	7,3 m	2,8 m	8,3 m	4 m	5,25 m	9,4 m
Caractéristiques du bâtiment	procédés de fabrication exothermiques	élevage de bovins, uniquement chauffage d'appoint en zone de traite	animaux avec chaleur latente, besoin important en ventilation	pas de chauffage	besoin important en chauffage	besoin important en chauffage	produit de l'électricité d'origine renouvelable
Energies	chauffage au gaz	tout électrique	tout électrique	pas d'énergie sauf éclairage	chauffage au gaz	chauffage au gaz	pas d'énergie
Type de conditionnement principal	Chauffé	Hors gel	Chauffé	Eclairage seul (non chauffé)	Chauffé	Chauffé	Néant
Structure principale	Bois	Bois	Béton	Bois	Acier	Acier	Acier
Consignes Plage de T	Atelier: > 19°C Stockage: > 12°C	Salle de traite: > 5°C	Temp. mini entre 20 et 26°C selon zones	-	22°C en moyenne	> 17°C	-
Fichier météo	Limoges	Clermont-Ferrand	Rennes	Néant	Brest	Nantes	Néant

Consommation d'Énergie non renouvelable	Contributeur PCE	10,1%	30,7%	11,3%	83,0%	4,5%	3,7%	100,0%
	Contributeur Énergie	89,9%	69,3%	88,7%	17,0%	95,5%	96,3%	0,0%
	Contributeur Eau	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
Changement climatique	Contributeur PCE	38,4%	78,4%	52,4%	98,0%	8,6%	3,2%	100,0%
	Contributeur Énergie	61,5%	21,6%	47,6%	2,0%	91,4%	96,8%	0,0%
	Contributeur Eau	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
	Total	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%



6.6. Analyse transversale des résultats de Batindus 1 & 2

L'analyse faite à partir des valeurs présentées ci-dessus et des résultats de l'étude Batindus 1 permet de dégager des premières tendances, restant toutefois à confirmer étant donné le nombre de cas étudiés.

6.6.1. Consommation d'énergie non renouvelable

Le graphique ci-dessous présente l'indicateur « Consommations d'énergie non renouvelable » des 21 cas d'études, exprimé d'abord par m² SHOB, puis par m³ pour tout le cycle de vie (contributeurs produits et matériaux de construction, énergie et eau).

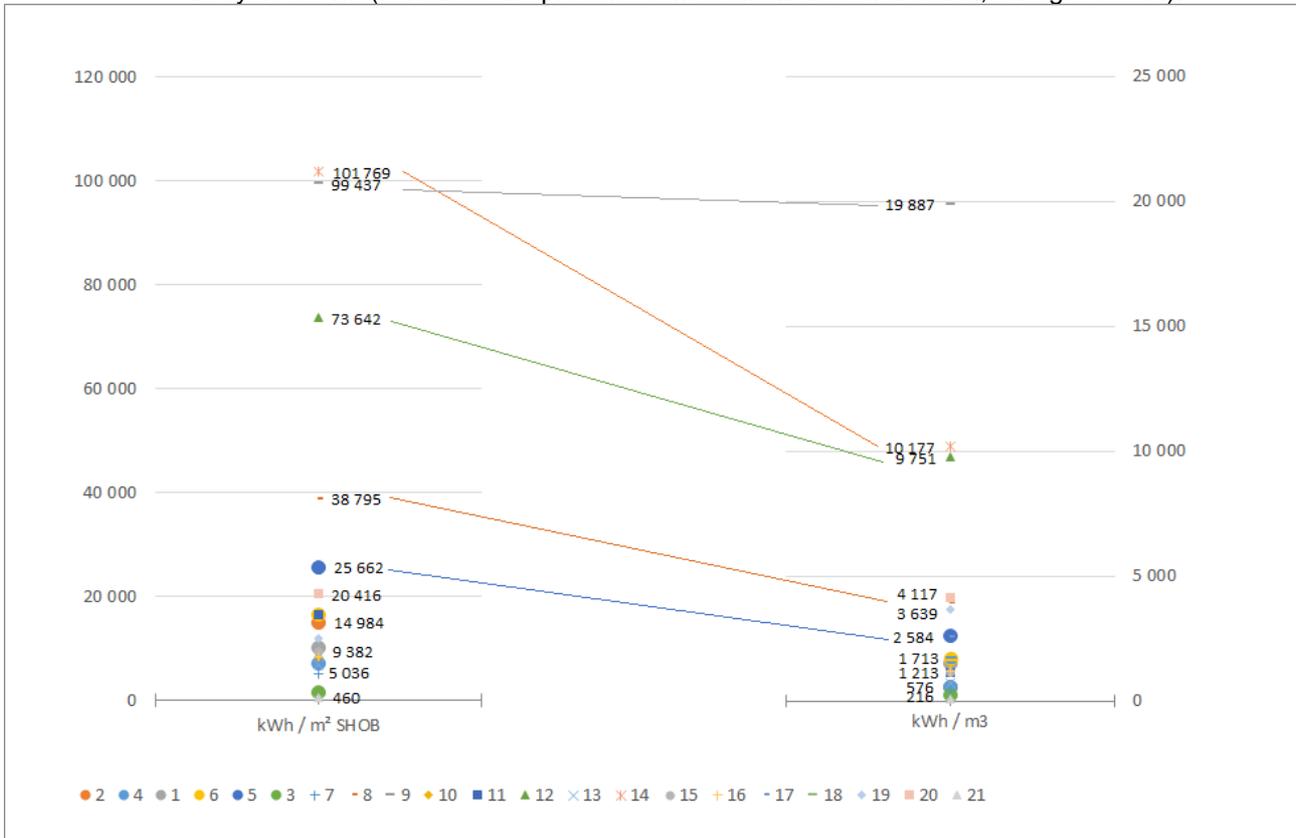


Figure 45: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m² SHOB et m³ pour la totalité du cycle de vie

N° du bâtiment		9	14	12	8	20	19	17
Conso énergie non renouvelable	kWh PCI/m3	19 887	10 177	9 751	3 934	4 117	3 639	2 547
	%	100%	51%	49%	20%	21%	18%	13%

N° du bâtiment		5	1	10	13	16	15	6
Conso énergie non renouvelable	kWh PCI/m3	2 584	1 498	1 213	717	1 180	1 135	1 713
	%	13%	8%	6%	4%	6%	6%	9%

N° du bâtiment		11	4	7	2	3	18	21
Conso énergie non renouvelable	kWh PCI/m3	1 122	573	420	576	216	46	69
	%	6%	3%	2%	3%	1%	0%	0%

Tableau 43: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m³ pour la totalité du cycle de vie et positionnement par rapport au maximum observé

Malgré le panel des cas étudiés, il n'est pas possible de dégager des tendances nettes par typologie de bâtiment ou par système constructif.

En revanche, comme nous pouvions le pressentir, les bâtiments peu consommateurs en énergie (n°3, 5, 7, 13 et 21) sont ceux pour lesquels la demande énergétique est la plus faible. Les bâtiments conditionnés en froid (n°8, 9, 12 et 14) ont des besoins énergétiques très importants et sont ceux qui consomment le plus.

N° du bâtiment		2	4	7	8	9	1	6
Conso énergie non renouvelable (kWh PCI/m3)	Total	576	573	420	3 934	19 887	1 498	1 713
	PCE	66	33	53	83	199	76	67
	Energie	510	540	368	3 851	19 688	1 419	1 646

N° du bâtiment		10	11	5	12	13	14	15
Conso énergie non renouvelable (kWh PCI/m3)	Total	1 213	1 122	2 584	9 751	717	10 177	1 135
	PCE	97	45	67	263	75	31	152
	Energie	1 116	1 077	2 514	9 517	641	10 136	983

N° du bâtiment		16	3	17	18	19	20	21
Conso énergie non renouvelable (kWh PCI/m3)	Total	1 180	216	2 547	46	3 639	4 117	69
	PCE	119	73	288	38	164	152	69
	Energie	1 061	143	2 259	8	3 475	3 965	0

Tableau 44: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m³ pour la totalité du cycle de vie et pour les contributeurs Produits et Matériaux de construction (PCE) et pour le contributeur Energie

Cette analyse se trouve renforcée si l'on s'intéresse uniquement aux résultats du contributeur énergie en utilisation des bâtiments. Comme présenté dans le tableau ci-dessus, la consommation d'énergie liée à l'utilisation du bâtiment (hors process) écrase la



part liée aux matériaux de construction. Cette tendance s'observe pour tous les bâtiments, exceptés ceux qui ne sont pas conditionnés en température.

Une approche similaire a été réalisée pour le contributeur produits et matériaux de construction, mais aucune corrélation (consommation énergétique selon typologie bâtiment/mode de construction/nature du chauffage, etc.) ne semble se détacher. La figure présentant ces résultats est disponible en Annexe.

Par ailleurs, concernant l'indicateur « consommation d'eau », cette analyse conduirait aux mêmes conclusions, compte-tenu du lien fort entre cet indicateur et l'indicateur « Consommation d'énergie non renouvelable ».

6.6.2. Changement climatique

Le graphique ci-dessous présente l'indicateur « Changement climatique » des 21 cas d'études, exprimé d'abord par m² SHOB, puis par m³ pour tout le cycle de vie (contributeurs produits et matériaux de construction, énergie et eau).

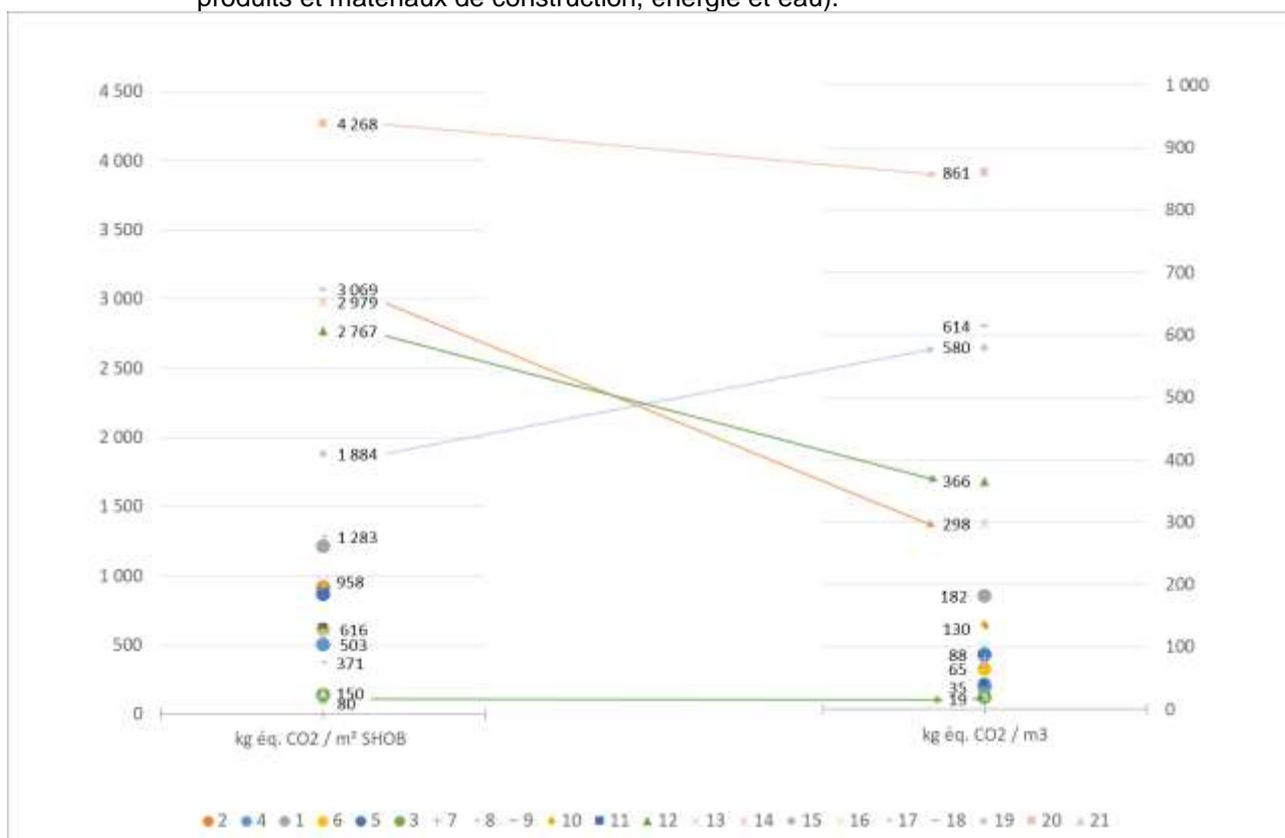


Figure 46: Résultats pour le changement climatique par m² SHOB et m³ pour la totalité du cycle de vie

Comme pour la consommation d'énergie, le périmètre des 21 cas d'étude ne permet pas de dégager de corrélation entre l'influence de la typologie ou de la structure du bâtiment et les résultats de l'indicateur changement climatique pour le total du cycle de vie.

Toutefois, des tendances semblent se détacher lorsque l'analyse est réalisée sur les contributeurs « produits et matériaux de construction ».

