



**SENTRO  
WP4 – MANUEL D’AIDE A LA  
REALISATION DES ETUDES SUR LES  
SOURCES D’APPROVISIONNEMENT EN  
ENERGIE**

**Mai 2008**

**SENTRO**

**Sustainable Energy systems in New buildings – market inTROduction of feasibility studies under the Directive on the Energy Performance of Buildings**

Report no.: SENTRO/ / 2007/WP4.

EC-contract: EIE/06/102/SI2.445679

[www.sentro.eu](http://www.sentro.eu)

**Auteur VF:**

Hubert Despretz, Ademe,  
France,  
Hubert.despretz@ademe.fr

**Auteurs version initiale:**

Suzanne Joosen and Jasper  
Vis, Ecofys, Utrecht, The  
Netherlands;  
Paul Masselink, SenterNovem,  
The Netherlands;  
Marjana Sijanec Zavrl, BCEI  
ZRMK, Ljubljana, Slovenia;  
Klaus Hansen and Kirsten  
Engelund Thomsen, SBI,  
Denmark;  
Egidijus Norvaisa, LEI,  
Lithuania;  
Michal Siembab, Ecofys,  
Poland;  
Åsa Wahlström, SP, Sweden;  
Hubert Despretz, Ademe,  
France,

**Date:**

Mai 2008

**Report no:**

SENTRO/ 2007/WP4

**EC contract:**

EIE/06/102/SI2.445679

**Coordination du projet**

Ecofys Netherlands BV  
Utrecht, The Netherlands

Suzanne Joosen  
S.Joosen@ecofys.nl

**Remerciements:**

les partenaires du  
projet SENTRO tiennent à  
remercier les experts et acteurs  
du secteur du bâtiment et de  
l'URE qui ont bien voulu  
contribuer dans la tâche 2 du  
projet.

**Soutenu par:**

Intelligent Energy  Europe

**Notice légale**

Les auteurs du présent document sont seuls responsables de son contenu. Il ne représente pas nécessairement l'opinion de la Commission. La Commission Européenne n'est pas responsable de l'usage qui peut en être fait.

## Description du projet

---

Le secteur des bâtiments représente 40% des consommations d'énergie de l'Union Européenne. On estime le potentiel d'économie récupérable à 20% à l'horizon 2010. Pour transformer ce potentiel en économies effectives, la Directive Européenne sur la Performance Energétique des Bâtiments (DEPEB) 2002/91/EC a été promulguée afin de promouvoir la performance énergétique. Un aspect important (art.5) de la DEPEB est que les Etats Membres doivent s'assurer que la faisabilité de sources alternatives d'énergie a été prise en considération, dans les réglementations Nationales, pour chaque construction nouvelle de plus de 1000 m<sup>2</sup>.

A ce jour, de nombreux obstacles tels que les surcoûts, manques de savoir faire ou de confiance, freinent le recours à des sources alternatives d'énergie. Pour que l'article 5 ait un réel impact, il faut donc que les études de faisabilité sur les sources d'approvisionnement en énergie soient banalisées.

Le projet SENTRO vise à développer et promouvoir une approche optimisée pour conduire à une incorporation des études sur les sources d'approvisionnements alternatives (art. 5 DEPEB) dans le processus de conception-réalisation des constructions..

Le projet a débuté en faisant un état des lieux de la transcription en droit National par les Etats Membres de l'article 5 de la DEPEB. L'inventaire des pratiques a également compris les stratégies poursuivies pour mettre en place cette exigence quand ce n'est pas encore le cas. En conséquences, dans les sept pays partenaires de SENTRO (DK, FR, LT, PO, SL, SW), un inventaire des pratiques de conception et des barrières associées a été conduit. A la suite de cet inventaire, des outils sont développés pour faciliter la mise en œuvre des études de faisabilité énergétiques et faire en sorte de les banaliser dans les pratiques de conception au quotidien. Ces outils comme des check-listes, des guides ou des logigrammes, couvrent autant les aspects techniques que financiers ou organisationnels. Constituant le cœur du projet, ces outils seront testés dans des opérations réelles dans les pays partenaires. A la fin du projet des actions de dissémination (formation, conférences,...) seront organisées en direction des intervenants clés du secteur.

Les résultats attendus du projet SENTRO sont donc:

- Etat d'avancement de la transposition de l'article 5 de la DEPEB dans les pays de l'UE
- Identification des obstacles à la pénétration des solutions alternatives et des solutions potentielles pour les franchir
- Méthodes outils et check-listes permettant l'incorporation des études de faisabilité dans le processus de conception construction
- Enseignements retirés du test de ces outils sur des cas réels.

## Partenaires du Projet

Ecofys Netherlands	
SenterNovem Netherlands	
Building and Civil Engineering Institute ZRMK, Slovenia	
Danish Building Research Institute (SBI) Denmark	
Lithuania Energy Institute, Lithuania	
Ecofys Polska SP. Z.o.o., Poland	
Agence de l'environnement et de la maitrise de l'energie (Ademe), France	
SP Technical Research Institute of Sweden, Sweden	

## Résumé

---

La Directive Européenne sur la Performance énergétique des bâtiments a imposé la réalisation d'études de faisabilité de systèmes énergétiques alternatifs pour les constructions neuves d'egrande taille. La plupart des pays sont en cours d e transposition de cette exigence dans leur législation nationale, comme la France vient de la faire. Néanmoins, les supports techniques facilitant la réalisation de ces études, qu'il s'agisse de méthodes de calcul, de guides ou de recommandations techniques, font encore défaut.

Dans le cadre du projet EIE SENTRO (<http://www.sentro.eu/>) des éléments de réponse sont développés pour répondre à ce besoin.

Ce guide se veut un des éléments de réponse sur la façon de réaliser une étude de faisabilité et comment intégrer cette étape dans le processus général de conception construction d'un bâtiment. On y trouvera donc naturellement le rappel des textes réglementaires qui s'appliquent aujourd'hui en France. Il comprend également une check liste qui est basée sur une feuille de calcul Excel et qui doit contribuer à mettre en évidence les solutions les plus prometteuses ainsi que celles qui ne sont pas envisageables.

Ensuite une approche détaillée explique la méthodologie d'examen des solutions alternatives. Les aspects techniques, économiques et organisationnels sont à prendre en considération afin de lever les obstacles aux recours aux solutions utilisant des énergies renouvelables. Le manuel donne quelques exemples d'études de faisabilité menées dans différents pays. Le document passe également en revue les principales objections à la réalisation des études de faisabilité et suggère des arguments pour les lever. En fin d'ouvrage on pourra trouver une liste d'outils et méthodes de calcul utilisables pour la réalisaton de ces études.

## Sommaire

---

<b>Description du projet</b>	<b>iii</b>
<b>Partenaires du Projet</b>	<b>iv</b>
<b>Résumé</b>	<b>v</b>
<b>1 Introduction</b>	<b>9</b>
1.1 Art. 5 DEPEB	9
1.2 SENTRO	9
1.3 Manuel et check-liste	10
<b>2 Etudes des sources d’approvisionnement en énergie</b>	<b>11</b>
2.1 L’enveloppe du bâtiment et les systèmes ne sont qu’une entité indissociable.	11
2.2 L’étude de faisabilité	11
2.3 Etapes de conception et étude de faisabilité	12
2.4 Contexte réglementaire pour les études de faisabilité	13
2.5 Champ d’application	16
2.6 Principes et résultats attendus	16
2.7 Déclinaison technique du dispositif et des travaux à mener	17
2.8 Acteurs impliqués dans les études de faisabilité sur les sources d’approvisionnement en énergie	18
2.9 Description des solutions énergétiques alternatives	19
<b>3 Checkliste</b>	<b>23</b>
3.1 Objectif	23
3.2 Description	23
3.3 Mode d’emploi	24

## 4 Comment aborder les aspects techniques

25

<b>l'enveloppe</b>	<b>26</b>
Données d'entrée à saisir par l'utilisateur	26
Calcul de Ubat	26
Valeurs types proposées pour le bâtiment	29
Valeurs types proposées pour la zone	29
<b> Systèmes invariants</b>	<b>30</b>
Ventilation	30
Eclairage	31
Emission et distribution	32
<b>Solutions présenties</b>	<b>34</b>
Solution présentie avec effet joule	35
Solution de chauffage avec une chaudière gaz BT	36
Solution presentie pour l'ECS	39
<b>sytèmes variants</b>	<b>41</b>
Les installations solaires thermiques	41
Auxiliaire de l'installation solaire	43
Les sytèmes solaires photovoltaïques	43
Les sytèmes a bois ou à biomasse	44
Le raccordement a un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif urbain	45
Les pompes à chaleur	46
les chaudières à condensation	47
Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité	48
Puissance de chauffage	50
Puissance de refroidissement	51
<b>5 Eléments du calcul économique</b>	<b>52</b>
I. Les paramètres d'évaluation économique obligatoires	52
II. Les paramètres d'évaluation économique optionnels	58
<b>6 Analyse avantages / inconvénients</b>	<b>66</b>



<b>7 Critères environnementaux</b>	<b>69</b>
<b>8 Présentation de synthèse des résultats de l'étude</b>	<b>70</b>
<b>9 Exemples de calculs</b>	<b>72</b>
<b>10 Argumentaire et réponses aux objections les plus fréquentes</b>	<b>77</b>
<b>11 Conclusions</b>	<b>79</b>
<b>12 References</b>	<b>80</b>
<b>13 Annexe: Outils et méthodes pouvant être utilisés dans le cadre des études de faisabilité</b>	<b>81</b>

## 1 Introduction

---

L'Article 5 de la Directive Européenne sur la Performance Energétique des Bâtiments (DEPEB - 2002/91/EC) prescrit de rendre obligatoire, pour toutes les constructions neuves de plus de 1000 m<sup>2</sup>, la réalisation d'une étude de faisabilité des options alternatives d'énergie.

### 1.1 Art. 5 DEPEB

*« Les États membres prennent les mesures nécessaires pour garantir que les bâtiments neufs respectent les exigences minimales en matière de performance énergétique visées à l'article 4.*

*Pour les bâtiments neufs d'une superficie utile totale supérieure à 1 000 m<sup>2</sup>, les États membres veillent à ce que d'autres systèmes fassent l'objet d'une étude de faisabilité technique, environnementale et économique, comme par exemple:*

- les systèmes d'approvisionnement en énergie décentralisés faisant appel aux énergies renouvelables,*
- la PCCE,*
- les systèmes de chauffage ou de refroidissement urbains ou collectifs, s'ils existent,*
- les pompes à chaleur, sous certaines conditions,*

*et qu'il en soit tenu compte avant le début de la construction. »*

### 1.2 SENTRO

Ce document est l'un des éléments d'un projet Européen lauréat de la consultation Energie Intelligente pour l'Europe. Le projet s'intitule "Sustainable Energy systems in New buildings-market introduction of feasibility studies under the Directive on Energy Performance of Buildings (SENTRO)" qu'on pourrait traduire par "Systèmes énergétiques Durables dans les Bâtiments - Introduction sur le marché des études de faisabilité en application de la Directive Performance Energétique des Bâtiments ».

Le principal objet de ce travail est de proposer une démarche optimale pour incorporer ces études supplémentaires sur les sources alternatives d'énergie dans le processus habituel de conception des bâtiments.

Ce manuel se veut un guide pour aider à réaliser des études de faisabilité de qualité et faciliter aux acteurs leur introduction dans les étapes habituelles de dessin et de conception.

Cette intégration est nécessaire pour que la DEPEB soit efficace c'est à dire qu'une augmentation substantielle des solutions énergétiques alternatives soit constatée.

### 1.3 Manuel et check-liste

Ce manuel est construit dans le même ordre et selon les mêmes étapes qu'une étude de faisabilité devrait être réalisée. Il est principalement destiné aux maîtres d'ouvrages et aux consultants, AMO et maîtrise d'œuvre.

Le manuel comprend

- Une check liste présentée sous la forme d'un classeur sous Excel. Cet outil vise à permettre une première évaluation des systèmes énergétiques alternatifs et à servir de support de discussion entre les donneurs d'ordre et l'intervenant en charge de l'étude de faisabilité.
- Un logigramme décrivant les différentes étapes de conception en y intégrant les études de faisabilités sur les solutions énergétiques alternatives.
- Une description détaillée des 4 principales composantes d'une étude de faisabilité
  - o Aspects techniques
  - o Aspects financiers
  - o Questions organisationnelles
  - o Indicateurs environnementaux
- Quelques exemples de bonnes pratiques identifiées à ce jour dans différents pays.
- Une Foire Aux Questions permettant de répondre aux principales interrogations et objections des acteurs
- Une liste d'outils utilisables dans le cadre de ces études.

## **2 Etudes des sources d’approvisionnement en énergie**

---

### **2.1 L’enveloppe du bâtiment et les systèmes ne sont qu’une entité indissociable.**

L’efficacité énergétique d’un bâtiment dépend de la façon dont ses différentes composantes vont interagir, principalement l’enveloppe du bâtiment et les systèmes techniques. Pour concevoir un bâtiment performant sur le plan énergie, il faut rechercher des améliorations sur tous ses composants : composants de l’enveloppe cad parois opaques et vitrées, systèmes et services cad chauffage, ventilation, rafraîchissement, éclairage...

Par exemple, une amélioration de l’isolation du bâtiment en jouant sur les épaisseurs d’isolation ou sur l’étanchéité à l’air de la construction conduira à un besoin réduit d’énergie qui peut se révéler plus favorable à une solution alternative. La conception d’une solution basée sur les énergies renouvelables doit donc être menée après qu’une optimisation des la demande de chaleur et de froid ait été faite.

L’étude de faisabilité promue par l’article 5 de la DEPEB vise à promouvoir les solutions efficaces en énergie qui peuvent être réalisées en utilisant soit des systèmes très performants, soit des systèmes faisant appel aux énergies nouvelles et renouvelables. Les actions qui visent à réduire le besoin de chauffage (isolation, étanchéité, valorisation des apports,...) sont stimulées par d’autres articles de la DEPEB. C’est aussi la raison pour laquelle le projet SENTRO se focalise sur les solutions énergétiques alternatives basées sur les ENR. Il est néanmoins indispensable d’intégrer des mesures relatives à l’isolation, la ventilation ou l’éclairage naturel dans le projet .

### **2.2 L’étude de faisabilité**

Il est propose de décomposer la démarche en deux étapes:

- La première étape consiste à identifier les solutions qui seraient totalement inapplicables. A cet effet on peut s’appuyer sur la check liste qui est décrite au chapitre 3.
- La seconde étape est la réalisation de l’étude proprement dite sur les options effectivement à considérer. Les chapitres 4 à 7 visent à faciliter ce travail.



### **2.3 Etapes de conception et étude de faisabilité**

En général on peut décomposer le processus de construction en 6 phases principales :

- urbanisme
- programmation
- esquisse
- conception
- construction
- réception et utilisation

Ces étapes sont reprises dans le tableau 2.1. Cette illustration reprend également des résultats de l'inventaire réalisé en début du projet SENTRO et renvoie aux différents chapitres de ce manuel.

Comme constaté lors de l'analyse des obstacles, l'étape primordiale pour les choix énergétiques se situe aux phases les plus en amont du projet: urbanisme, programmation, esquisse et APS. La phase de programmation est évidemment essentielle car elle permet d'inclure des exigences d'utilisation des énergies renouvelables bien avant que les premières esquisses n'aient vu le jour.

L'étude sur les sources d'approvisionnement en énergie doit intervenir le plus tôt possible car les choix peuvent avoir des répercussions jusqu'à l'implantation sur la parcelle par exemple.

**Table 2.1** Déroulé schématique des étapes de conception construction d'un bâtiment.

Phasage de l'opération	Enjeux	Actions à mener
<b>Etudes préliminaires</b>	Prise en compte de l'environnement local, montage du financement,	Analyse de l'offre énergétique locale, optimisation de la parcelle, subventions locales,...
<b>Phase programme</b>	Fixation du cadre qualitatif et quantitatif, évolutivité	Avantages inconvénients des solutions envisageables,
<b>Esquisse</b>	Proposition du système pressenti et des variantes envisageables dans une approche intégrée	Analyse comparative à partir des valeurs par défaut si nécessaire
<b>Avant-projet sommaire</b>	Validation du système pressenti et des variantes envisageables, dossier à constituer	Analyse comparative à partir de paramètres adaptés Vérification de la conformité à la réglementation thermique (RT) Prévalidation de l'atteinte des exigences RT
<b>Projet</b>	Traçabilité des arbitrages finaux	Préparation de la mise en œuvre du système pressenti
<b>Construction</b>	Mise en œuvre suivant les prescriptions	Contrôles intermédiaires, Synthèse d'études thermiques standardisées de la RT Réception finale Délivrance du DPE
<b>Exploitation</b>	Capitalisation et fiabilité des études de faisabilité à venir	Analyse des écarts entre performance attendue et réelle

## 2.4 Contexte réglementaire pour les études de faisabilité

En transposition de l'article 5 de la directive portant sur les grands bâtiments neufs et en extension de ce dispositif aux réhabilitations importantes de grands bâtiments existant, la **loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique** de la France a introduit les articles L.111-9, L.111-10 et L.111-10-1 du code de la construction, comme suit :

« Art. L. 111-9. – Un décret en Conseil d'Etat détermine :

– les caractéristiques thermiques et la performance énergétique des constructions nouvelles, en fonction des catégories de bâtiments considérées ;

– les catégories de bâtiments qui font l'objet, avant leur construction, d'une étude de faisabilité technique et économique. Cette étude évalue ou envisage obligatoirement pour certaines catégories de bâtiments les diverses solutions d'approvisionnement en énergie de la nouvelle construction, dont celles qui font appel aux énergies renouvelables, aux productions combinées de chaleur et d'énergie, aux systèmes de chauffage ou de