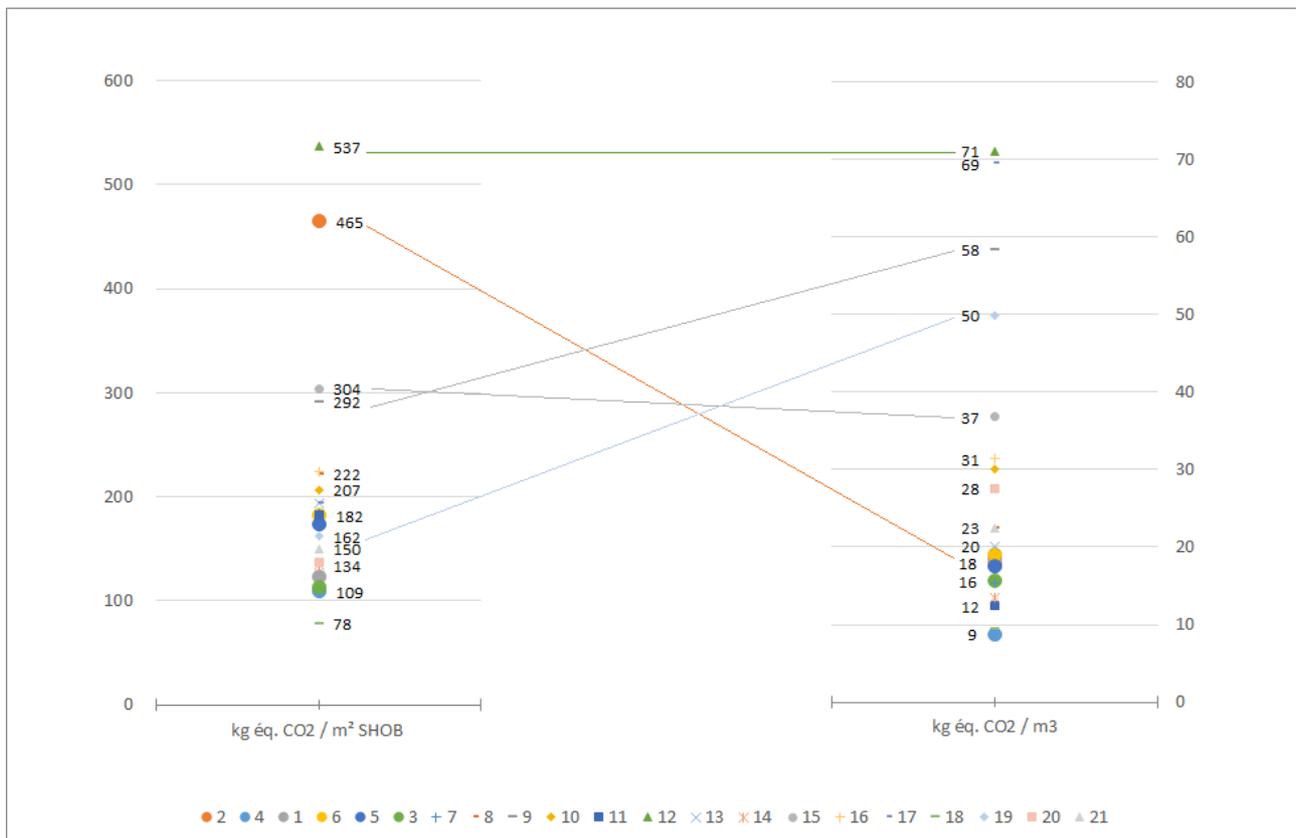


Figure 47: Résultats pour le changement climatique par m² SHOB et m³ pour le contributeur produits et matériaux de construction

Si l'on regarde uniquement l'influence des produits et matériaux de construction sur l'indicateur de changement climatique, certains bâtiments à structure acier (n°12 et 19) ou béton (n°9 et 17) sont plus impactants que d'autres par exemple les bâtiments à structure bois (n°4 et 18) ou béton (n°11 et 14), considérant ici que tous les composants n'ont pu être étudiés notamment les équipements de chauffage, de climatisation ou les luminaires à l'origine de la consommation énergétique. On remarque aussi que l'indicateur rapporté au m² SHOB n'est pas forcément approprié pour de tels bâtiments à fort volume. Une approche similaire a été réalisée pour le contributeur « énergie », mais aucune corrélation ne semble se détacher. Les figures présentant ces résultats sont disponibles en Annexe.

6.6.3. Groupe de bâtiments

Sur la base des résultats générés (hormis pour les 3 bâtiments ne consommant pas d'énergie), nous observons que 85 à 99 % des impacts de l'indicateur consommation d'énergie non renouvelable sont liés au contributeur Energie.

Cette répartition est moins fréquente sur des bâtiments de bureaux ou de logements. Cela s'explique par le fait que les bâtiments industriels sont majoritairement des bâtiments de construction simple offrant des volumes plus importants. La densité (quantité de matériau / volume mis à disposition) du bâtiment est donc moindre, d'où des impacts du contributeur produit et matériaux de construction significativement réduits.



Sur la base des résultats obtenus sur le cycle de vie complet, nous proposons de regrouper les bâtiments selon leur profil énergétique à travers 6 groupes, auxquels nous associons les intervalles constatés de consommation d'énergie :

N° du Groupe	Groupe de bâtiments	Niveau de consommation d'énergie	Indicateur Conso Energie non renouvel pour l'ensemble des contributeurs (kWh PCI / m3)	Nb de bât. étudiés dans Batindus
1	Bâtiment agricole ne consommant pas ou peu d'énergie	faible	entre 0 et 300	3
2	Entrepôt de stockage non-frigorifique	réduit	entre 400 et 600	3
3	Bâtiment de production industrielle "classique" (sans un fort conditionnement d'ambiance)	moyen	entre 700 et 1700	7
4	Bâtiments avec besoins marqués en chauffage ou ventilation	important	entre 2 500 et 4 000	3
5	Bâtiment avec froid industriel positif	très important	entre 4 000 et 10 000	3
6	Bâtiment avec froid industriel négatif	très très important	20 000	1

Tableau 45 : niveau d'énergie en fonction du groupe de bâtiment

L'application de cette démarche à l'indicateur changement climatique ne permet pas d'apporter d'informations particulières. Cela est notamment dû au mix énergétique employé dans les différents bâtiments : certains fonctionnent exclusivement à l'électricité (faiblement émetteur de CO₂) et d'autres au gaz (fortement émetteur de CO₂).

Une analyse similaire sur le contributeur PCE ne permet pas de tirer des conclusions significatives pour réaliser des rapprochements de typologies de bâtiments. Il ressort cependant qu'une large majorité des bâtiments industriels étudiés se situe dans un intervalle entre 9 et 37 kg éq. CO₂ / m³ sur l'indicateur de Réchauffement climatique pour le contributeur PCE, avec un plafonnement à 71 kg éq. CO₂ / m³ pour le bâtiment le plus impactant.

Ces valeurs ne prennent en compte qu'une partie des lots de la construction et de plus pour une partie des composants (produits) des données environnementales par défauts ont été nécessaires. Les valeurs de résultats obtenus doivent être pris comme une observation et ne permettent pas un constat général.

6.7. Limites et perspectives

6.7.1. Limites

Liées aux bâtiments

Lors de la recherche des cas d'étude, le choix des bâtiments a très vite été confronté au secret professionnel empêchant l'utilisation de l'ouvrage sélectionné bien que celui-ci soit le plus pertinent et le plus représentatif de sa catégorie. Les bâtiments ont été étudiés selon les autorisations reçues et le panel obtenu n'est pas exhaustif ni le plus représentatif du parc français. Le choix a été d'autant plus difficile qu'il fallait trouver des bâtiments de structure bien définie afin de conserver la représentativité de chaque matériau de construction.

Après cette étude, il ressort que chaque bâtiment industriel est un cas relativement unique et qu'il est difficile de faire des rapprochements. Certaines corrélations ont pu être démontrées dans le volet 1 du projet BATINDUS sur un nombre limité de cas. Cependant, avec l'ajout de nouveaux ouvrages dans le volet 2, ces corrélations ne sont pas toutes confirmées. Il pourrait être intéressant de compléter le panel avec d'autres typologies de bâtiment (industrie chimique ou pharmaceutique par exemple) et d'autres systèmes constructifs.

Liées à la réalisation des ACV

La collecte des données est une étape cruciale en analyse de cycle de vie et conditionne le degré de précision de l'étude. Cependant, dans le cas d'une étude d'ouvrages déjà construits, cette collecte est liée aux données conservées par les industriels. Selon les bâtiments nous avons ainsi pu avoir des données complètes (produits mis en œuvre et audit énergétique), des données partielles (plans associés à une visite d'usine) ou issues de la bibliographie.

La réalisation de l'Analyse de Cycle de Vie (ACV) est ensuite déterminée par le choix des données environnementales. Les choix ont été orientés pour sélectionner la donnée la plus juste possible : FDES du produit ou fiche configurée (pour les données acier et béton prêt à l'emploi). Cependant, les données des produits de construction ne sont pas toujours disponibles et il est ainsi impossible de calculer l'impact de tous les éléments d'un bâtiment, une fois celui-ci construit. De plus, les FDES existantes ont une durée de vie limitée dans le temps et peuvent imposer des aléas à la pratique de l'ACV : elles peuvent en cours de projet devenir inaccessibles (périmées) sans être remplacée, ou alors être remplacée par une nouvelle fiche aux données environnementales actualisées.

La réalisation de l'ACV est également influencée par le praticien. Cette variable a pu être, en partie, corrigée par un regard croisé des experts travaillant sur le projet.

Liées à l'impact de l'énergie

Bien que les procédés ne soient pas étudiés dans ce projet, l'énergie consommée en phase d'exploitation (pour le conditionnement de l'ambiance, la température & la ventilation) reste prépondérante dans l'analyse des résultats.

6.7.2. Perspectives

La quantité de béton des fondations d'un bâtiment industriel est significativement plus faible que celle du dallage : par exemple, dans le cas d'étude du bâtiment de production manufacturière étudié dans le volet Batindus 1, le volume de béton des fondations représente 2,5 % du béton de dallage. La modélisation environnementale pourrait être simplifiée en ne prenant pas en compte dans l'étude les impacts des fondations en béton, car jugées négligeables, et en comptabilisant uniquement le dallage en béton du bâtiment. Cela représenterait un gain de temps dans la réalisation de la modélisation, en évitant les calculs de dimensionnement des fondations.

Par ailleurs, la première partie du projet Batindus 1 a mis en évidence des durées de vie typiques différentes selon les types de bâtiments. Il serait intéressant d'étudier les bâtiments sur des durées de vie plus proches de la pratique constatée. Par exemple, les bâtiments de logistique pourraient être étudiés sur 25 ans et non pas 50 (Durée de vie de référence).

Concernant ces deux derniers points une analyse de sensibilité a été réalisée et est présentée en phase 3.

Il paraît important d'élargir le périmètre d'étude aux équipements installés dans le bâtiment, et notamment les éclairages ou les équipements de génie climatique (chaudière, chauffe-eau, caisson de ventilation ...). L'utilisation des PEP (profils environnementaux de produits) dans une étude environnementale de bâtiment nécessite un travail préalable d'adaptation des données environnementales pour correspondre au cadre de l'étude.

Les bases de données environnementales (produit de construction et équipement) s'étoffent et s'actualisent continuellement. A l'avenir, elles permettront l'accès à plus de choix de produits et d'équipements pour de futures études environnementales de bâtiments.

6.8. Conclusions de l'analyse transversale

Dès qu'un bâtiment consomme de l'énergie pour un conditionnement d'ambiance ou un maintien à une température de consigne, le contributeur Energie est prépondérant et plus impactant que le contributeur Produits et Matériaux de construction, et ce, quelle que soit la typologie du bâtiment ou la structure mise en œuvre. Des analyses de sensibilité portant sur les paramètres énergétiques sont donc principalement menées en phase 3 de ce projet.

En se focalisant sur l'évolution de l'indicateur changement climatique pour le seul contributeur produits et matériaux de construction, les bâtiments à structure acier (n°12 et 19) ou béton (n°9 et 17) sont plus impactants que les bâtiments à structure bois (n°4 et 18) ou béton (n°11 et 14) ; toutefois, il est important de rappeler que tous les composants n'ont pu être étudiés notamment les équipements de chauffage, de climatisation ou les luminaires à l'origine de la consommation énergétique.



Les études environnementales menées sur des modèles partiels (absence de modélisation possible pour les lots 8, 10 et 12 selon le découpage HQE Performance) et nécessitant parfois l'utilisation de données par défaut (pénalisantes) ne révèlent ainsi que des tendances.

7. Phase 3 : Analyses de sensibilité et extrapolations

7.1. Analyses de sensibilité

7.1.1. Analyse de sensibilité des études énergétiques

Afin de quantifier l'impact des hypothèses utilisées pour effectuer les analyses énergétiques des 15 bâtiments types retenus pour alimenter le projet, il est nécessaire d'effectuer une analyse de sensibilité.

Cette analyse de sensibilité porte sur 3 facteurs qui semblent déterminants quant à leurs impacts sur la consommation énergétique des bâtiments industriels. Les 3 facteurs retenus sont les suivants :

- Impact de la zone climatique ;
- Impact des charges thermiques internes aux bâtiments ;
- Impact de l'épaisseur d'isolant des parois des bâtiments.

Parmi les 15 bâtiments étudiés, on sélectionne ainsi 3 d'entre eux sur lesquels nous faisons varier un de ces paramètres pour en quantifier l'impact sur le scénario de consommation énergétique.