*refroidissement urbain ou collectif s'ils existent, aux pompes à chaleur performantes en termes d'efficacité énergétique ou aux chaudières à condensation gaz, sans préjudice des décisions des autorités compétentes pour les services publics de distribution d'énergie ;*

*– le contenu et les modalités de réalisation de cette étude.*

*Art. L. 111-10. – Un décret en Conseil d'Etat détermine :*

*– les caractéristiques thermiques et la performance énergétique des bâtiments ou parties de bâtiments existants qui font l'objet de travaux, en fonction des catégories de bâtiments, du type de travaux envisagés ainsi que du rapport entre le coût de ces travaux et la valeur du bâtiment au-delà de laquelle ces dispositions s'appliquent ;*

*– les catégories de bâtiments ou parties de bâtiments existants qui font l'objet, avant le début des travaux, d'une étude de faisabilité technique et économique. Cette étude évalue les diverses solutions d'approvisionnement en énergie, dont celles qui font appel aux énergies renouvelables ;*

*– le contenu et les modalités de réalisation de cette étude ;*

*– les caractéristiques thermiques que doivent respecter les nouveaux équipements, ouvrages ou installations mis en place dans des bâtiments existants, en fonction des catégories de bâtiments considérées ;*

*– les catégories d'équipements, d'ouvrages ou d'installations visés par le précédent alinéa.*

*Les mesures visant à améliorer les caractéristiques thermiques et la performance énergétique des bâtiments existants ainsi que leur impact sur les loyers, les charges locatives et le coût de la construction sont évalués dans un délai de cinq ans à compter de la publication de la loi no 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique*

*Art. L. 111-10-1. – Le préfet, le maire de la commune d'implantation des bâtiments et le président de l'établissement public de coopération intercommunale compétent en matière de logement peuvent demander communication des études visées aux articles L. 111-9 et L. 111-10. Ces études doivent être communiquées dans le mois qui suit la demande. Leur refus de communication est passible des poursuites et sanctions prévues par les articles L. 152-1 à L. 152-10. »*

*Le décret 2007-363 du 19 mars 2007 a introduit les articles R.111-22, 111-22-1, 111-22-2 et 131-27 du code de la construction, libellés comme suit :*

*« Art. R. 111-22. – La présente sous-section s'applique à la construction de tout bâtiment nouveau ou partie nouvelle de bâtiment ou à toute opération de construction de*

Les études de faisabilité dans les réhabilitations au-delà d'un certain coût

bâtiments, dont la superficie hors oeuvre nette totale nouvelle est supérieure à 1 000 m<sup>2</sup>, à l'exception des catégories suivantes :

- a) Les constructions provisoires prévues pour une durée d'utilisation égale ou inférieure à deux ans ;
- b) Les bâtiments à usage agricole, artisanal ou industriel, autres que les locaux servant à l'habitation, qui ne demandent qu'une faible quantité d'énergie pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire ou le refroidissement ;
- c) Les bâtiments servant de lieux de culte ;
- d) Les extensions des monuments historiques classés ou inscrits à l'inventaire en application du code du patrimoine.

Art. R. 111-22-1. – Préalablement au dépôt de la demande de permis de construire, le maître d'ouvrage réalise une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie pour le chauffage, la ventilation, le refroidissement, la production d'eau chaude sanitaire et l'éclairage des locaux.

Cette étude examine notamment :

- le recours à l'énergie solaire et aux autres énergies renouvelables mentionnées par l'article 29 de la loi no 2005-781 du 13 juillet 2005 ;
- le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif ou urbain, s'il existe à proximité du terrain d'implantation de l'immeuble ou de l'opération ;
- l'utilisation de pompes à chaleur et de chaudières à condensation ;
- le recours à la production combinée de chaleur et d'électricité.

Elle présente les avantages et les inconvénients de chacune des solutions étudiées, quant aux conditions de gestion du dispositif, aux coûts d'investissement et d'exploitation, à la durée d'amortissement de l'investissement et à l'impact attendu sur les émissions de gaz à effet de serre. Elle tient compte pour l'extension d'un bâtiment des modes d'approvisionnement en énergie de celui-ci.

Cette étude précise les raisons pour lesquelles le maître d'ouvrage a retenu la solution d'approvisionnement choisie.

Art. R. 111-22-2. – Un arrêté conjoint des ministres chargés de la construction et de l'énergie détermine les modalités d'application de la présente sous-section.

Art. R. 131-27. – Dans les cas prévus à l'article R. 131-26, le maître d'ouvrage réalise une étude de faisabilité technique et économique des diverses solutions d'approvisionnement en énergie du bâtiment. Cette étude doit être faite préalablement au dépôt de la demande de permis de construire ou, si les travaux ne sont pas soumis à ce permis, préalablement à l'acceptation des devis ou à la passation des marchés relatifs à ces travaux. Elle est réalisée selon les modalités prévues aux articles R. 111-22, R. 111-22-1 et R. 111-22-2.

Toutefois, dans le cas où les travaux portent uniquement sur l'enveloppe du bâtiment, seule la solution d'approvisionnement en énergie solaire est étudiée.

*Enfin, l'article 4 du décret 2007-363 définit une application de ce dispositif aux permis de construire déposés après le 31 décembre 2007 pour les bâtiments neufs et pour les permis déposés après le 31 mars 2008 pour les réhabilitations. Pour des travaux de réhabilitation non soumis à dépôt de permis de construire, la date à prendre en compte est celle d'acceptation des devis ou de passation des marchés de travaux.*

## **2.5 Champ d'application**

*Ce dispositif s'applique :*

- Pour les bâtiments neufs ou parties nouvelles de bâtiments, à un sous-ensemble du champ d'application de la RT2005, pour les permis de construire déposés après le 31 décembre 2007,*
- Pour les bâtiments existants, le champ d'application ainsi que la date d'entrée en vigueur sont identiques à ceux de la RT globale dans l'existant.*

## **2.6 Principes et résultats attendus**

### **2.6.1 Cas à traiter**

L'étude de faisabilité doit systématiquement traiter de toutes les variantes mentionnées dans le décret. Ces variantes sont :

- Les systèmes solaires thermiques,
- Les systèmes solaires photovoltaïques,
- Les systèmes au bois ou à biomasse,
- Les systèmes éoliens,
- Les systèmes géothermiques,
- Les systèmes houlomoteurs,
- Les systèmes marémoteurs,
- Les systèmes hydrauliques,
- Le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif ou urbain,
- Les pompes à chaleur, sous conditions de performance,
- Les chaudières à condensation,
- Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

### **2.6.2. Résultats et indicateurs attendus**

Pour chacune des variantes, les indicateurs attendus dans la note de synthèse de l'étude sont :

- Si la variante est non envisageable du fait de la disponibilité de la ressource à proximité ?

La note de synthèse de l'étude doit présenter une justification pour les variantes non traitées.

- Si la variante est envisageable, les indicateurs à calculer et à présenter en synthèse de l'étude sont :
  - 2.a Surcoût d'investissement de la variante par rapport au projet de base,
  - 2.b Ecart de consommations énergétiques par m<sup>2</sup> entre la variante et le projet de base,
  - 2.c Ecart d'émissions de gaz à effet de serre par m<sup>2</sup> entre la variante et le projet de base,
  - 2.d Classe énergie potentiellement atteinte par la variante,
  - 2.e Classe climat potentiellement atteinte par la variante,
  - 2.f Ecart de coûts d'exploitation de la variante par rapport au projet de base (frais énergétiques + maintenance),
  - 2.g Cumul des économies d'énergie générées sur 100 ans,
  - 2.h Cumul des émissions de gaz à effet de serre évitées sur 100 ans,
  - 2.i Temps de retour brut,
  - 2.j Taux de rentabilité interne,
  - 2.k Coût global actualisé sur 100 ans,
  - 2.l Coût global annualisé,
  - 2.m Autres avantages et inconvénients liés à la variante.

## **2.7 Déclinaison technique du dispositif et des travaux à mener**

Les indicateurs sont repris un à un, afin de détailler quelles sont les données, cadrages réglementaires et travaux de développement méthode nécessaires.

L'indicateur 1 (sans unité) est à remplir directement par l'applicateur. Il ne nécessite aucun cadrage réglementaire.

L'indicateur 2.a. (en €TTC) est à remplir directement par l'applicateur. Un cadrage réglementaire de ces aspects serait à la fois très complexe et dépendant de la conjoncture ainsi que des produits et techniques mises en œuvre. La variabilité et les évolutions des prix des produits et équipements ne permet pas de définir des indications, fiables dans la durée, de coûts d'investissement par arrêté.

L'indicateur 2.b (en kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON/an) est à calculer par un moteur de calcul, sur la base de données d'entrée pour les variantes, dont un maximum doit être défini par défaut par arrêté. Compte tenu des délais serrés d'application du dispositif, il ne paraît pas pertinent d'imposer l'utilisation d'un moteur de calcul unique. Aussi, la solution proposée consiste en l'autorisation par arrêté d'une période de coexistence de plusieurs méthodes, jusqu'au 1er janvier 2009, puis d'harmonisation en une méthode unique, issue d'une simplification des méthodes utilisées dans le cadre de la RT2005 et de la RT globale dans l'existant. De plus, dans ce contexte spécifique de comparaison de solutions



techniques entre elles, il paraît pertinent de laisser la possibilité à l'applicateur de saisir des conventions différentes de celles définies dans le cadre réglementaire.

Les indicateurs 2.c, 2.d. et 2.e. (en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>SHON/an pour 2.c. et sans unité pour les deux autres indicateurs) sont calculés à partir du 2.b. et des modalités définies dans l'arrêté DPE construction.

L'indicateur 2.f. (en €TTC/an) est égal à la différence de frais énergétiques annuels entre la variante et la solution de base, frais calculés comme suit : somme des frais énergétiques annuels, calculés à partir du 2.b. et des modalités de l'arrêté DPE vente, et des frais de maintenance, à saisir directement par l'applicateur. Cet indicateur est calculé pour la première année après achèvement des travaux.

L'indicateur 2.g. (en kWhep) est égal à  $100 * 2.b. * SHON$ .

L'indicateur 2.h. (en kgCO<sub>2</sub>) est égal à  $100 * 2.c. * SHON$ .

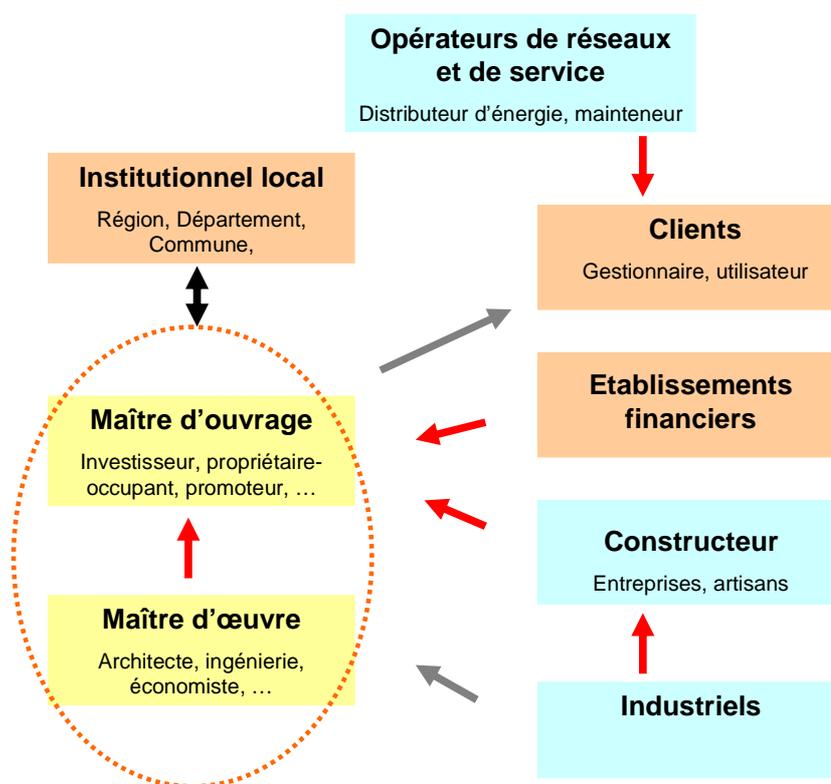
L'indicateur 2.i. (en années) est égal à 2.f. divisé par 2.a.

Les indicateurs 2.j. (en %), 2.k. et 2.l. sont calculés selon les modalités de l'annexe 2 de la présente note.

L'indicateur 2.m. (champ ouvert) est à remplir par l'applicateur, sans nécessité ou possibilité de cadrage réglementaire.

## **2.8 Acteurs impliqués dans les études de faisabilité sur les sources d'approvisionnement en énergie**

Dans le cadre du projet SENTRO, un état des lieux a permis de répertorier la façon selon laquelle les Etats Membres se sont mis en conformité avec les obligations imposées par la DEPEB en matière d'étude de faisabilité (Sijanec Zavrl, 2007). A l'occasion de ce travail, l'implication des intervenants de l'acte de construire a également été recensée et est illustrée sur la figure 2.2 . C'est eux qui prioritairement joueront un rôle majeur pour l'intégration de ces études de faisabilité dans les processus courants de construction



**Figure 2.2** Acteurs clés de l'introduction des études de faisabilité.

## 2.9 Description des solutions énergétiques alternatives

L'étude de faisabilité doit systématiquement traiter de toutes les variantes mentionnées dans le décret. Ces variantes sont :

- Les systèmes solaires thermiques,
- Les systèmes solaires photovoltaïques,
- Les systèmes au bois ou à biomasse,
- Les systèmes éoliens,
- Les systèmes géothermiques,
- Les systèmes houlomoteurs,
- Les systèmes marémoteurs,
- Les systèmes hydrauliques,
- Le raccordement à un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif ou urbain,
- Les pompes à chaleur, sous conditions de performance,
- Les chaudières à condensation,
- Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

### **Fourniture décentralisée d'énergie basée sur les énergies renouvelables** Systemes solaires thermiques

Dans un système solaire thermique, l'énergie solaire est convertie directement en chaleur. La chaleur obtenue peut être utilisée pour la production d'eau chaude sanitaire (ECS solaire), pour le chauffage ou pour la fourniture mixte d'eau chaude sanitaire et de chauffage. Un système solaire comprend le circuit solaire, le dispositif de stockage et un appoint. Le circuit solaire est un circuit étanche qui transfère la chaleur collectée par les capteurs solaires au stockage. On rencontre deux principaux types de capteurs : capteurs plans et capteurs sous vide. Le circuit solaire est rempli d'un fluide résidant au gel, généralement de l'eau additionnée de glycol. Pour la production d'ECS, le ballon de stockage est complété avec une résistance électrique d'appoint ou sert à alimenter en eau préchauffée le dispositif à combustible de production. Dans les systèmes de chauffage et ECS combinés, le stockage peut alimenter directement la distribution de chaleur pour l'espace et son réseau de radiateurs (ou plancher chauffant), un échangeur permettant de préchauffer l'eau chaude. Tous types d'appoint (électrique ou à combustible pouvant être combinés).

### Electricité solaire ou photovoltaïque

Dans un système photovoltaïque, l'énergie solaire est directement convertie en électricité. Une cellule photovoltaïque est une mince couche d'un matériau semi conducteur comportant des électrons libres mis en mouvement pour produire un courant sous l'effet du rayonnement. Un capteur photovoltaïque est un assemblage de cellules connectées en série et formant un module. La production type d'un module est de 100 W pour une surface de 0.6 à 1.5 m<sup>2</sup>. Le module produit du courant continu qui doit être transformé par un onduleur en courant alternatif pour être utilisé dans les applications courantes. Environ 15% de l'énergie incidente est transformée en électricité, le reste se transforme en chaleur et le rendement du module décroît lorsque sa température augmente. Il est possible, par exemple de rafraîchir les modules avec de l'eau et d'augmenter à la fois le rendement électrique tout en récupérant de l'énergie sous forme thermique. Les capteurs photovoltaïques peuvent être intégrés dans le bâtiment et en devenir ainsi des composants, en façade par exemple. Il y a de nombreuses applications de l'électricité photovoltaïques en sites isolés (phares, bateaux, signalisation, refuges de montagne,...) mais la tendance actuelle est plutôt orientée vers des installations connectées au réseau électrique et à la revente de l'électricité produite.

### Systèmes à biomasse

Les systèmes à biomasse utilisent la biomasse comme combustible. Il s'agit de biomasse venant du bois (bûches, bois déchiqueté, sciure de bois, ...), de cultures (huiles végétales, paille,...) voire la tourbe et certains déchets. Le combustible biomasse se présente souvent sous forme de granulés. Le combustible est brûlé dans une chaudière qui produira chaleur et eau chaude sanitaire à l'instar des systèmes à combustibles fossiles. Ces générateurs demanderont un peu plus d'entretien et il faudra prévoir l'espace adapté au stockage de la biomasse (le ration est d'environ 3.4 m<sup>3</sup> de stockage de granulés pour 1 m<sup>3</sup> de fioul)

## Micro cogénération à l'échelle des bâtiments

Cogénération ou production combinée de chaleur et de force désigne les systèmes produisant à la fois de la chaleur et de l'électricité. Le combustible le plus couramment utilisé est le gaz naturel pour les petites installations mais la technologie peut fonctionner avec du biogaz. L'électricité est fournie par un alternateur actionné par un moteur à gaz, un moteur Stirling ou une micro turbine, ou générée par une pile à combustible. On peut également connecter un moteur Stirling à une chaudière biomasse. La biomasse peut aussi être utilisée, après gaséification dans la micro turbine, le moteur à gaz ou la pile à combustible.

## Réseau de chaleur et de froid

### Chauffage urbain, réseau de chaleur

La chaleur est produite dans une centrale qui peut être soit une chaufferie, soit une installation de cogénération (CHP). Un quartier ou une ville toute entière est alimentée par de l'eau chaude circulant dans des conduites enterrées et isolées. Tous types de combustibles peuvent être utilisés : fioul, gaz, biomasse, déchets domestiques,... Dans les bâtiments ou blocs d'immeubles desservis, une station comportant un échangeur permet de produire l'eau chaude ou l'ECS nécessaires.