L'analyse de sensibilité de la zone climatique est effectuée sur le bâtiment n°16 : usine d'embouteillage, celui des charges thermiques sur le n°14 : usine de produits charcutier et enfin l'impact de la variation d'épaisseur d'isolant sur le n°22, picking logistique.

Analyse de sensibilité du choix de la zone climatique :

Le bâtiment support pour cette analyse est le Bât 16 : Usine d'embouteillage d'eau minérale.

Pour effectuer cette analyse, on se propose de comparer les consommations d'énergie du bâtiment avec 3 climats :

- Climat initial "véritable" : Météo de Limoges
- Climat plus doux : Météo de Montpellier
- Climat plus rigoureux : Météo de Strasbourg

Les tableaux récapitulatifs des différences observées avec les 3 climats est présenté ci-dessous :

	conditions climatiques		
	T°C ext moyenne an	T°C ext min an	T°C ext max an
climat initial : Limoges	10.28	-5.5	32
climat doux : Montpellier	14.82	-5	36.3
climat rigoureux : Strasbourg	10.3	-9.6	31

Tableau 46 : Conditions climatiques selon 3 climats

	Chauffage		Production de froid		Total bâtiment hors procédés		Part procédés	ratio bât / process
	conso (MWh/an)	différence (%)	conso (MWh/an)	différence (%)	conso (MWh/an)	différence (%)		
climat initial : Limoges	78.1	0%	18.3	0%	297.1	0%		0.22
climat doux : Montpellier	27.8	-64%	30.7	68%	259.2	-13%	1321	0.20
climat rigoureux : Strasbourg	101.6	30%	16.8	-8%	319.1	7%		0.24

Tableau 47 : consommations en fonction des 3 climats

Le climat le plus doux permet de réduire la consommation d'énergie globale du bâtiment de 13%, avec -64% de chauffage mais +68 % de climatisation. À noter que l'on applique un coefficient de transformation d'énergie thermique sensible froide en énergie électrique

consommée de 3.0 (COP de l'installation thermodynamique), ce qui fait que la consommation globale s'en trouve réduite.

Le climat le plus rigoureux engendre une surconsommation d'énergie thermique pour le chauffage de +30%, et une réduction d'énergie électrique pour la climatisation de -8 % (plutôt stable). La consommation énergétique globale du bâtiment se trouve alors augmentée de +7 %.

Si l'on pousse l'exercice à l'extrême, on peut comparer les résultats obtenus avec le même bâtiment entre le climat le plus favorable (Montpellier) et le plus défavorable (Strasbourg). La différence de consommation d'énergie liée au bâtiment serait alors d'environ 60MWh, soit 20% du scénario initial.

Comparé à la part "procédés" évaluée à 1 321 MWh, on peut conclure que pour le cas étudié, le choix de la zone climatique est relativement peu impactant. En définitive, le ratio de consommation bâtiment / process varie au maximum de 4 points (+/- 0,04).

Analyse de sensibilité des charges thermiques internes au bâtiment :

Le but de l'analyse de sensibilité est d'étudier l'impact que pourrait avoir une variation des charges thermiques interne d'un bâtiment sur les performances énergétiques de ce dernier. Deux leviers peuvent être actionnés pour faire varier les charges thermiques :

- La puissance unitaire des machines qui dégagent de la chaleur
- Le temps d'utilisation des machines

L'analyse de sensibilité est effectuée sur le bâtiment n°14 : usine de charcuterie.

Pour rappel, ce bâtiment est en grande partie conditionné en température. Les charges thermiques se situent essentiellement dans la zone "Process" du bâtiment, conditionnée à 4°C. Le fonctionnement normal de l'usine est en 3x8.

Pour faire cette analyse, on se propose de confronter les résultats initiaux avec deux autres scénarios d'usage du bâtiment. Nous pouvons comparer ainsi pour le même bâtiment trois scénarios d'usage :

- Charges internes aux conditions initiales en mode 3 x 8 heures.
- Doublage de la puissance thermique des charges internes en mode 3 x 8 heures.
- Fonctionnement en 2 x 8 heures avec arrêt le WE au lieu de 3x8 avec arrêt le WE (soit 4 000 h/an au lieu de 6 000 h/an)

La variation des charges thermiques donne les résultats suivants :

	procédés (GWh/an)			bâtiment (GWh/an)			ratio conso bât / process
	process électriques	process vapeur	total process (+ eaux de process)	chauffage	production de froid	total bâtiment (+ ventilation, éclairage, TAR, pertes combustion)	
Cas initial	7.05	7.35	17.13	0.42	4.22	9.84	0.57
Fonctionnement en 2x8	4.70	4.90	12.33	0.71	3.09	7.45	0.60
écart (%)	-33%	-33%	-28%	70%	-27%	-24%	5.1%
Puissance des charges doublée	14.09	14.69	31.52	0.41	7.97	13.58	0.43
écart (%)	100.0%	100.0%	84.0%	-1.7%	88.6%	38.0%	-25.0%

Tableau 48 : variations des charges thermiques

L'évolution des charges thermiques, que ce soit par le temps d'utilisation ou leur puissance unitaire, a un impact significatif sur la consommation d'énergie du bâtiment. L'essentiel de cet impact est observé sur la consommation d'énergie liée à la production de froid. En effet, dans le cas présent le bâtiment est fortement climatisé, notamment les zones dans lesquelles sont situées les charges thermiques.

La réduction du temps de travail d'un tiers engendre une sous-consommation de -27 % de froid, et -24 % sur la consommation globale du bâtiment. Le ratio de conso bâtiment/process reste quant à lui relativement stable (+5,1%), que l'on explique par le fait que certains pôles de consommation (ventilation notamment) restent inchangés malgré la modification du temps de travail.

L'augmentation de la puissance unitaire des charges thermiques impacte fortement la production de froid, mais cette fois ci à l'inverse : +88.6 %. En effet, il faut compenser la nouvelle puissance thermique par de la climatisation. L'impact sur la consommation



globale du bâtiment est de 38 %, bien que cette augmentation ne se traduise pas par une augmentation du ratio conso bâtiment / process (-25 %). En effet, l'impact premier de l'augmentation de la puissance unitaire des charges thermiques (des machines de production) est l'augmentation de l'énergie consommée pour produire (+100 % sur les process électrique et gaz). On considère que les consommations d'énergie liées à l'éclairage, à la ventilation et aux eaux de process (NEP) restent constantes.

Impact de la variation d'épaisseur d'isolant :

Le but de l'analyse de sensibilité est d'étudier l'impact de l'isolation thermique du bâtiment sur les résultats de l'étude énergétique.

Le bâtiment support pour cette analyse est le Bât 22 : Picking logistique.

Pour effectuer cette analyse, on se propose de comparer les résultats de l'étude énergétiques en faisant varier les épaisseurs d'isolant de la manière suivante :

- Cas 1 : cas initial avec épaisseurs réelles
- Cas 2 : les épaisseurs d'isolant toit & parois verticales sont multipliées par 2
- Cas 3 : les épaisseurs d'isolant toit & parois verticales sont divisées par 2

Les résultats des calculs effectués sous KoZiBu avec variation d'épaisseur d'isolant du bâtiment 22 donnent les résultats suivants :

	épaisseur isolant (mm)		consigne de température (°C)	consommation énergie bâtiment (MWh)			consommation énergie procédés (MWh)	ratio de consommation bâtiment / process
	parois verticales	toiture		chauffage	climatisation	autres		
cas initial	80	103	14 < T < 18	621.6	137.8	436.3	643.5	1.86
isolation doublée	160	206		387.4	120.6			1.47
ecart	100%	100%		-38%	-13%			-21%
isolation réduite de moitié	40	51.5		1053.5	172.3			2.58
ecart	-50.0%	-50.0%	69.5%	25.1%	39.0%			

Tableau 49 : variations de consommation VS isolation

On émet l'hypothèse qu'entre les différents cas présentés, les consommations d'énergie bâtiment autre que liées au conditionnement en température restent constante (éclairage, ventilation). On formule la même hypothèse en ce qui concerne les procédés : on considère que l'activité est constante.

Pour cet exemple, on observe que l'épaisseur d'isolant a un impact significatif sur la consommation d'énergie du bâtiment et plus particulièrement sur l'énergie nécessaire au maintien de la température au seuil minimal de 14°C.

En effet, doubler l'épaisseur d'isolant sur les murs et la toiture engendre une réduction de la consommation d'énergie de chauffage de -38 %, et -13 % sur la climatisation (qui est soumise à un coefficient de transformation d'énergie de 3,5). Dans ce cas-là, le premier pôle de consommation énergétique n'est plus le chauffage mais le procédé d'emballage, ce qui impacte fortement le ratio conso bâtiment / process : 1,47 (-21 %).

Dans le troisième cas, on observe le même phénomène mais dans le sens opposé : réduire l'épaisseur d'isolant de moitié augmente de 70 % la consommation de chauffage. Le pôle de consommation "chauffage" représente alors 46 % de la consommation du site, qui écrase largement les autres pôles y compris les procédés. Le nouveau ratio bâtiment / process est alors de 2,58 (+39 %).

En conclusion, on peut souligner que l'épaisseur d'isolant est un facteur très important dans le calcul des consommations énergétique des bâtiments. Il convient donc d'être vigilant sur ce paramètre lors du dimensionnement d'un cas d'étude.

Synthèse

Bâtiments agricoles

Le secteur industriel est composé en grande majorité de bâtiments non ou peu conditionnés en température, cela s'explique notamment par une grande part de hangars ouverts ainsi que de bâtiment d'élevage (bovins et ovins) où le confort des animaux ne nécessite pas de chauffage de locaux particuliers.

A noter qu'une partie des élevages (porcins et avicoles) est conditionné en température et donc chauffé en période hivernale. Une partie des surfaces des serres de cultures sont chauffées (Tomates concombres, fraises et horticulture) également. La consommation énergétique de ces bâtiments est importante mais leur poids

relativement faible en termes de surfaces au sol fait qu'ils influent peu sur la consommation d'énergie totale du secteur.

Pour les mêmes raisons, beaucoup de surfaces construites non chauffée, le climat influe donc peu sur les consommations énergétiques du secteur. Les températures à l'intérieur des bâtiments d'élevage fluctueront au gré des conditions annuelles. A noter que pour les élevages en zone de montagne l'isolation de bâtiment est quelques fois renforcé notamment la toiture pour le confort des animaux.

Bâtiments industriels

Concernant les bâtiments industriels nous avons vu l'importance de l'impact sur la consommation du secteur qu'ont les charges thermiques (activité industrielles). De ce fait, la part bâtiment représente un poids relatif moindre que pour les deux autres secteurs. On peut observer également que pour ce secteur la consommation énergétique des bâtiments est fortement impactée par la charge thermique apportée par le fonctionnement des machines et des procédés (activité industrielle). En effet, le dégagement de chaleur des machines aura en hiver un effet positif en tempérant le bâtiment et réduire la part des consommations énergétiques pour le chauffage du bâtiment. A contrario, l'effet peut être inversé en période été où il sera nécessaire pour le confort des salariés de refroidir et conditionner les ateliers de fabrication.

7.1.2. Analyse de sensibilité des études environnementales

Quatre analyses de sensibilité environnementales sont réalisées. Elles portent sur l'impact du choix de la zone climatique en cohérence avec l'étude d'analyse de sensibilité thermique, de la durée de vie du bâtiment et des fondations du bâtiment au regard des perspectives envisagées lors des études ACV, et des panneaux photovoltaïques au vu de l'impact environnemental de cette installation.

Analyse de sensibilité du choix de la zone climatique :

Afin de compléter l'étude de sensibilité énergétique sur l'impact de la zone climatique, le bâtiment n°16 a été repris afin d'analyser les changements d'un point de vue environnemental.

Les résultats environnementaux liés à la variation de climat sur l'usine d'embouteillage sont les suivants :

Indicateurs environnementaux	Unités	Limoges	Strasbourg		Montpellier	
		Total / m ² SHOB	Total / m ² SHOB	Variation	Total / m ² SHOB	Variation
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	8 418	8 636	3%	8 303	-1%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	583	635	9%	486	-17%
Consommation d'eau	Litres	18 273	18 217	-0,3%	19 159	5%
Déchets non dangereux	kg	395	395	0%	400	1%

Tableau 50 : influence de la zone climatique sur les indicateurs environnementaux

Dans le cas de ce bâtiment, le climat plus doux de Montpellier entraîne une diminution de 17% sur le changement climatique vu que la consommation de gaz naturel pour le chauffage a diminué. A l'inverse, le climat plus rigoureux de Strasbourg entraîne une augmentation de 9% du réchauffement climatique vu que la consommation de gaz naturel pour le chauffage augmente.

Sur ce bâtiment, c'est l'éclairage qui est le principal poste de consommation énergétique et d'impacts environnementaux. Toutefois, des modifications sur le 2^{ème} poste de consommation, le chauffage, entraînent des variations non négligeables sur le changement climatique car celui-ci est au gaz naturel.

Cela amène à penser que ces variations seraient encore plus importantes sur un bâtiment dont le chauffage (au gaz naturel) serait le premier poste de consommation énergétique. L'utilisation d'énergie décarbonée pour le chauffage doit donc être encouragée pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments industriels.



Les variations sur les autres indicateurs restent relativement faibles. On note toutefois une augmentation de 5% de la consommation d'eau à Montpellier liée à la consommation plus importante d'électricité pour la climatisation.