### Réseau de froid

Un réseau de froid est basé sur les mêmes principes qu'un réseau de chaleur, mais c'est de l'eau froide qui est distribuée. Elle peut être produite de différentes manières : utilisation d'eau froide gratuite d'un lac ou d'une rivière, de la mer ou accumulation de neige en hiver, groupes à absorption utilisant de la chaleur provenant d'une chaudière ou d'un réseau.... Les pompes à chaleur pouvant produire simultanément de la chaleur et du froid sont le système le plus fréquemment rencontré. Comme pour le chauffage, une sous station avec un échangeur permet d'utiliser l'eau froide ou réfrigérée au niveau du bâtiment.

## Pompes à chaleur

### Pompe à chaleur géothermale

Les pompes à chaleur géothermales désignent les systèmes qui utilisent la chaleur du sol ou d'eau souterraine. La chaleur produite peut être utilisée pour le chauffage ou pour produire de l'ECS. Les PAC géothermales peuvent être réversibles et utilisées en climatisation. L'efficacité d'une PAC est caractérisée par son COP (Coefficient de Performance) qui est le rapport de l'énergie fournie à l'énergie consommée.

On différencie les systèmes de PAC suivants :

**Géothermie sèche profonde** : la chaleur est prélevée via un forage dans la roche à une profondeur de 100 à 200 mètres. Ce type de PAC est toujours connecté à un réseau de fluide caloporteur avec des tubes qui font office d'échangeur au contact de la roche...

**Pompes géothermales de surface ou sur le sol** : la chaleur est prélevée dans le sol en surface par des canalisations enterrées horizontalement ou en aiguilles verticales (ou dans des pieux de fondation) à faible profondeur. On peut utiliser des systèmes à détente directe ou avec fluide caloporteur

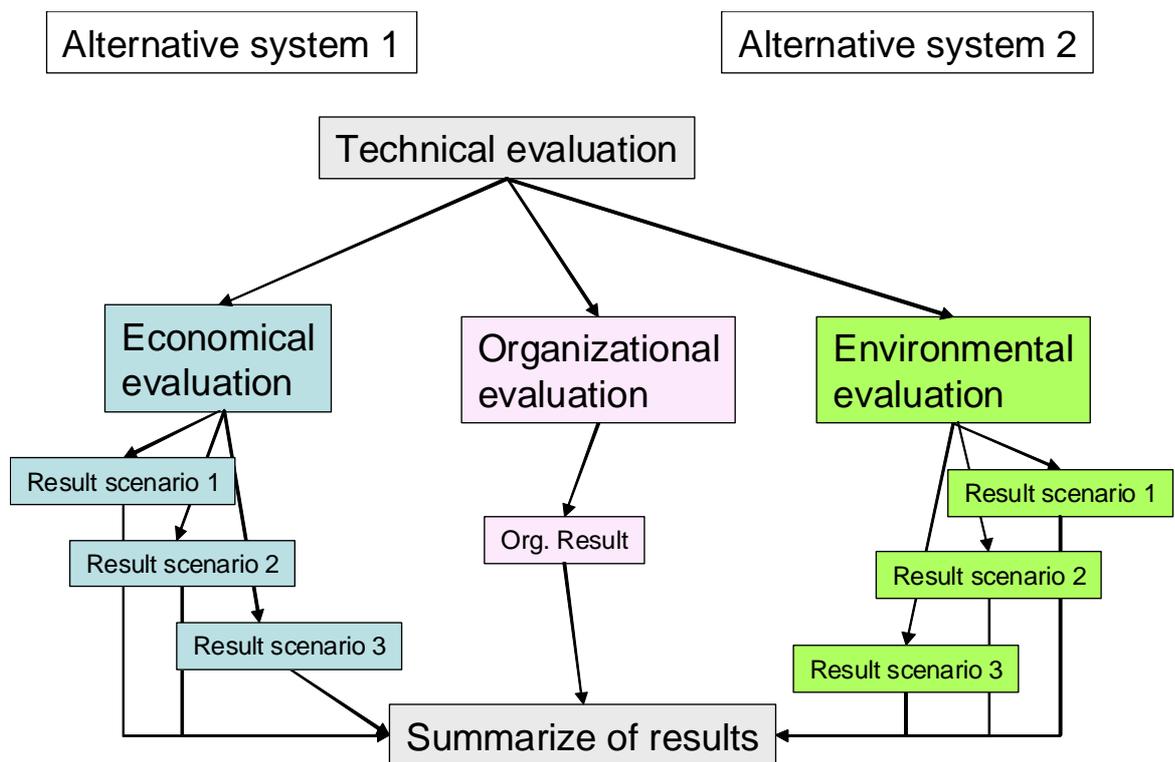
**PAC sur eau de surface (mer, lac, rivière)** : la chaleur est prélevée par un échangeur placé dans le cours d'eau ou l'eau est pompée puis rejetée après échange

**PAC sur eau de nappe** : l'eau de la nappe est pompée puis réinjectée par deux puits de forage suffisamment distants pour ne pas s'influencer mutuellement

There are different types of geothermal heat pumps:

### Autres pompes à chaleur

Les autres systèmes de PAC utilisent l'air extérieur comme source de chaleur. Ces PAC ont des coefficients d'exploitation saisonnier 10 à 30% inférieurs aux PAC sur eau, ceci étant principalement du au fait que la performance décroît sensiblement avec la température. Parmi ces PAC on trouve les systèmes sur air extrait qui permettent de récupérer et valoriser une large part de la chaleur rejetée par la ventilation



**Figure 2.3** Flowchart overview of different evaluations in a feasibility study.

## 3 Checkliste

### 3.1 Objectif

L'utilisation de la checkliste permet de passer rapidement en revue, avec le maître d'ouvrage, les différentes options qui doivent être prises en considération et de déterminer celles qui ne seront pas analysées en détail pour cause d'inapplicabilité. Les atouts particuliers de certaines solutions alternatives pourront également être détectés

### 3.2 Description

Chaque solution alternative considérée fait l'objet d'une évaluation sous quatre angles: technique, économique, organisationnel et environnemental. Chaque critères est ensuite pondéré avec des facteurs de pondération qui peuvent être choisis par l'utilisateur en fonction de l'importance relative à ses yeux de chacun d'eux. Par défaut on propose les valeurs suivantes :

- Technique: 0.3
- Financier: 0.2
- Organisationnel: 0.1
- Environnemental: 0.4

Ici ceci signifie que l'on accorde une importance prioritaire au critère environnemental.

La cotation des situations au regard des critères se fait sur une échelle de 1 à 3, la valeur 0 caractérisant une impossibilité

Fourniture décentralisée								
A1	Systèmes solaires thermiques	Situation favorable = 3 points	Effort moyen pour réussite = 2 points	réalisation peu facile (ou situation défavorable) = 1 point	SCORE, 1 à 3	SUBScore (%)	Pondération, à compléter (0 - 1)	Total Score
Paramètres techniques	Besoin ECS	Activités de restauration, coiffure, hôtellerie, résidentiel	bâtiment avec cuisine	Bureaux	1	56%	0.2	78%
	besoin chauffage	besoin y compris en saison estivale	besoin de chauffage en demi saison	besoin de chauffage limité à l'hiver	2			
	Intégration bâtiment	Toiture avec une large superficie orientée sud, possibilité d'eplacer les capteurs avec une inclinaison favorable (30 à 45 °), pas d'ombre portée ou de masques avoisinants, possibilités d'intégration des capteurs dans d'autres éléments d'enveloppe (façades,...)	Toiture orientée est ou ouest, masques partiels ou ombres portées momentanées	pas de toiture disponible, ombrage permanent	2			
Paramètres financiers	Tarifs	Prix du kWh fourni comparable à celui de l'énergie de référence (gaz ou électricité)	Prix du kWh fourni 2 à 3 fois celui du kWh de référence (électricité ou gaz)	Prix du kWh 5 fois ou plus supérieur à celui du kWh de référence.	3	67%	0.3	78%
	Raccordement à un réseau de chaleur	Possibilité de revendre de l'énergie excédentaire à un réseau de chaleur	Revente possible de l'excès d'énergie à un réseau de chaleur mais pas hors saison de chauffage	pas de raccordement disponible	1			
	Dispositifs de soutien financier	subvention d'€30 % des coûts	subvention de 15% des coûts d'investissement	Pas de subvention	2			
Paramètres organisationnels	Permis de construire (ou/ou non)	facile à obtenir	Possible à obtenir	Difficile	3	92%	0.4	78%
	Qualité du système	Maintenance très réduite	Maintenance tous les 3 ans	Plusieurs fois par an	3			
	Offre d'équipement fiable	Pas de besoin pièce de rechange en 10 ans	Fonctionnement 5 ans sans besoin de pièce de rechange	Forte probabilité de panne	2			
	Installateurs compétents	Facile de trouver des installateurs qualifiés	Possible de trouver des installateurs expérimentés	Peu d'installateurs de qualité	3			
Paramètres environnement	Fort impact = 3 points		impact moyen = 2 points		faible impact = 1 point			
	Effet sur le réchauffement climatique	Substitue 20% ou plus d'énergie conventionnelle	Substitue 10 % d'énergie conventionnelle	Substitue 5 % d'énergie conventionnelle	3	100%	0.1	78%

Figure 3.1 Extrait de la checkliste pour la partie relative au solaire thermique avec le système de cotation de 1 à 3

### 3.3 Mode d'emploi

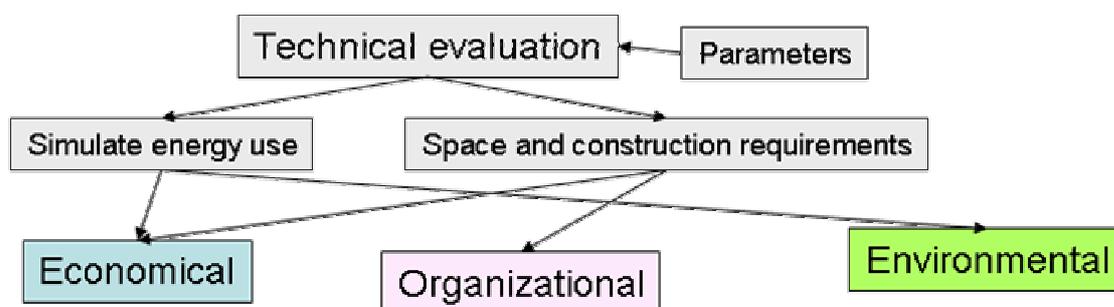
Chaque paramètre est suivi de différents aspects qui doivent être cotés de 1 à 3. L'évaluateur se contente d'indiquer les scores dans les cases en blanc et les synthèses seront automatiquement réalisées avec les facteurs de pondération choisis.

	<b>Production décentralisée d'énergie</b>	Résumé: succès comparé des efforts (avec pondération)	technique	finance	organisation	environnement	Bénéfice environnemental (% de gain)
A1	Systèmes solaires thermiques (chauffage, eau chaude sanitaire)	78%	56%	67%	92%	100%	14
A2	Electricité solaire (PV, éolien...)	80%	58%	93%	75%	100%	1
A3	Biomasse (chauffage et ECS)	88%	75%	100%	83%	100%	63
<b>Cogénération et réseaux de chaleur et froid</b>							
A4	Cogénération (micro) dans le bâtiment	77%	60%	67%	92%	83%	0
A5 and	Réseau de chaleur	60%	50%	56%	67%	67%	32
A7	Réseau de froid	84%	89%	100%	83%	33%	0
<b>Pompes à chaleur</b>							
A8	PAC géothermales (chauffage et ECS)	84%	58%	83%	92%	100%	40
A9	Autres PAC	67%	67%	33%	75%	100%	29
A10	Autres	0%	0%	0%	0%	0%	0
<b>Autres ou combinaisons</b>							
ex	Rafraîchissement passif (puits canadien, rafraîchissement adiabatique....)	0%					0
ex	A2 + A7	0%					0
		0%					0

**Figure 3.2** feuille résumé d'évaluation comparative de la probabilité de succès des différentes solutions énergétiques alternatives.

## 4 Comment aborder les aspects techniques

Pour comparer différentes sources d’approvisionnement énergétique d’un point de vue technique, il est nécessaire de rassembler les paramètres propres à chaque solution afin de conduire les calculs ou simulations appropriés. En même temps que les éléments de calculs de consommation énergétique, les sujétions techniques (accès, espace supplémentaire, contraintes de sécurité,...) seront notées. Les données et résultats de l’analyse technique serviront ensuite de base pour les évaluations économiques, organisationnelles et environnementales.



**Figure** diagramme simplifié de la place de l’analyse technique dans l’étude de faisabilité.

L’étude réglementaire est généralement réalisée en phase APD de manière à compléter le DCE. Lorsque le permis de construire est déposé avant cette phase, il n’y a souvent pas assez d’informations pour le réaliser. Il s’agit alors de permettre de réaliser l’étude de faisabilité des approvisionnements en énergie avec les quelques éléments disponibles.

Les calculs de consommations sont à réaliser avec les logiciels de la réglementation thermique RT 2005 et RT existante basés sur les méthodes réglementaires Th-CE et Th-Cex.

Cette partie du guide est réservée à la définition de valeurs types pour la partie enveloppe et système. L’applicateur pourra utiliser ces derniers dans le cas de non disponibilité de valeurs au moment de la réalisation de l’étude de faisabilité.

En première partie, les valeurs types pour la partie enveloppe et pour la partie système invariant sont présentés. Les trois postes systèmes identifiés comme invariants sont la ventilation, l’éclairage et l’émission-distribution. Les caractéristiques du système de ventilation et d’éclairage seront présentées selon la typologie du bâtiment : résidentiel ou tertiaire. Quant à l’émission-distribution, cela dépendra du choix de l’applicateur.

En seconde partie, deux solutions de génération sont prédéfinies comme solutions



presenties : la première à effet joule et la deuxième avec une chaudière BT. Les deux solutions sont proposées avec une possibilité de climatisation. Le choix d'une d'entre elles, selon la source d'énergie, permet de fixer l'ensemble des paramètres nécessaires à la réalisation du calcul de consommation.

## **l'enveloppe**

### **Données d'entrée à saisir par l'utilisateur**

Zone climatique

SHON (m<sup>2</sup>)  
 Surface habitable (m<sup>2</sup>) si logements  
 Surface utile (m<sup>2</sup>) si tertiaire  
 Hauteur sous plafond : HSP (m<sup>2</sup>)  
 Surface au sol : Asol (m<sup>2</sup>)  
 Type de toiture : combles / terrasse

Périmètre donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé PERi (m)  
 Nombre de niveau correspondant NBNIVi (su)  
 Pour les étages inférieurs : PER1 ; NIV1  
 Pour les étages intermédiaires : PER2 ; NIV2  
 Pour les étages supérieurs : PER3 ; NIV3

% de surfaces vitrées par orientations solaire	Type de protection
Sud : %Avsud	PSsud
Nord : %Avnord	PSnord
Est : %Avest	PSest
Ouest : %Avouest	PSouest
Horizontal : %Avhor	PShor
Type de protection solaire : aucun / stores intérieurs / stores extérieurs / vitrages teintés / vitrages contrôle solaire / inconnu ou autre	

Type d'isolation : isolation par l'intérieur béton / isolation par l'intérieur maçonnerie / isolation par l'extérieur / isolation répartie / ossature bois / ossature métallique  
 Traitement singulier par type de pont  
 Si ITE : Périmètre de balcons : PERblc (si pas ITE PERblc = 0)  
 Nombre de refend traversant pour un étage type : NBRFD

	Usage	% de surface utile	Nb de niveaux	CE1/CE2	nu
	Usage-Zi	%Su-Zi	NBNIV-Zi	CE-Zi	Nu-Zi
Z1					
Z2					
Z3					
Z4					

### **Calcul de Ubat**

**Le calcul de Ubat est réalisé selon les règles Th-Bat avec les valeurs suivantes :**

$$\mathbf{Apv = HSP \times (PER1 \times NIV1 + PER2 \times NIV2 + PER3 \times NIV3)}$$

**Pour un immeuble à utilisation majoritairement tertiaire :**

		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .K)
A1	Murs	Apv – a6	a1
A2	Toiture combles	Si combles perdus Apb ; si combles aménagés 1,3xApb sinon 0	a2
A3	Toiture terrasse	Si toiture terrasse Apb sinon 0	a3
A4	Plancher bas	Apb	a4
A5	Porte	0	a5
A6	Fenêtres tertiaire	Apv x (%Avsud + %Avnord + %Avest + %Avouest))	a6
A7	Fenêtre résidentiel	0	a7

**Pour un immeuble à utilisation majoritairement résidentiel :**

		A (m <sup>2</sup> )	U (W/m <sup>2</sup> .K)
A1	Murs	Apv – a6	a1
A2	Toiture combles	Si combles perdus Apb ; si combles aménagés 1,3xApb sinon 0	a2
A3	Toiture terrasse	Si toiture terrasse Apb sinon 0	a3
A4	Plancher bas	Apb	a4
A5	Porte	0	a5
A6	Fenêtres tertiaire	0	a6
A7	Fenêtre résidentiel	Apv x (%Avsud + %Avnord + %Avest + %Avouest))	a7