Analyse de sensibilité de la durée de vie d'un bâtiment :

Nous avons fait le choix d'étudier tous les bâtiments sur une période de référence de 50 ans. Cependant, les bâtiments logistiques sont, en moyenne, utilisés sur 25 ans puis remplacés. Nous avons effectué une analyse de sensibilité afin de voir l'impact entre un bâtiment partiellement renouvelé pour tenir 50 ans et un bâtiment entièrement remplacé au bout de 25 ans.

Les résultats environnementaux liés à la variation de la durée de vie sur le site logistique de picking sont les suivants :

Indicateurs environnementaux	Unités	50 ans	2 x 25 ans	
		Total / m ² SHOB	Total / m ² SHOB	Variation
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	5 036	5 395	7%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	521	653	26%
Consommation d'eau	L	8 717	9 511	9%
Déchets non dangereux	kg	277	464	68%

Tableau 51 : influence de la durée de vie du bâtiment

Dans le cas de ce bâtiment, pour assurer une fonction d'entrepôt pendant 50 ans, le remplacement à neuf (démolition puis reconstruction) de l'ouvrage entraîne une augmentation de 26% du réchauffement climatique et de 68% des déchets non dangereux.

La rénovation partielle des bâtiments (remplacement des menuiseries, restauration des revêtements de sols...) doit donc être encouragée pour réduire l'empreinte carbone des bâtiments industriels.

Analyse de sensibilité des fondations d'un bâtiment :

L'étude porte sur la comparaison environnementale de fondations « faibles » ou « fortes » (selon la nature du terrain) pour un même bâtiment. Les fondations « fortes » correspondent aux fondations « faibles » renforcées d'éléments de fondations supplémentaires. L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact des fondations sur le bilan environnemental du bâtiment.

Cette étude porte sur un bâtiment réel étudié dans le projet Batindus : l'entrepôt frigorifique (froid positif). Ce bâtiment possède des pieux de 18 m de profondeur, et correspond au cas d'étude « fondations fortes ». Le même bâtiment sans les pieux, mais toujours avec les autres éléments de fondation, correspond au cas d'étude « fondations faibles ».

Les résultats environnementaux liés à la variation des fondations sont les suivants :

Indicateurs environnementaux	Unités	Entrepôt frigorifique (froid positif) - SANS pieux			Entrepôt frigorifique (froid positif) - AVEC pieux			Variation (% au bâtiment sans pieux)		
		Total	Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Total	Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie	Total	Contributeur Produits et Matériaux de construction	Contributeur Energie
Consommation d'Énergie non renouvelable	(kWh / m ² SHOB)	38 761	786	37 975	38 795	819	37 975	0,1%	4,3%	0,0%
Changement climatique	(kg équivalent CO ₂ / m ² SHOB)	1 270	209	1 062	1 283	221	1 062	1,0%	6,1%	0,0%
Consommation d'eau	(L / m ² SHOB)	88 317	1 416	86 900	88 403	1 503	86 900	0,1%	6,1%	0,0%
Déchets non dangereux	(kg / m ² SHOB)	765	213	552	793	242	552	3,7%	13,3%	0,0%

Tableau 02 - Impacts de la variation de l'épaisseur des fondations

Le changement des fondations n'impacte pas le contributeur Energie. Il reste donc identique.

Sur l'indicateur Changement Climatique, il est à noter que le lot fondation (sans pieux) représente 5,8% des émissions de CO₂ de l'ensemble du bâti (contributeur Produit). Dans le cas étudié, le renforcement des fondations du bâtiment par des pieux bétons double les émissions de CO₂ du lot fondation.

Sur le tableau ci-dessus, on note que, à l'échelle du bâtiment, la modification des fondations (faibles / fortes) entraîne une variation d'environ 6% sur le contributeur Produit (indicateur Changement Climatique). Ce qui n'est pas négligeable.

Néanmoins, le contributeur Energie étant le plus important sur ce bâtiment (environ 84%), l'impact du changement de fondations descend à 1% sur l'ensemble des contributeurs.

L'impact de la variation des fondations sur le bilan environnemental global du bâtiment est donc faible. Le constat est identique pour les autres indicateurs étudiés.

A noter que cette conclusion est directement liée au type d'industrie abritée par le bâtiment : froid industriel positif --> forte consommation d'énergie pour maintenir des températures basses --> impact des produits de construction minoré. L'analyse pourrait être différente pour un autre bâtiment. Si le conditionnement de l'ambiance du bâtiment n'était pas si énergivore (par ex : ambiance tempérée), l'impact de la variation des fondations sur le bilan environnemental global du bâtiment serait plus important ! La nature du terrain (et donc sa résistance) jouerait donc un rôle dans la performance environnementale du bâtiment construit dessus.

Analyse de sensibilité des panneaux photovoltaïques d'un bâtiment :

L'étude porte sur la comparaison environnementale d'un bâtiment avec et sans installation photovoltaïque (PV). L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact de l'installation PV sur le bilan environnemental du bâtiment.

Cette étude porte sur un bâtiment réel étudié dans le projet Batindus : le hangar agricole (stockage de céréales). Ce bâtiment possède une installation PV. Le scénario alternatif qui lui est comparé est le même bâtiment mais sans installation PV. Néanmoins, on estime par avis d'expert que l'allègement des charges due à la non prise en compte des panneaux photovoltaïques (15 kg/m²) permet un gain matière de 5 à 10 % sur l'ossature acier. Par mesure conservatrice, on considère dans notre étude un gain matière de 5% sur l'ossature acier.

Le scénario alternatif se différencie donc du scénario original par :

- le retrait des panneaux photovoltaïques et de l'onduleur,
- un allègement de 5% de la masse d'ossature acier,
- une réduction de 5% de la quantité de peinture anticorrosion.

Le reste ne change pas.



Les résultats environnementaux liés à l'installation ou non de panneaux photovoltaïques sur le hangar agricole sont les suivants :

Indicateurs environnementaux	Unités	Hangar sans PV	Hangar avec PV	
		Total / m ² SHOB	Total / m ² SHOB	Variation
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	460	1 832	299%
Changement climatique	kg éq. CO ₂	150	538	259%
Consommation d'eau	L	756	16 818	2126%
Déchets non dangereux	kg	213	439	107%

Tableau 53 : Résultats ACV sur le cycle de vie complet (DVR = 50 ans)

Les bénéfices et charges (module D) des produits et composants de construction, potentiellement significatifs dans les cas de panneaux photovoltaïques, sont inclus dans cette approche sur le cycle de vie complet (Bénéfices et charges au-delà du cycle de vie du bâtiment (électricité produite localement et exportée))
Ce zoom d'analyse ne porte que sur les bénéfices liés à l'exportation d'énergie et le contributeur Énergie.

Indicateurs environnementaux	Unités	Hangar sans PV	Hangar avec PV
		Contributeur Énergie / m ² SHOB	Contributeur Énergie / m ² SHOB
Consommation d'Énergie non renouvelable	kWh	0	-26 320
Changement climatique	kg éq. CO ₂	0	-736
Consommation d'eau	L	0	-60 229
Déchets non dangereux	kg	0	-337

Tableau 54 : influence du contributeur énergie

Nota : Les valeurs négatives traduisent un bénéfice environnemental sur les indicateurs concernés.

La comparaison des 2 bâtiments (hangar sans et avec PV) montre que les panneaux photovoltaïques ont un impact très important sur le bilan environnemental global du bâtiment (+299% d'énergie non renouvelable consommée, par exemple). Mais lorsque l'on prend en compte l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques (et donc les impacts évités de la production de cette électricité par le mix énergétique français), on constate que les panneaux compensent très largement leurs impacts environnementaux, et que l'on obtient un bilan environnemental très positif à l'échelle du bâtiment (et sur l'ensemble des indicateurs). Ceci s'explique en partie par la production d'énergie qui est en France largement décarbonée avec les centrales nucléaires.

L'analyse présentée n'est valable que pour l'exemple traité. Les conclusions de cette analyse pourraient varier selon la productivité des panneaux photovoltaïques et leurs conditions d'installation : lieu d'implantation et donc ensoleillement, orientation, angle d'inclinaison, puissance Wc.

Au regard des résultats présentés, l'installation de panneaux photovoltaïques sur les bâtiments peut être encouragée pour réduire la consommation énergétique des bâtiments industriels, mais que l'empreinte carbone risque en revanche d'être affectée.

7.1.3. Pistes d'amélioration

Au regard des résultats obtenus sur les études environnementales et énergétiques, complétées par les analyses de sensibilité, il semble que les efforts à fournir pour réduire l'impact des bâtiments industriels doivent se concentrer sur les consommations d'énergie du bâtiment durant son exploitation.

D'un point de vue énergétique, le changement de zone climatique (dans un bâtiment avec un process important) a relativement peu d'influence sur les consommations. La variation des charges internes en revanche peut nécessiter une forte adaptation des consommations énergétiques pendant l'exploitation. Enfin, l'isolation des bâtiments industriels a également une forte influence sur les consommations et n'est pas à négliger.

D'autre part, sur l'analyse environnementale, le changement de zone climatique fait ressortir l'impact du chauffage et l'intérêt de développer des énergies non carbonées. Sur les choix constructifs, il ressort que la durée de vie du bâtiment à 25 ans n'est pas pertinente si l'activité doit perdurer. Les bâtiments doivent être conçus pour durer et s'adapter au changement d'usage. Par ailleurs, le choix de construire des bâtiments industriels de grande importance sur des sols non stables et nécessitant des fondations supplémentaires importantes a un impact significatif sur les émissions de gaz à effet de serre. Bien que cela puisse paraître relatif, au vu des impacts liés à certains procédés, le choix de l'implantation ne doit pas être négligé.

7.2. Extrapolations

Les bâtiments retenus dans le cadre des projets BATINDUS 1 & 2 ont été sélectionnés pour constituer un échantillon représentatif du parc des bâtiments industriels français.

Une fois les analyses des cycles de vie et les scénarios de consommation d'énergies établis, l'étape suivante consiste à extrapoler les résultats de ces analyses à l'ensemble du parc par le calcul.

Pour ce faire, il est nécessaire de poser une méthode extrapolative de calcul et de confronter les résultats de ces calculs avec les données disponibles dans la littérature.

7.2.1. Méthode d'extrapolation

La méthode d'extrapolation proposée repose tout d'abord sur la segmentation des secteurs étudiés en sous-secteurs :

- Secteur agricole
 - Serres (A 01.13) -> 1 bât type
 - Élevage (A 01.41/45/46/47) -> 4 bât types
 - Hangars (A 52.10) -> 1 bât type
- Logistique
 - Entrepôts frigorifique (H 52.10 A) -> 2 bât types
 - Entrepôts hors gel (H 52.10 B) -> 2 bât types
- Industrie
 - IAA (C 10.07/11/13/31/83/85) -> 6 bât types
 - Chimie (pas de bâtiment type) -> Non traité
 - Autres industries (C28, C22.2) -> 4 bât types

On propose ainsi de regrouper les bâtiments types de chaque secteur dans des sous-secteurs caractérisés par leur code NAF⁷, ou domaine d'activité (voir <https://www.insee.fr>). La segmentation en sous-secteur permettra d'améliorer la précision du calcul d'extrapolation. En effet, elle permet dans un premier temps d'avoir des éléments de comparaison auxquels confronter les résultats du calcul (notamment les données AGRESTE lorsqu'elles sont disponibles pour la consommation d'énergie).

Dans un second temps, la segmentation en sous-secteurs permet d'introduire la notion de représentativité d'un bâtiment type BATINDUS dans son secteur d'activité.

On observe par exemple le cas du bâtiment n°15 : l'usine de produits culinaires. Ce site appartient à un secteur d'activité (code NAF 10.31) qui est assez peu représentatif de l'ensemble de l'industrie agro-alimentaire. En effet, bien que ce bâtiment soit extrêmement intéressant pour l'étude car il constitue un cas extrême (ratio de consommation bâtiment / procédé de 0,0109), on ne dénombre qu'une dizaine de sites de ce genre sur l'ensemble

⁷ NAF : Nomenclature des Activités Françaises



du territoire (soit environ 0,2 % de l'IAA⁸) Il serait alors hasardeux d'y affecter une représentativité égale à celle, par exemple, d'un abattoir (environ 12% des bâtiments du secteur IAA). [9][10]

Ainsi, l'ensemble des bâtiments types alimentant les projets BATINDUS 1 & 2 se voient affecter un coefficient de représentativité dans son secteur d'activité (ou dans son sous-secteur d'activité si un niveau de lecture supplémentaire est applicable). Ce coefficient de représentativité est déterminé en dénombrant le nombre d'unités légales (données AGRESTE) du code NAF du sous-secteur considéré dans le secteur général. Le secteur industriel est lui-même découpé en 2 parties, l'industrie agro-alimentaire d'une part et les autres industries d'autre part.

Représentativité des bâtiments types étudiés : [11],[12], [13]

- Bâtiments logistiques 2, 4 et 7 (Stockage grande hauteur, stockage et picking) : 69,9 % du secteur de la logistique
- Bâtiments n°8 & 9 (entrepôts froid négatif et froid positif) : 30,1 % du secteur de la logistique
- Bâtiments industriels : industries autres que l'IAA (total 10.6% de l'industrie) [15], [16]
 - Bâtiment n°1 (atelier de mécanique) : 1,7 % du secteur de l'industrie hors IAA
 - Bâtiment n°6 (usine plasturgie) : 5,8 % du secteur de l'industrie hors IAA
 - Bâtiment n°10 (usine de fabrication de tissu) : 2,6 % du secteur de l'industrie hors IAA
 - Bâtiment n°11 (usine de produits préfabriqués en béton) : 0,5 % du secteur de l'industrie hors IAA
- Bâtiments industriels de l'IAA (total 29.9% de l'IAA) [10]
 - Bâtiment n°5 (abattoir) : 11,8 % du secteur de l'IAA
 - Bâtiment n°12 (usine de produits charcutiers) : 10,3 % du secteur de l'IAA
 - Bâtiment n°13 (brûlerie) : 1,4 % du secteur de l'IAA
 - Bâtiment n°14 (usine de production de pizzas surgelées) : 4,8 % du secteur de l'IAA
 - Bâtiment n°15 (produits culinaires de transformation de pommes de terre) : 0,2 % du secteur de l'IAA
 - Bâtiment n°16 (embouteillage d'eau minérale) : 1,4 % du secteur de l'IAA
- Bâtiments agricoles d'élevage, n°3, 17, 18 et 19 (élevages bovins, maternité porcine, bergerie et élevage avicole) : 62,2 % du secteur de l'élevage avec une répartition respective de 23,8 %, 6,4 %, 25,6% et 6,4 %. [17]
- Bâtiment agricole serre chauffée n°20 (culture de tomates) : 17,4 % du secteur de la culture sous serres (calculé en faisant le ratio des surfaces dans ce cas-là)

Une fois la représentativité de chaque cas d'étude BATINDUS connue, nous sommes en mesure d'affecter à ces derniers une pondération pour extrapoler l'échantillon de bâtiments étudiés à l'ensemble du parc français.

La méthode de calcul est, dans un premier temps utilisée pour déterminer la consommation d'énergie total d'un secteur sur l'année. Les résultats sont confrontés avec les données disponibles dans la littérature (si elles existent) afin de valider la méthode :

⁸ IAA : Industrie Agro-Alimentaire

• Par les surfaces (appliquée)



• Par l'énergie (validation)



Dans le cas de la consommation énergétique, on applique les consommations d'énergies spécifiques déterminées dans la phase 2 du projet pour chaque bâtiment type auxquelles on multiplie les surfaces de bâtiment de chaque sous-secteur (ainsi que leur coefficient de représentativité) :

$$E_{\text{bâti secteur}} = \sum E_{\text{bâti sous secteurs}}$$

$$E_{\text{bâti sous secteur}} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Conso}_{\text{bât type } i} \cdot C_i}{\sum S_{\text{Bât types}}} \cdot S \cdot \frac{1}{(1 + 1/R_{b/p})}$$

$$R_{b/p} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ib/p} \cdot C_i}{n}$$

Ratio de consommation bâtiment / process déterminé dans la phase 2

Coefficient de représentativité de chaque bâtiment type dans son sous secteur

Surface totale du sous secteur (biblio)

La comparaison avec les données de consommation énergétique disponibles dans la littérature donne de bons résultats (voir le tableau phase 3 : matrice d'extrapolation), la méthode de calcul est donc également appliquée pour l'extrapolation des ACV.

7.2.2. Résultats

L'ensemble des résultats des études énergétique et environnementale sont synthétisés dans les trois tableaux ci-après (un par secteur : agriculture, industrie, logistique). Les tableaux reprennent les résultats de chaque bâtiment type (21 bâtiments) et servent de base de données pour réaliser l'extrapolation au parc de bâtiments Français étudiés dans le cadre de Batindus.



Secteur Numéro de bâtiment Bâtiment type Matériau structure Code NAF (www.insee.fr) Batindus 1 ou 2		LOGISTIQUE							
		2	4	7	Entrepôts non - frigorifiques (69.9% des entrepôts)	8	9	Entrepôts frigorifiques (30.1% des entrepôts)	
		Entrepôt stockage grande hauteur	Entrepôt stockage	Entrepôt picking		Entrepôt frigorifique (froid positif)	Entrepôt frigorifique (froid négatif)		
		Acier	Bois	Béton		Acier	Béton		
		H 52.10 B	H 52.10 B	H 52.10 B		H 52.10 A	H 52.10 A		
		1	1	2	2	2			
Energie	Consommation bâti (MWh/an) par l'énergie	1 291	828	1 196	4 898 705	2 264	2 452	9 530 779	
	Ratio Conso / Process	17.2	16.5	1.9	11.9	4.0	33.9	18.9	
	Consommation Process (MWh/an)	75	50	643	413 277	571	72	503 372	
	Surface (m²)	14 524	14 773	28 348	-	9 524	3 830	-	
	CI : représentativité dans le sous secteur (données Agreste)	69.9%					30.1%		
Consommation totale (MWh/an)		1 366	878	1 839	5 311 982	2 835	2 525	10 034 151	
ACV	Consommation d'énergie non renouvelable (kWh PCI / m² SHOB)		14 984	7 121	5 036	9 047	38 795	99 437	69 116
	Produits et matériaux de construction (%)		11.4%	5.8%	12.5%	9.9%	2.1%	1.0%	1.6%
	Energie (%)		88.6%	94.2%	87.5%	90.1%	97.9%	99.0%	98.5%
	Eau (%)		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Changement climatique (kg CO2 / m² SHOB)		920	503	521	648	1 283	3 069	2 176
	Produits et matériaux de construction (%)		50.5%	21.6%	35.2%	35.8%	17.3%	9.5%	13.4%
	Energie (%)		49.5%	78.3%	64.8%	64.2%	82.7%	90.5%	86.6%
	Eau (%)		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Consommation d'eau (litre / m² SHOB)		32 570	14 127	8 717	18 471	88 403	227 937	158 170
	Produits et matériaux de construction (%)		9.9%	6.0%	14.3%	10.1%	1.7%	1.3%	1.5%
	Energie (%)		90.1%	91.0%	85.7%	88.9%	98.3%	98.7%	98.5%
	Eau (%)		0.0%	3.0%	0.0%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Déchets non dangereux (kg / m² SHOB)		814	357	277	483	793	1 720	1 257
	Produits et matériaux de construction (%)		77.0%	76.0%	82.0%	78.3%	30.5%	16.9%	23.7%
	Energie (%)		23.0%	24.0%	18.0%	21.7%	69.5%	83.1%	76.3%
Eau (%)		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Energie avec pondération	consommation surfacique (bâti + process) / m² moyenne pondérée surfacique SOUS-SECTEUR (kWh/m²)		Pas de possibilité de discrétisation plus fine (2 codes NAF pour tout le secteur)						
	conso totale (bâti + process) du SOUS-SECTEUR (MWh)								
	conso totale (bâti + process) SECTEUR (MWh/an)								
	Consommation bâti (MWh/an) par les surfaces								
	écart calculs par les surfaces & par l'énergie (%) SOUS-SECTEUR								
	Consommation bâti SECTEUR (MWh/an) par les surfaces								15 046 567
	Consommation bâti SECTEUR (MWh/an) par l'énergie								14 429 485
écart calculs par les surfaces vs. par l'énergie (%) SECTEUR		4.1%							

Tableau 55 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur logistique

Secteur Numéro de bâtiment Bâtiment type Matériau structure Code NAF (www.insee.fr) Batindus 1 ou 2		INDUSTRIE											
		1	6	10	11	Industrie Autres (69.9% de l'industrie = tout hors IAA et chimie)	5	12	13	14	15	16	IAA (28.6% de l'industrie)
		Usine fabrication mécanique	Usine plasturgie	Usine fabrication tissu	Usine produits préfabriqués béton		Usine agroalimentaire abattoir	Usine agroalimentaire charcuterie	Brûlerie (fabric ation café)	Usine agroalimentaire plats surgelés	Usine agroalimentaire produits culinaires	Usine embouteillage	
		Acier	Béton	Acier	Béton	Béton	Acier	Bois	Béton	Acier	Bois		
		C 28	C 22	C 13	C 23.61	C 10.11	C 10.13 B	C 10.83	C 10.85	C 10.31	C 11.07 A		
1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	matray: pondéré			
Energie	Consommation bati (MWh/an) par l'énergie	794	588	366	724	49 123 102	473	8 473	142	3 707	1 564	297	36
	Ratio Conso / Process	1.2	0.5	0.2	0.3	0.5	6.3	0.5	1.8	0.5	0.02	0.2	1.5
	Consommation Process (MWh/an)	662	1 176	2 346	2 412	95 354 898	75	18 501	79	8 238	97 750	1 321	12 875 424
	Surface (m²)	6 904	6 050	4 392	7 300	-	2 900	18 221	1 800	6 050	19 334	5 175	-
	CI : représentativité dans le sous secteur (données Aqreste)	1.7%	5.8%	2.6%	0.5%	10.6%	11.8%	10.3%	1.4%	4.8%	0.2%	1.4%	29.9%
Consommation totale (MWh/an)	1 456	1 764	2 712	3 136	144 478 000	548	26 974	221	11 945	99 314	1 618	49 068 000	
ACV	Consommation d'énergie non renouvelable (KWh PCI / m² SHOB)	10 001	16 413	8 353	16 486	13 422	25 662	73 642	6 896	101 769	9 382	8 418	52 613
	Produits et matériaux de construction (%)	5.1%	3.9%	8.0%	4.0%	5.1%	2.5%	2.4%	10.5%	0.4%	13.4%	10.1%	2.9%
	Energie (%)	94.7%	96.1%	92.0%	96.0%	94.9%	97.4%	97.6%	89.4%	99.6%	86.6%	89.9%	97.0%
	Eau (%)	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Changement climatique (kg CO2 / m² SHOB)	1 214	616	939	625	790	872	2 767	958	2 979	593	583	1 852
	Produits et matériaux de construction (%)	10.2%	29.6%	22.0%	29.2%	24.7%	19.2%	19.4%	20.2%	4.5%	51.3%	38.4%	18.1%
	Energie (%)	89.4%	70.4%	78.0%	70.8%	75.3%	80.7%	80.6%	79.7%	95.5%	48.7%	61.5%	81.9%
	Eau (%)	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.0%
	Consommation d'eau (litre / m² SHOB)	23 559	38 650	12 702	39 040	29 898	69 972	165 998	10 099	233 218	19 962	18 273	123 699
	Produits et matériaux de construction (%)	4.5%	4.0%	11.2%	7.2%	6.0%	4.9%	2.6%	15.2%	0.6%	10.6%	10.0%	4.2%
	Energie (%)	49.5%	91.8%	88.8%	92.8%	84.5%	85.2%	97.4%	68.3%	99.4%	89.4%	84.9%	90.9%
	Eau (%)	46.0%	4.1%	0.0%	0.0%	9.5%	12.9%	0.0%	16.5%	0.0%	0.0%	5.1%	6.1%
	Déchets non dangereux (kg / m² SHOB)	265	475	275	485	393	750	1 970	243	1 661	454	395	1 274
	Produits et matériaux de construction (%)	65.7%	52.5%	71.8%	52.5%	59.3%	49.5%	47.8%	78.7%	11.4%	74.9%	74.5%	45.5%
	Energie (%)	31.5%	47.4%	28.2%	47.5%	40.2%	50.5%	52.2%	20.8%	88.6%	25.1%	25.4%	54.5%
Eau (%)	2.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.2%	0.0%	
Energie avec pondération	consommation surfacique (bâti + process) / m²	210.844	291.570	617.555	429.534	-	188.993	1 480.380	122.716	1 974.343	5 136.754	312.657	-
	moyenne pondérée surfacique SOUS-SECTEUR (kWh/m²)			366						956			
	conso totale (bâti + process) du SOUS-SECTEUR (MWh)			153 713 594						57 374 748			
	conso totale (bâti + process) SECTEUR (MWh/an)						211 088 342						
	Consommation bati (MWh/an) par les surfaces			52 263 242						42 319 637			
	écart calculs par les surfaces & par l'énergie (%) SOUS-SECTEUR			6.0%						14.48%			
Consommation bati SECTEUR (MWh/an) par les surfaces						94 582 879							
Consommation bati SECTEUR (MWh/an) par l'énergie						85 315 679							
écart calculs par les surfaces vs. par l'énergie (%) SECTEUR						10.9%							