## Détermination des ponts thermiques

		Code	ITI + béton		ITI + maçonnerie	ITE		IR	OB	OM
			pas rupteur	rupteur		pas rupteur	rupteur			
Plancher haut	lourd	Psi10	0,84	0,26	0,77	0,74	0,31	0,35	0,7	1,2 en tertiaire 1 en immeuble collectif 0,65 en maison
Plancher haut	léger		0,08	-	0,07	0,66	-	0,11	0,1	
Plancher intermédiaire	lourd sans chape	Psi9a	0,99	0,26	0,82	0,09	-	0,31	0,45	0,35
Plancher intermédiaire	lourd avec chape		0,88	-	0,74	0,11	-	0,3	-	-
Plancher intermédiaire	léger		0,2	-	0,13	0,09	-	0,1	0,2	-
Balcon		Psi9b	0,99	0,41	0,82	1,03	0,34	0,7	-	-
Plancher bas	lourd sans chape	Psi10	0,7	0,26	0,6	0,79	0,66	0,61	0,7	0,7
Plancher bas	lourd avec chape		0,1	-	0,1	-	-	0,16	0,12	-
Plancher bas	léger		-	-	-	-	-	-	0,1	-
Refend/mur		Psi11	0,83	0,31	0,34	0,07	0,07	0,13	0,05	0,35

ITI : isolation par l'intérieur

ITE : isolation par l'extérieur

IR : isolation répartie

OB : ossature bois

OM : ossature métallique

Déperditions par les ponts thermiques =  $L8 \times \text{Psi}8 + L9a \times \text{Psi}9a + L9b \times \text{Psi}9b + L10 \times \text{Psi}10 + L11 \times \text{Psi}11$

$L8 = \text{PER}1$

$L9a = \text{PER}2 \times (\text{NBNIV}1 + \text{NBNIV}2 + \text{NBNIV}3 - 3) - \text{PER}b/c$  /  $L9b = \text{PER}b/c$

$L10 = \text{PER}3$

$L11 = \text{HSP} \times (\text{NBNIV}1 + \text{NBNIV}2 + \text{NBNIV}3) \times \text{NBRFD}$

Ubat = Max (Ubatmax ; Ubat calculé ci-dessus)

## Valeurs types proposées pour le bâtiment

**Hbat = (NBNIV1 + NBNIV2 + NBNIV3) x HSP**

**At = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 + A7**

**Atbat = A1 + A2 + A3 + A5 + A6 + A7**

**Abat-oph = A2 + A3**

**Ubat cf §1**

**Ubaie = 1.8 si résidentiel / 2.1 si tertiaire**

**S\_oph\_c = 0.01**

**S\_opv\_c = 0.01**

**Q4pasurf = valeur par défaut des règles THCE**

## Valeurs types proposées pour la zone

**hz = HSP x NBNIV-Zi**

**hypothèse : 1 groupe / zone**

**Agr = SHON x %Su-Zi**

**Classe inertie = moyenne**

**Surfaces vitrées :**

**Aparoi-nord = %Su-Zi x %Avnord x (A6 si tertiaire ; A7 sinon)**

**Aparoi-sud = %Su-Zi x %Avsud x (A6 si tertiaire ; A7 sinon)**

**Aparoi-est = %Su-Zi x %Avest x (A6 si tertiaire ; A7 sinon)**

**Aparoi-ouest = %Su-Zi x %Avouest x (A6 si tertiaire ; A7 sinon)**

**Aparoi-hor = %Su-Zi x %Avhor + (A2+A3)**

**Type de protection solaire :**

	Sw	Tl
aucun	0.6	0.5
stores intérieurs	0.4	0.4
stores extérieurs	0.2	0.2
vitrages teintés	0.3	0.3
vitrages contrôle solaire	0.3	0.4
inconnu ou autre	0.4	0.3

## Systèmes invariants

On appelle système invariant tout système inchangeable lors de la comparaison entre une solution de base et une solution variante. Il s'agit dans notre cas de la ventilation, de l'éclairage et de l'émission-distribution.

### Ventilation

Quelque soit le système de ventilation, on le traite comme un système de ventilation à débits maîtrisés.

Le système de ventilation est caractérisé par le type d'installation, le débit soufflé en occupation, le débit extrait en occupation, les caractéristiques des composants de ventilation et la puissance des ventilateurs.

Deux systèmes sont définis comme invariants : ventilation simple flux pour le résidentiel et ventilation double flux sans échangeur pour le tertiaire.

Les valeurs types proposées par type de bâtiment sont issues de la méthode réglementaire Th-Cex qui est en cours de finalisation. Elles sont récapitulées ci-dessous.

### Résidentiel

	$Q_{varep_{specocc/m^2\_conv}}$ m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	$Q_{vasou_{specocc/m^2\_conv}}$ m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	$Crdb_{conv}$ [-]	$Cdep_{conv}$ [-]	$Cfres_{conv}$	$S_{mea_{conv}}$ m <sup>3</sup> /h/m <sup>2</sup>	$P_{ventilateur\_conv/m^2}$ W/m <sup>2</sup>
Ventilation mécanique à extraction hygroréglable	1.2	0	0.75	1.25	1.1	2	0.5

Tableau 1 : valeurs types pour la ventilation dans le résidentiel

$$Q_{vasou_{occ}} = Crdb_{conv} * Cdep_{conv} * Cfres_{conv} * Q_{vasou_{specocc/m^2\_conv}} * A$$

$$Q_{varep_{occ}} = Crdb_{conv} * Cdep_{conv} * Cfres_{conv} * Q_{varep_{specocc/m^2\_conv}} * A$$

$$S_{mea} = S_{mea_{conv}} * A_g$$

$$P_{ventilateur} = P_{ventilateur\_conv / m^2} * A_z$$

$Crdb_{conv}$  : valeur conventionnelle du coefficient de régulation des débits

$Cdep_{conv}$  : valeur conventionnelle du coefficient de dépassement

$Cfres_{conv}$  : valeur conventionnelle du coefficient de fuite des réseaux

$Q_{vasou_{specocc/m^2\_conv}}$  : valeur conventionnelle du débit spécifique moyen soufflé par unité de surface habitable exprimé en m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>

$Q_{varep_{specocc/m^2\_conv}}$  : valeur conventionnelle du débit spécifique moyen à reprendre par unité de surface habitable exprimé m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup>

A : surface habitable de la partie de la zone desservie par le système de ventilation en m<sup>2</sup>

$A_g$  : Surface du groupe

$Smea_{conv}$  : valeur conventionnelle de la somme des modules d'entrée d'air exprimée en  $m^3/h/m^2$  de surface habitable sous 20 Pa.

$A_z$  : surface habitable de la zone en  $m^2$

### **Non résidentiel**

Types d'usage	$Qva_{specoc\_conv}$ $m^3/h/m^2$
Établissements sanitaires avec hébergement	3
Hôtellerie et autres hébergements	3
Établissement sanitaire sans hébergement	3
Enseignement	
• Primaire et premier cycle secondaire	5
• 2 <sup>ème</sup> cycle secondaire et universitaire	6
Bureaux	3
Salles de spectacle, de conférence	8
Commerces	4
Restauration plusieurs repas par jour	8
Restauration un repas par jour	8
Établissements sportifs	3
Stockage	0.1
Industrie	0.1
Transport	4
Locaux non compris dans une autre catégorie	3

Tableau 2 : Valeurs types par usage dans le tertiaire

	$Qvarep_{specoc/m^2\_conv}$ $m^3/h/m^2$	$Qvasou_{specoc/m^2\_conv}$ $m^3/h/m^2$	$Crdb_{conv}$ [-]	$Cdep_{conv}$ [-]	$Cfres_{conv}$ nv	$Smea_{conv}$ $m^3/h/m^2$	$EFF_{échangeur\_conv}$	$P_{ventilateur\_conv}$ $W/m^2$
Ventilation mécanique double flux sans échangeur	= $Qva_{specoc\_conv}$	= $Qva_{specoc\_conv}$	1.05	1.25	1.1	0	-	=0.5* $Qva_{specoc\_conv}$

Tableau 3 : Valeurs types pour la ventilation dans le tertiaire

## **Eclairage**

Le poste d'éclairage est caractérisé dans la réglementation par la puissance installée, l'accès à l'éclairage naturel ainsi que par sa gestion. Le tableau ci-dessous présente les caractéristiques types retenues pour l'étude de faisabilité. Elles correspondent aux valeurs de références de la réglementation thermique pour les bâtiments neufs.

Caractéristiques	RT 2005	En Résidentiel	Autre que résidentiel
<b>Puissance installée (W)</b>	Valeur conventionnelle dans le logement (2W/m <sup>2</sup> )  Projet pour tertiaire	2 W/m <sup>2</sup>	12 W/m <sup>2</sup>
<b>Accès à l'éclairage naturel</b>	Valeur conventionnelle dans le logement (Effectif)  Projet pour tertiaire	Effectif	Effectif
<b>Gestion de l'éclairage</b>	Valeur conventionnelle dans le logement (Interrupteur)  Projet pour tertiaire	Interrupteur	Interrupteur

Tableau 4 : Valeurs types de l'éclairage

## Emission et distribution

Pour l'étude de faisabilité deux types d'émetteurs sont proposés : les ventilo-convecteurs et les radiateurs.

L'ensemble des caractéristiques pour la partie émission et distribution est récapitulé dans le tableau ci-dessous. Elles correspondent aux valeurs de référence de la RT 2005.