Tableau 56 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur Industrie



Secteur Numéro de bâtiment Bâtiment type Matériau structure Code NAF (www.insee.fr) Batindus 1 ou 2		AGRICOLE								
		3	17	18	19	Elevages (39.4% du secteur agricole)	20	Serres chauffées (3.2% du secteur agricole)	21	Hangars (toutes exploitations : au moins 1)
		Bât élevage bovins	Maternité porcine	Bergerie	Bât élevage avicole		Serre culture tomates		Hangar agricole (sans PV)	
		Bois	béton	Bois	Acier		acier		Acier	
		A.01.41	A.01.46	A.01.45	A.01.47	A.01.13	A.52.10			
1	2	2	2	2						
Energie	Consommation bati (MWh/an) par l'énergie	16	99	1	216	5 507 525	8 987	5 211 302	0	-
	Ratio Conso / Process	7.3	8.1	8.1	9.0	8.1	599.1	599.1	0	-
	Consommation Process (MWh/an)	2	0	0	24	1 800 475	15	8 698	0	-
	Surface (m²)	2 347	2 032	1 151	1 300	-	24 500	-	640	-
	Ci : représentativité dans le sous secteur (données Agreste)	23.8%	6.4%	25.6%	6.4%	62.2%	17.4%	17.4%	0.0%	0.0%
Consommation totale (MWh/an)	18	99	1	241	7 308 000	9 002	5 220 000	0	0	
ACV	Consommation d'énergie non renouvelable (kWh PCI / m² SHOB)	1 571	7 133	383	11 827	2 709	20 416	20 416	460	460
	Produits et matériaux de construction (%)	30.7%	11.3%	83.0%	4.5%	47.5%	3.7%	3.7%	100.0%	100.0%
	Energie (%)	69.3%	88.7%	17.0%	95.5%	52.5%	96.3%	96.3%	0.0%	0.0%
	Eau (%)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Changement climatique (kg CO2 / m² SHOB)	141	371	80	1 884	319	4 268	4 268	150	150
	Produits et matériaux de construction (%)	78.4%	52.4%	98.0%	8.6%	76.6%	3.2%	3.2%	100.0%	100.0%
	Energie (%)	21.6%	47.6%	2.0%	91.4%	23.4%	96.8%	96.8%	0.0%	0.0%
	Eau (%)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Consommation d'eau (litre / m² SHOB)	3 239	16 951	224	10 495	4 155	2 689	2 689	756	756
	Produits et matériaux de construction (%)	23.0%	14.6%	32.0%	17.3%	25.3%	49.6%	49.6%	100.0%	100.0%
	Energie (%)	77.0%	85.4%	68.0%	82.7%	74.7%	50.4%	50.4%	0.0%	0.0%
	Eau (%)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	Déchets non dangereux (kg / m² SHOB)	397	485	162	170	286	104	104	213	213
	Produits et matériaux de construction (%)	96.0%	81.0%	99.0%	58.1%	91.8%	52.0%	52.0%	100.0%	100.0%
	Energie (%)	4.0%	19.0%	1.0%	41.9%	8.2%	48.0%	48.0%	0.0%	0.0%
Eau (%)	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
Energie avec pondération	consommation surfacique (bâti + process) / m²	7.751	48.720	0.434	185	-	367.433	-		
	moyenne pondérée surfacique SOUS-SECTEUR (kWh/m²)			27			367			
	conso totale (bâti + process) du SOUS-SECTEUR (MWh)			6 216 784				4 607 605		
	conso totale (bâti + process) SECTEUR (MWh/an)					10 824 390				
	Consommation bati (MWh/an) par les surfaces			5 518 600				4 599 928		
	écart calculs par les surfaces & par l'énergie (%) SOUS-SECTEUR			0.2%				13.3%		
	Consommation bati SECTEUR (MWh/an) par les surfaces					10 118 528				
Consommation bati SECTEUR (MWh/an) par l'énergie					10 718 827					
écart calculs par les surfaces vs. par l'énergie (%) SECTEUR					5.9%					

Tableau 57 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur agricole

Observations

L'extrapolation a donc été menée par une comparaison des consommations d'énergies obtenues avec les deux méthodes :

- **A. Consommations d'énergies annoncées par les données Agreste** des trois secteurs industriels et des sous-secteurs correspondants.
- **B. Consommations d'énergies obtenues sur chaque bâtiment type étudié** et ensuite extrapolées au parc Français via les données de surface là aussi disponibles dans la bibliographie (voir rapport final Batindus 1).

Pour les trois secteurs nous obtenons une corrélation des deux jeux de données énergétique plutôt satisfaisante avec des écarts constatés inférieurs à 6 %. Sur cette base, il apparaît donc réaliste d'extrapoler les résultats ACV des études environnementales de bâtiment types au parc Français en utilisant la méthode "B" ci-dessus via les surfaces construites de chaque secteur et sous-secteur. Nous obtenons ainsi les deux tableaux récapitulatifs par sous-secteur et par secteurs suivants :

Secteur Sous-secteur	Logistique		Industrie (hors chimie)		Agricole			
	Non frigorifique	Frigorifique	Autres industries	IAA	Elevages	Serres	Autres	Hangars
Surfaces construites (Millions m² SHOB)	75	25	420	60	229	72	149	450
Energie finale								
Conso énergie total secteur (TWh/an)	5.5	12.0	154	57	6.2	4.61	7.83	0.0
Conso énergie bâtiment (TWh/an)	5.0	11.4	52	42	5.5	4.60	6.95	0.0
Conso énergie process (TWh/an)	0.4	0.6	101	15	0.7	0.01	0.88	0.00
ACV (base de calcul sur une durée de vie de 50 ans)								
Consommation d'énergie primaire non renouvelable (TWh PCI)								
Total secteur	679	1 728	5 637	3 157	620	1 470		207
Contributeur produits et matériaux de construction	67	27	288	93	294	54		207
Contributeur énergie	611	1 701	5 348	3 063	325	1 416		0
Contributeur eau	0.02	0.00	1.77	0.15	0.00	0.00		0.00
Emissions CO2 (Mtonnes éq CO2)								
Total secteur	48.6	54.4	332	111	73	307		68
Contributeur produits et matériaux de construction	17.4	7	82	20	56	10		68
Contributeur énergie	31.2	47	250	91	17	297		0
Contributeur eau	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0		0.0
Consommation d'eau (Mm3)								
Total secteur	1 385	3 954	12 557	7 422	950	194		340
Contributeur produits et matériaux de construction	139	59	754	310	240	96		340
Contributeur énergie	1232	3895	10 609	6 747	710	98		0
Contributeur eau	13.9	0.0	1 187	453	0	0		0
Déchets non dangereux (Mtonnes)								
Total secteur	36.2	31.4	165	76	65	7		96
Contributeur produits et matériaux de construction	28.4	7.4	98	35	60	4		96
Contributeur énergie	7.8	24.0	66	42	5	4		0
Contributeur eau	0.00	0.00	0.72	0.03	0.00	0.00		0.00

Tableau 58 : Analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par sous-secteurs

Commentaires énergétiques

Ce sont les bâtiments des deux sous-secteurs industriels (95 TWh/an sur un total de 128 TWh/an soit 74 %) qui possèdent la part Française de consommation énergétique de loin la plus importante. A noter, qu'ils abritent, l'essentiel des salariés (2,8 M) de la production manufacturière ainsi que les procédés de fabrication. Les besoins de confort propres au personnel présents dans les usines conditionnent ainsi fortement la consommation énergétique de ces bâtiments.

Le secteur logistique a les mêmes contraintes de confort personnel, mais les relatives faibles surfaces construites par rapport à l'industrie fait que le secteur est moins impactant. On



remarque la consommation des entrepôts frigorifiques qui est nettement plus importante que celle des entrepôts non frigorifiques.

Nous pouvons observer l'écart notable (environ du simple au double) entre les consommations énergétiques totales des deux secteurs industriels par rapport à la consommation de leurs propres bâtiments. Pour les sous-secteurs logistique et agricole la consommation des bâtiments est pratiquement identique à la consommation totale (peu d'impact des procédés)

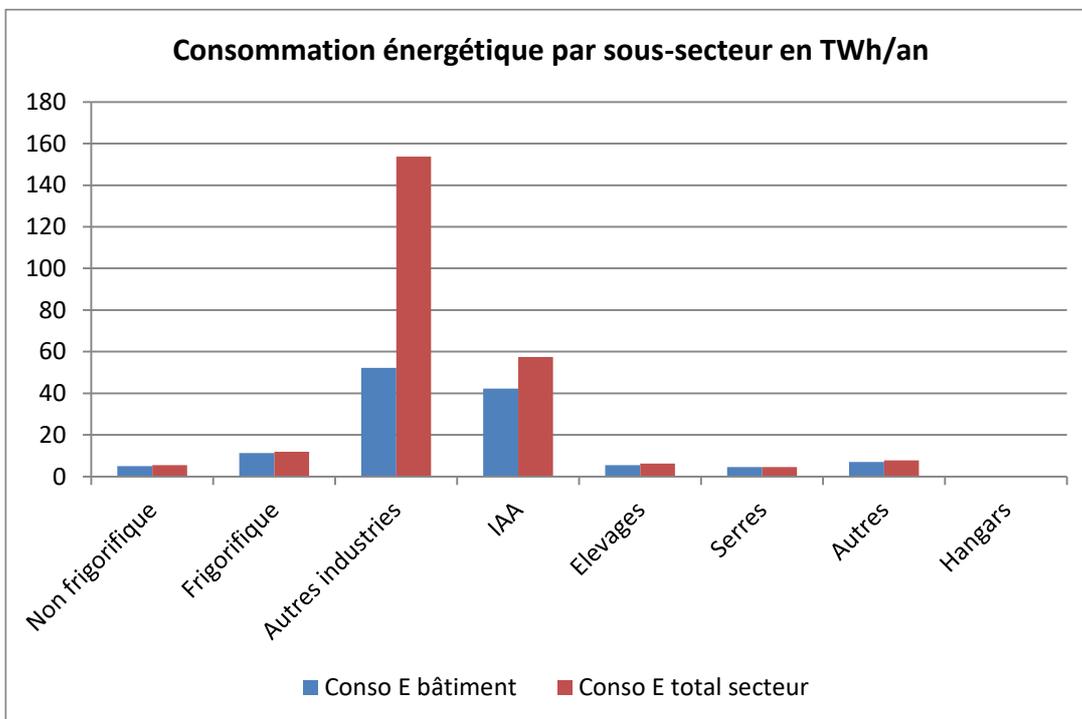


Figure 48 : Consommation énergétique par sous-secteur des bâtiments du parc Français

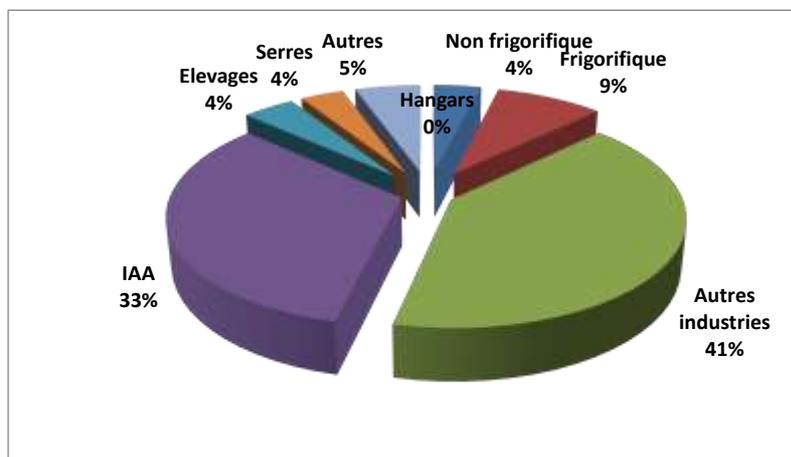


Figure 49 : Part des consommations énergétiques par sous-secteur des bâtiments du parc Français

Commentaires ACV

Les bâtiments du secteur industrie sont globalement les plus impactants au regard des 4 indicateurs calculés dans le cadre de ce projet. Cela est dû à la complexité des bâtiments, divisés en plusieurs zones abritant des activités différentes et à des volumes plus petits.

Les serres ont également une contribution importante au réchauffement climatique et sur la consommation énergétique non renouvelable du fait qu'elles soient chauffées et non isolées.

Le tableau de résultats précédents agrégé par secteur donne les résultats suivants :

Secteurs	Logistique	Industrie	Agricole	Total
Surfaces construites (Millions m ² SHOB)	100	480	900	1 480
Energie finale				
Conso énergie total secteur (TWh/an)	17.4	211.1	18.7	247.2
Conso énergie bâtiment (TWh/an)	16.4	94.6	17.1	128.0
Conso énergie process (TWh/an)	1.0	116.5	1.6	119.1
ACV (base de calcul sur une durée de vie de 50 ans)				
<i>Consommation d'énergie primaire non renouvelable (TWh PCI)</i>				
Total secteurs	2 406	8 794	2 754	13 954
<i>Répartition par contributeur</i>				
Produits et matériaux de construction	3.9%	4.3%	24.2%	
Energie	96.1%	95.6%	75.8%	
Eau	0.0%	0.0%	0.0%	
<i>Emissions CO2 (Mtonnes éq CO2)</i>				
Total secteurs	103	443	537	1 083
<i>Répartition par contributeur</i>				
Produits et matériaux de construction	24.0%	23.0%	29.8%	
Energie	76.0%	76.9%	70.2%	
Eau	0.0%	0.1%	0.0%	
<i>Consommation d'eau (Mm3)</i>				
Total secteurs	5 340	19 979	1 780	27 098
<i>Répartition par contributeur</i>				
Produits et matériaux de construction	3.7%	5.3%	45.6%	
Energie	96.0%	86.9%	54.4%	
Eau	0.3%	8.2%	0.0%	
<i>Déchets non dangereux (Mtonnes)</i>				
Total secteurs	68	242	87	397
<i>Répartition par contributeur</i>				
Produits et matériaux de construction	53.0%	55.0%	87.7%	
Energie	47.0%	44.7%	12.3%	
Eau	0.0%	0.3%	0.0%	

Tableau 59 : Analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par secteur

Commentaires énergétiques

Les bâtiments du secteur industrie représentent 75 % de la consommation d'énergie de l'ensemble du parc. La logistique et l'agriculture se partagent les 25 % restants à part sensiblement égale.

Comme précisé plus haut, la consommation énergétique des bâtiments est donc fortement influencée par leurs usages internes. Les bâtiments ont deux fonctions essentielles

- Abriter les activités industrielles qui s'y déroulent et d'en assurer la pérennité et la sécurité,
- Assurer le confort et la sécurité des personnes.

L'emploi salarié pour les trois secteurs est d'environ 4 250 000 personnes se répartissant de la manière suivante sur les trois secteurs étudiés :

- Le secteur logistique emploie environ 600 000 personnes,
- Le secteur industrie emploie environ 2 800 000 personnes,
- Le secteur agricole emploie environ 850 000 personnes.

Nous pouvons ainsi appréhender des ratios énergétiques prenant en compte les personnes et les données de surfaces construites. Nous obtenons le tableau suivant :



Secteurs	Logistique	Industrie	Agricole	Total
Surfaces construites (Millions m ² SHOB)	100	480	900	1 480
Nombre de salariés (milliers)	600	2 800	850	4 250
Conso énergie bâtiment (TWh/an)	16.4	94.6	17.1	128.0
CA (Milliard €/an)	106	870	79	1055
Ratio surfacique (salariés/hectare construit)	60	58	9	29
Chiffre d'affaire salarié (k€/salarié)	177	311	93	248
Performance énergétique des bâtiments(MWh/salarié.an)	27.3	33.8	20.1	30.1
Performance énergétique des bâtiments (kWh/m ² .an)	164	197	19	87
Intensité énergétique des bâtiments (kWh/€CA)	0.15	0.11	0.22	0.12
Charge énergie des bâtiments (% du CA)	0.8	0.5	1.1	0.6
Chiffre d'affaire (€/m ²)	1 060	1 813	88	713

Tableau 60 : Base source : agreste et Insee [13], [17]

Les résultats montrent donc que les deux secteurs logistique et industries ont des performances énergétiques bâtiments semblables autour de 30 MWh/salarié.an et 180 kWh/m².an. Si on les compare au secteur agricole, ces besoins énergétiques plus importants s'explique par un nombre de salariés par surface construite nettement plus important que le secteur agricole 60 sal/hectare pour les deux secteurs contre 9 sal/hectare pour l'agricole. Les besoins en conditionnement (chauffage et clim) sont de fait plus importants.

Ces résultats montrent que la part énergétique de conditionnement des locaux pour le confort du personnel porte donc l'essentiel de la consommation de ces bâtiments.

Le besoin en conditionnement des locaux dans le secteur agricole est en moyenne bien plus faible autour de 20 MWh/salarié.an et 19 kWh/m².an. Cela s'explique par le fait que le secteur agricole dépasse largement les deux autres en termes de surfaces construites. De plus, la moitié du parc construit concerne des hangars ouverts non chauffés sans besoin de conditionnement.

La charge financière énergie des bâtiments qui compare le chiffre d'affaire par secteur et les achats d'énergie (exprimée en % dans le tableau) est donnée à titre indicatif et est calculée sur une base commune pour les trois secteurs de 50 €/MWh⁹. C'est le secteur agricole qui a donc la charge énergie la plus importante (1,1 % du CA). A noter que c'est le secteur qui a également le ratio de production par salarié le plus faible autour de 93 k€ de CA produit par salarié.

Le secteur industrie génère le CA le plus important (870 Milliard€/an), la charge énergie des bâtiments est la plus faible des trois secteurs avec 0,5 % du chiffre d'affaire. Deux raisons expliquent ce résultat :

- Le chiffre d'affaire par salarié est trois fois plus important que par exemple celui de l'agriculture.
- La part consommation énergie pour les bâtiments est "atténuée" par la consommation énergétique des procédés de fabrication.

L'intensité énergétique des bâtiments Français est donc en moyenne calculée à 0,12 kWh/€ de chiffre d'affaire produit. Cette valeur varie du simple au double entre le secteur de l'industrie et de l'agriculture. Cela s'explique par une intensité (ou densité surfacique) productive bien plus importante en faveur de l'industrie 1 813 € de chiffre d'affaires produit par m² de bâtiment contre seulement 88 €/m² pour le secteur agricole.

Commentaires ACV

Les bâtiments du secteur Industrie contribuent majoritairement à la consommation d'énergie non renouvelable (63%), à la consommation d'eau (74%) et à la génération de déchets non dangereux (61%) du parc industriel français, même si ce secteur ne représente que la moitié des surfaces construites par rapport au secteur agricole. Au global, le secteur agricole a un impact fort sur le changement climatique (50%) tout comme le secteur industriel (41%). Cela s'explique par la contribution importante des serres au réchauffement climatique du fait qu'elles soient chauffées et non isolées. Même si le secteur logistique représente le plus petit secteur

⁹ Coût énergétique moyen toutes énergies et tous secteurs confondus. A noter que cette valeur est sans doute sous-estimée pour le secteur agricole.



étudié du point de vue des surfaces construites, sa part de contribution aux impacts environnementaux du parc industriel français n'est pas négligeable.

Secteurs	Logistique	Industrie	Agricole	Total
Surfaces construites (Millions m ² SHOB)	100	480	900	1 480
ACV (base de calcul sur une durée de vie de 50 ans)				
<i>Consommation d'énergie primaire non renouvelable (TWh PC)</i>				
Total secteurs	2 406	8 794	2 754	13 954
Répartition	17%	63%	20%	100%
<i>Emissions CO2 (MTonnes éq CO2)</i>				
Total secteurs	103	443	537	1 083
Répartition	10%	41%	50%	100%
<i>Consommation d'eau (Mm3)</i>				
Total secteurs	5 340	19 979	1 780	27 098
Répartition	20%	74%	7%	100%
<i>Déchets non dangereux (MTonnes)</i>				
Total secteurs	68	242	87	397
Répartition	17%	61%	22%	100%

Tableau 61 : Tableau de synthèse de l'analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par secteur

8. Phase 4 : Valorisation de la méthodologie et des outils développés

L'objectif du présent projet était d'explorer la performance environnementale et énergétique des bâtiments industriels français. Pour ce faire, des cas d'étude représentatifs de la diversité des bâtiments ont été déterminés et analysés. Les fonctions de base du bâtiment ont été séparées des procédés qui y sont hébergés, afin d'estimer les enjeux énergétiques et environnementaux de la construction et de l'utilisation de ces bâtiments hors conséquences des procédés industriels. Ce projet fournit également une matrice descriptive de la diversité des cas de bâtiments industriels, permettant d'envisager, après alimentation par de nouvelles données de modélisation, l'évaluation par extrapolation des autres cas et in-fine, l'évaluation des enjeux à l'échelle du parc de bâtiments.

Ainsi, le projet Batindus a vocation à être utilisé par les acteurs, notamment industriel, au-delà de ce second volet, pour s'enrichir de nouvelles données et préciser la performance des bâtiments industriels français. La communication auprès des acteurs du secteur est, de ce fait, un élément clef pour une future utilisation des résultats du projet.

Dans cet objectif, les membres de MECD ont participé aux journées R&D de l'ADEME et de l'ANR les 4 et 5 juin 2018, dans le cadre du parcours « A l'échelle du bâtiment ». Le projet Batindus dans son ensemble a pu être présenté sous le titre « Evaluation des Performances Energétiques et Environnementales des Bâtiments Industriels Français ». La présentation a permis d'exposer la méthodologie du projet Batindus et les résultats obtenus par le premier volet aux acteurs de l'évaluation des bâtiments par l'analyse de cycle de vie.

De même, une participation est prévue au colloque ALLICE organisé par le CETIAT, en partenariat avec l'ADEME, pour valoriser l'approche méthodologique sur la partie énergétique et discuter des résultats obtenus à la fin du projet.

Par ailleurs, pour donner suite à la publication du présent rapport, un article commun à tous les partenaires du projet sera rédigé. Il reprendra les objectifs, la méthodologie et les résultats obtenus au travers des deux volets du projet Batindus.



Enfin, un diaporama de l'approche méthodologique et de la matrice va être réalisés afin de permettre aux acteurs du bâtiment, et plus spécifiquement du secteur industriel, de comprendre les enjeux du projet Batindus et de se positionner vis-à-vis du parc français.

9. Conclusions

Le projet Batindus a permis d'étudier 21 bâtiments industriels, sous l'angle de leur performance énergétique et environnementale. L'échantillon de cas d'étude est modeste pour permettre de tirer des conclusions d'ensemble sur le parc des bâtiments visés ici. Cependant, plusieurs tendances ont pu être observées.

La matrice reprenant les éléments clés et les critères nécessaires à une description aisée et satisfaisante d'un cas d'étude élaborée dans le premier volet a pu être précisée et complétée dans le deuxième volet du projet : elle peut constituer un support pour la dissémination d'une pratique d'évaluation et de collecte de données qui permettront peu à peu d'étoffer la connaissance de ce segment de marché significatif.

Il a également pu être montré que plusieurs caractéristiques ou difficultés sont à considérer pour la conduite dans les meilleures conditions d'études environnementales et d'éventuelles approches comparatives :

- Les surfaces de référence considérées en pratique pour une étude thermique réglementaire et une étude environnementale ne sont pas les mêmes ;
- Les bâtiments industriels visés sont de géométrie très variable et proposent souvent un important volume. L'expression d'un résultat sur un ratio au m³ s'avère alors plus pertinent qu'au m², habituellement utilisé ;
- La disponibilité des données environnementales est en voie d'amélioration, mais certaines données étaient soit disparates (FDES établies à l'aide de normes différentes), soit absentes pour la modélisation d'ACV (les équipements de chauffage ou d'éclairage n'ont pu être considérés pleinement). Dans ce dernier cas, il a pu être fait appel à des données par défaut qui sont très pénalisantes et limitent significativement la lisibilité et l'interprétation des résultats ;
- Une analyse de cycle de vie comporte plus de vingt indicateurs qu'il conviendrait de considérer tous pour une démarche environnementale complète, notamment en termes d'économie de ressources.

En écartant au mieux du possible les procédés de fabrication et leurs conséquences sur le bâti, le poste le plus impactant, lors de l'étude énergétique d'un bâtiment, est le conditionnement en température de l'ambiance pour la zone considérée. Cette caractéristique a pu être observée sur toutes les typologies de bâtiments. Ce conditionnement d'ambiance induit, lors de l'étude environnementale, une prépondérance des impacts liés au contributeur Energie vis-à-vis des autres contributeurs et notamment Produits et Matériaux de construction, et ce, quelle que soit la typologie du bâtiment ou la structure mise en œuvre.

Quand le bâtiment consomme très peu d'énergie, comme le bâtiment n°18 (la bergerie), le contributeur Produits et Matériaux de construction devient logiquement plus important que le contributeur Energie pour tous les indicateurs. Dans la majorité des cas, la plus grande partie des impacts des Produits et Matériaux de construction proviennent de la superstructure. Ce phénomène est amplifié dans la présente étude par l'absence de prise en compte des lots CVC, réseaux d'électricité et éclairage, ainsi qu'il est mentionné au chapitre 1.20.2. Or, ces éléments, générateurs et consommateurs d'énergie par ailleurs objet de l'étude, ont un impact non négligeable sur les analyses de cycle de vie. Avec ces modèles partiels (structure + enveloppe), les bâtiments à structure acier (n°12 et 19) ou béton (n°9 et 17) apparaissent comme plus impactants que les bâtiments à structure bois (n°4 et 18) ou béton (n°4 et 18) sur l'indicateur de changement climatique pour le seul contributeur produits et matériaux de construction.

Des analyses de sensibilité ont été effectuées pour approfondir ces premiers résultats :

- D'un point de vue énergétique, la modification de l'emplacement des ouvrages et donc les conditions météorologiques qu'ils subissent permettent d'influencer notablement les consommations d'énergie liées au conditionnement d'ambiance. Cependant, lorsque la part énergétique des procédés est prise en compte, l'amélioration des consommations n'est plus significative. Cette analyse est similaire lorsque l'on étudie l'épaisseur de l'isolant. Une action combinée et réfléchie (localisation et isolation) permettrait de réduire significativement l'impact énergétique du secteur industriel. De plus, on peut observer pour le secteur industriel que la

consommation énergétique des bâtiments est fortement impactée par la charge thermique apportée par le fonctionnement des machines et des procédés (activité industrielle). Une approche globale lors de la conception des ouvrages est donc recommandée.

- D'un point de vue environnemental, cette approche globale à réaliser sur les consommations d'énergie du bâtiment durant son exploitation est également pertinente. La réflexion doit également prendre en compte le choix de l'emplacement afin d'optimiser la consommation de matériaux pour les fondations et permettre de concevoir des ouvrages destinés à faciliter leur adaptation au changement d'usage.

Les études environnementales et énergétiques de 21 bâtiments industriels, suivies par des analyses de sensibilité, nous ont permis de proposer une extrapolation de ces tendances à l'ensemble du parc bâti à l'échelle nationale.

L'analyse de la répartition des consommations énergétiques entre les secteurs et du nombre de salariés employés nous a permis de déduire que la part énergétique de conditionnement des locaux pour le confort du personnel ou la conservation des denrées porte donc l'essentiel de la consommation des bâtiments industriels, à l'exception des bâtiments agricoles, composés principalement de hangars ouverts non chauffés sans besoin de conditionnement.

L'analyse environnementale montre que les bâtiments du secteur Industrie contribuent majoritairement à la consommation d'énergie non renouvelable (63%), à la consommation d'eau (74%) et à la génération de déchets non dangereux (61%) du parc industriel français, même si ce secteur ne représente que la moitié des surfaces construites par rapport au secteur agricole. Au global, le secteur agricole a un impact fort sur le changement climatique (50%) tout comme le secteur industrie (41%). Toutefois, si le secteur logistique représente le plus petit secteur étudié du point de vue des surfaces construites, sa part de contribution aux impacts environnementaux du parc industriel français n'est pas négligeable.



REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Maaf-SSP, Enquête sur les consommations et les productions d'énergie dans les exploitations agricoles en 2011
- [2] Maaf-SSP, Enquête sur les consommations et les productions d'énergie dans les exploitations agricoles en 2011
- [3] ITAVI (2008), Les consommations d'énergie dans les bâtiments avicoles
- [4] MSI Report (2013), La construction de bâtiments non résidentiels en France : nouveaux enjeux
- [5] Observatoire de la construction neuve, Groupe Axiome, base de données BatiEtude ; Données Agreste ; Avis d'experts
- [6] Étude ADEME (août 2014), Première démarche de catégorisation des ateliers industriels et de leur performance énergétique - L'industrie manufacturière française en 10 ateliers-types
- [7] MSI Report (2013), La construction de bâtiments non résidentiels en France : nouveaux enjeux ; Avis d'experts
- [8] Commissariat Général au Développement Durable n°542 Juillet 2014 - L'intensité énergétique a baissé dans l'industrie entre 2001 et 2012
- [9] Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.31A
- [10] Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.11Z
- [11] Atlas des entrepôts et des aires logistiques en France en 2015 – édition Mars 2017
- [12] n°334 Juillet 2012 – Les entrepôts et leurs activités en 2012
- [13] <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr> - Enquête sur l'activité des entrepôts et des établissements logistiques (2016)
- [14] Les entreprises en France – édition 2017
- [15] CHIFFRES CLÉS de l'industrie manufacturière – édition 2017 Direction Générale des Entreprises (Ministère de l'économie et des finances)
- [16] CEREN : Données sur l'énergie dans l'industrie, 2015 MàJ 2018
- [17] AGRESTE PRIMEUR n°311 (Mai 2014), n°350 (Juin 2018), n°356 (Février 2019)
- [18] COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE
 - n° 517 Mai 2014 – En matière d'énergie, les exploitations agricoles consomment majoritairement des produits pétroliers
 - n°334 Juillet 2012 – Les entrepôts et leurs activités en 2012
- [19] Agreste Infos rapides – Légumes – Tomate – mars 2010 – n° 1 / 5
- [20] ADEME – Agriculture et efficacité énergétique – Février 2019
- [21] DATALAB (Ministère de la transition écologique et solidaire) :
 - Bilan énergétique de la France pour 2016 – édition Mars 2018
 - Atlas des entrepôts et des aires logistiques en France en 2015 – édition Mars 2017
- [22] Alim'Agri : site du ministère de l'agriculture et de l'alimentation. Fiches panorama des IAA :
 - Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.11Z
 - Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.13A
 - Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.83Z
 - Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.31A
 - Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.85Z

- Panorama des industries agroalimentaires – édition 2014 – sous classe 10.07A
- [23] Insee :
 - Insee Première : n°1714 – Octobre 2018
 - Les entreprises en France – édition 2017

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1: bâtiments agricoles consommations par types d'usage [1].....	9
Figure 2: Répartition par poste des consommations d'énergie [2]	10
Figure 3: Consommations d'énergie des filières élevage [3].....	10
Figure 4: Parc des bâtiments industriels en France en 2012 [4]	11
Figure 5: Site ministère de la transition écologique et solidaire	12
Figure 6 : Répartition des surfaces par secteur d'activité [7]	15
Figure 7: Répartition des consommations d'énergie par secteur d'activité exprimé en TWh/an [8]	15
Figure 8: Vue de la matrice « agricole »	17
Figure 9: Vue de la matrice « industriel »	17
Figure 10: Vue de la matrice « stockage-logistique »	18
Figure 11: Implantation géographique des bâtiments.....	19
Figure 12: Photo de la façade du bâtiment n°7	20
Figure 13: Plan de masse du bâtiment n°8	21
Figure 14 : Schéma du bâtiment n°9.....	22
Figure 15 : Schéma des zones thermiques pour le bâtiment n°10.....	23
Figure 16: Plan de masse du bâtiment N°11	24
Figure 17 : Façades du bâtiment n°11	25
Figure 18 : Plan de masse du bâtiment n°11.....	25
Figure 19 : Plan général du bâtiment n°13.....	26
Figure 20 : spécificités de conditionnement et charges thermiques par zones	26
Figure 21 : Schéma des zones étudiées pour le bâtiment n°14	27
Figure 22 : Plan de masse du bâtiment n°15	28
Figure 23: Plan général du bâtiment n°16.....	29
Figure 24: Plan général du bâtiment n°17	30
Figure 25: Coupe du bâtiment n°18	31
Figure 26 : Vue extérieure de la façade du bâtiment n°18.....	31
Figure 27 : Photo élevage avec lanterneaux – Source : ITAV	32
Figure 28: Schéma du bâtiment n°20 - Vue de dessus	33
Figure 29 : Modélisation du hangar agricole.....	33
Figure 30: répartition des consommations pour l'entrepôt Picking.....	38
Figure 31 : répartition des consommations pour l'entrepôt frigorifique (froid positif)	39
Figure 32: répartition des consommations pour l'entrepôt frigorifique (froid négatif)	40
Figure 33: répartition des consommations usine de fabrication de tissus	41
Figure 34: répartition des consommations usine de préfabrication	42
Figure 35 : répartition des consommations usine agroalimentaire.....	43
Figure 36 : répartition des consommations de la brulerie	44
Figure 37 : répartition des consommations de la brulerie	45
Figure 38 : répartition des consommation pour l'usine agro-alimentaire de produits culinaires .	46
Figure 39 : répartition des consommations pour l'usine d'embouteillage.....	46
Figure 40 : répartition des consommations pour la maternité porcine.....	47
Figure 41 : courbe température dans la bergerie sur une année	48
Figure 42 : répartition des consommations pour la bergerie	49
Figure 43 : Le cycle de vie d'un bâtiment	53
Figure 44: Présentation des contributeurs par phase de cycle de vie.....	54
Figure 45: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m ² SHOB et m ³ pour la totalité du cycle de vie.....	68



Figure 46: Résultats pour le changement climatique par m ² SHOB et m ³ pour la totalité du cycle de vie	70
Figure 47: Résultats pour le changement climatique par m ² SHOB et m ³ pour le contributeur produits et matériaux de construction.....	71
Figure 50 : Consommation énergétique par sous-secteur des bâtiments du parc Français	88
Figure 51 : Part des consommations énergétiques par sous-secteur des bâtiments du parc Français.....	88

Tableaux ⁽ⁱ⁾

Tableau 1: Répartition des bâtiments agricoles par taille [5]	11
Tableau 2: Surface des entrepôts selon type de stockage	12
Tableau 3: Répartition de la surface des entrepôts frigorifiques	13
Tableau 4: Atelier types retenus dans l'étude ADEME de 2014 [6].....	14
Tableau 5: récapitulatif surfaces et consommations par secteur	15
Tableau 6: nombre de bâtiments par secteur	16
Tableau 7: répartition du nombre de bâtiments par secteur	17
Tableau 8: 21 cas d'études	18
Tableau 9 : surface des différentes zones.....	29
Tableau 10: Bâtiment types étudiés	35
Tableau 11: consommation par poste entrepôt	38
Tableau 12: consommation par poste entrepôt frigorifique (froid positif)	39
Tableau 13: consommation par zones entrepôt frigorifique	39
Tableau 14: consommation par poste entrepôt frigorifique (froid négatif)	40
Tableau 15 consommation par poste usine de fabrication de tissu	41
Tableau 16: consommation par poste usine de produits de construction	42
Tableau 17: consommation par poste usine agroalimentaire	43
Tableau 18: consommation par poste Brulerie	44
Tableau 19 : consommation par poste usine agroalimentaire plats surgelés.....	44
Tableau 20 : consommation par poste usine agroalimentaire de produits culinaires	45
Tableau 21 : consommation par poste usine embouteillage.....	46
Tableau 22 : consommation par poste maternité porcine	47
Tableau 23 ; consommation par poste bâtiment élevage avicole	48
Tableau 24 : consommation par poste serre de culture de tomates	49
Tableau 25 : récapitulatif des consommation par poste pour ensemble des bâtiments	52
Tableau 26: Liste des lots considérés dans le périmètre d'étude	56
Tableau 27: Liste des indicateurs considérés dans le périmètre d'étude.....	58
Tableau 29: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt de picking et d'emballage à structure béton.....	59
Tableau 30: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt frigorifique à structure acier	59
Tableau 31: Indicateurs environnementaux de l'entrepôt frigorifique à structure béton	60
Tableau 32: Indicateurs environnementaux de l'usine de fabrication de tissus à structure acier	60
Tableau 33: Indicateurs environnementaux de l'usine de produits de construction préfabriqués en béton à structure béton	60
Tableau 34 : Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de charcuterie à structure acier.....	61
Tableau 35: Indicateurs environnementaux de la brûlerie à structure bois	61
Tableau 36: Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de plats surgelés à structure béton.....	61
Tableau 37: Indicateurs environnementaux de l'usine agroalimentaire de produits culinaires à structure acier	62
Tableau 38: Indicateurs environnementaux de l'usine d'embouteillage à structure bois.....	62
Tableau 39: Indicateurs environnementaux de la maternité porcine à structure béton	62
Tableau 40: Indicateurs environnementaux de la bergerie à structure bois	63
Tableau 41: Indicateurs environnementaux du bâtiment d'élevage avicole à structure acier.....	63
Tableau 42: Indicateurs environnementaux de la serre de culture de tomates à structure acier	63
Tableau 44: Indicateurs environnementaux du hangar agricole à structure acier	64

Tableau 45: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m ³ pour la totalité du cycle de vie et positionnement par rapport au maximum observé	69
Tableau 46: Résultats de la consommation d'énergie non renouvelable par m ³ pour la totalité du cycle de vie et pour les contributeurs Produits et Matériaux de construction (PCE) et pour le contributeur Energie.....	69
Tableau 47 : niveau d'énergie en fonction du groupe de bâtiment	72
Tableau 48 : Conditions climatiques selon 3 climats	74
Tableau 49 : consommations en fonction des 3 climats	74
Tableau 50 : variations des charges thermiques	75
Tableau 51 : variations de consommation VS isolation	76
Tableau 52 : influence de la zone climatique sur les indicateurs environnementaux	77
Tableau 53 : influence de la durée de vie du bâtiment	78
Tableau 54 : influence de la variation de l'épaisseur des fondations	79
Tableau 55 : Résultats ACV sur le cycle de vie complet (DVR = 50 ans)	80
Tableau 56 : influence du contributeur énergie	80
Tableau 57 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur logistique	84
Tableau 58 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur Industrie	85
Tableau 59 : Synthèse résultats analyses énergétique et environnementale bâtiments secteur agricole	86
Tableau 60 : Analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par sous-secteurs .	87
Tableau 61 : Analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par secteur	89
Tableau 62 : Base source : agreste et Insee [13], [17]	90
Tableau 63 : Tableau de synthèse de l'analyse énergétique et ACV : extrapolation au parc Français par secteur	91

Figures⁽ⁱ⁾

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
AFPIA	Association pour la Formation Professionnelle dans les Industries de l'Ameublement



L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique - nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

<https://www.ademe.fr/>

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous un regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

BATINDUS 2 – ETUDE ENERGETIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DES BATIMENTS INDUSTRIELS



Dans le cadre de de l'association Matériaux et Équipements pour une Construction Durable (MECD), labellisé Tremplin Carnot, trois de ses membres (CERIB, CTICM et FCBA) ont mené en compagnie du CETIAT une étude en deux volets (BATINDUS 1 et BATINDUS 2) visant à établir une évaluation énergétique et environnementale des bâtiments industriels du parc français.

Dans les bilans environnementaux et énergétiques des grands secteurs d'activité, l'industrie est souvent évaluée dans une approche globale, apparaissant alors comme un tout qui ne distingue pas le bâtiment qui héberge l'activité. Si l'on prend l'exemple simple de la consommation énergétique, le poste « bâtiments industriels » se trouve ainsi noyé dans le secteur industrie. Les consommations énergétiques fonctionnelles de base du bâtiment industriel sont écrasées par l'importance des consommations des procédés abrités par ces bâtiments.

Compte-tenu de la difficulté d'individualiser les impacts environnementaux et énergétiques liés à ces bâtiments et à leurs fonctionnalités de base, il en va ainsi des autres impacts liés à leur gestion, mais aussi de ceux liés à leur construction ou leur déconstruction (matériaux, chantiers).

L'objectif global du projet « BATINDUS » est donc d'explorer la performance environnementale et énergétique des bâtiments industriels en excluant celles liées aux procédés qui y sont hébergés. Ces études associées à des analyses de sensibilités ont été menés sur 21 bâtiments au total (6 dans le premier volet de l'étude et 15 dans ce second volet. Elles ont permis de proposer une extrapolation des résultats à l'ensemble du parc bâti.