Caractéristiques	VCV	Radiateur
<b>Type de gestion des ventilateurs</b>	Régulé en fonction des besoins	Pas de ventilateurs
<b>Perte au dos de l'émetteur</b>	0	0
<b>Part assurée par le système</b>	1	1
<b>Puissance des ventilateurs</b>	2 W/m <sup>2</sup>	0
<b>Classe de variation spatiale</b>	Classe B	Classe B

Caractéristiques	VCV	Radiateur
Variation temporelle	1,2 pour le chauffage et -1,8 pour le froid	1,2
Type de volume	Volume normale	Volume normale
Emplacement du réseau	Réseau partiellement hors volume chauffé	Réseau partiellement hors volume chauffé
Type de réseau	Bitube	Bitube
Classe d'isolant de la partie hors volume chauffé	Classe 2 pour le chauffage et classe 3 pour le froid	Classe 2
Température de distribution	Moyenne pour le chaud et basse pour le froid	Moyenne
Gestion de la température	En fonction de la température extérieure si $S > 400 \text{ m}^2$ sinon en fonction de la température intérieure	En fonction de la température extérieure si $S > 400 \text{ m}^2$ sinon en fonction de la température intérieure
Longueur du réseau en Volume chauffé	Valeur par défaut de la RT 2005	Valeur par défaut de la RT 2005
Longueur du réseau froid en volume habitable	Valeur par défaut de la RT 2005	-
Présence de circulateur	Oui (chauffage et refroidissement)	Oui
Puissance du circulateur	Calcul par défaut selon la RT 2005 (chauffage et refroidissement)	Calcul par défaut selon la RT 2005
Vitesse du circulateur	Constante avec arrêt si pas de demande (chauffage et refroidissement)	Constante avec arrêt si pas de demande

Tableau 5 : Caractéristiques de l'émission distribution

## Solutions pressenties

Le choix d'une des solutions pressenties permet de s'affranchir de la composition des installations. En effet, une fois la solution choisie, l'ensemble des paramètres sera fixé.

Deux possibilités ont été identifiées comme pressenties : solution à effet joule et solution au gaz. Les deux sont proposées avec une possibilité de climatisation. Quant à l'ECS, une seule solution est proposée, il s'agit du chauffe-eau-électrique.

Les valeurs proposées sont des valeurs de référence de la RT 2005 sauf pour le COP et le EER qui sont des valeurs types.

## Solution pr esentie avec effet joule

	Chauffage seul	Chauffage + Climatisation
<b>Caractéristiques</b>	<b>Effet joule avec des panneaux rayonnants</b>	<b>Système Thermodynamique avec VCV</b>
<b>Type de gestion des ventilateurs</b>	Pas de ventilateur	Arrêt des ventilateurs hors périodes de besoin et régulation en fonction des besoins sinon
<b>Perte au dos de l'émetteur</b>	0	0
<b>Part assurée par le système</b>	1	1
<b>Puissance des ventilateurs</b>	0	2 W/m <sup>2</sup>
<b>Classe de variation spatiale pour le chauffage</b>	Classe B	Classe B
<b>Variation temporelle pour le chauffage</b>	0,9	1,2
<b>Classe de variation spatiale pour le froid</b>	-	Classe B
<b>Variation temporelle pour le froid</b>	-	-1,8
<b>Présence de régulation en froid</b>	-	Oui
<b>Type de volume</b>	Normal	Normal
<b>Emplacement du réseau</b>	En volume chauffé sans perte	Partiellement hors volume chauffé
<b>Type de réseau</b>	-	Bitube
<b>Classe d'isolant de la partie hors volume chauffé</b>	-	Classe 3 pour le froid et classe 2 pour le chauffage
<b>Température de distribution</b>	-	Moyenne pour le chauffage et basse pour le froid
<b>Gestion de la température de départ d'eau chaude</b>	-	Si Surface > 400 m <sup>2</sup> en fonction de la température extérieure. Sinon, intérieure

	<b>Chauffage seul</b>	<b>Chauffage + Climatisation</b>
<b>Longueur du réseau en Volume chauffé</b>	-	Calcul par défaut selon RT 2005
<b>Longueur du réseau froid en volume habitable</b>	-	Calcul par défaut selon RT2005
<b>Présence de circulateur (en froid et en chaud)</b>	-	oui
<b>Puissance du circulateur (en froid et en chaud)</b>	-	Calcul par défaut selon Th-CE
<b>Vitesse du circulateur (en froid et en chaud)</b>	-	Vitesse constante avec arrêt si pas de demande
<b>Gestion de la température</b>	En Fonction de la température intérieure	En fonction de la température intérieure
<b>Emplacement de la production</b>	En volume chauffé	Hors volume chauffé
<b>Type de générateur</b>	Effet joule direct	Système Thermodynamique à compression électrique
<b>Puissance nominale en chaud</b>	-	Voir annexe
<b>Puissance nominale en froid</b>	-	Voir annexe
<b>Type d'énergie</b>	Electrique	Electrique
<b>Choix du générateur</b>	-	Air-Eau
<b>COP</b>	-	Valeur type = 3,2
<b>EER</b>	-	Valeur type = 2,6
<b>Loi d'eau en chaud</b>	-	Sans loi d'eau
<b>Présence d'auxiliaire</b>	-	Non

Tableau 6 : Solution pressentie avec effet joule

## **Solution de chauffage avec une chaudière gaz BT**

	<b>Chauffage seul</b>	<b>Chauffage + Climatisation</b>
<b>Caractéristiques</b>	<b>Chaudière BT avec Radiateur</b>	<b>Chaudière BT + GR Froid avec VCV</b>
<b>Type de gestion des ventilateurs</b>	Pas de ventilateur	Régulé en fonction des besoins
<b>Perte au dos de l'émetteur</b>	0	0
<b>Part assurée par le système</b>	1	1
<b>Puissance des ventilateurs</b>	0	2 W/m <sup>2</sup>
<b>Classe de variation spatiale</b>	Classe B	Classe B
<b>Variation temporelle</b>	1,2	1,2 pour le chauffage et -1,8 pour le froid
<b>Présence de variation en froid</b>	-	Oui
<b>Type de volume</b>	Volume normal	Volume normal
<b>Emplacement du réseau</b>	Réseau partiellement hors volume chauffé	Réseau partiellement hors volume chauffé
<b>Type de réseau</b>	Bitube	Bitube
<b>Classe d'isolant de la partie hors volume chauffé</b>	Classe 2	Classe 2
<b>Température de distribution</b>	Moyenne	Moyenne pour le chaud et basse pour le froid
<b>Gestion de la température de départ d'eau chaude</b>	En fonction de la température extérieure si S > 400 m <sup>2</sup> sinon en fonction de la température intérieure	En fonction de la température extérieure si S > 400 m <sup>2</sup> sinon en fonction de la température intérieure
<b>Longueur du réseau en Volume chauffé</b>	Calcul par défaut de la RT 2005	Calcul par défaut de la RT 2005

	Chauffage seul	Chauffage + Climatisation
<b>Présence de circulateur (en froid et en chaud)</b>	Oui	Oui
<b>Puissance du circulateur (en froid et en chaud)</b>	Calcul par défaut de la RT 2005	Calcul par défaut de la RT 2005
<b>Vitesse du circulateur(en froid et en chaud)</b>	Constante avec arrêt si pas de demande	Constante avec arrêt si pas de demande
<b>Gestion de la température</b>	En fonction de la température intérieure	En fonction de la température intérieure
<b>Emplacement de la production</b>	Hors volume chauffé	Hors volume chauffé
<b>Type de chaudière</b>	Chaudière BT GAZ	Chaudière BT GAZ
<b>Puissance nominale en chaud</b>	Voir annexe	Voir annexe
<b>Type d'énergie</b>	Gaz	Gaz
<b>Rpn (Rendement sur PCI à 100 % de charge)</b>	$R_{pn} = 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$	$R_{pn} = 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
<b>Rpint (Rendement sur PCI à charge partielle)</b>	$R_{pint} = 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$	$R_{pn} = 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
<b>Qp0 (Pertes à charge nulle)</b>	$Q_{p0} = P_n \cdot (2,5 - 0,8 \cdot \log P_n) / 100$	$Q_{p0} = P_n \cdot (2,5 - 0,8 \cdot \log P_n) / 100$
<b>Pcir (Puissance électrique des auxiliaires)</b>	$P_{cir, g} = 20 + 1,6 \cdot P_n$	$P_{cir, g} = 20 + 1,6 \cdot P_n$
<b>Gestion de la température</b>	-	En Fonction de la température intérieure
<b>Emplacement de la production</b>	-	Hors volume chauffé
<b>Type de générateur</b>	-	Système Thermodynamique à

	Chauffage seul	Chauffage + Climatisation
		compression électrique
Puissance nominale en froid	-	Voir annexe
Type d'énergie	-	Electrique
Choix du générateur	-	Air-Eau
COPcorrige	-	2 ,45
EERcorrige	-	2,45

Tableau 7 : Solution presentie avec une chaudière BT

### Solution presentie pour l'ECS

Caractéristiques	Chauffe eau électrique	Chaudière BT
Emplacement de la production	En volume chauffé	Les caractéristiques de la chaudière sont celles listées dans le tableau 7 avec le mode de production : chauffage et fourniture d'ECS
Gestion de la température	Fonctionnement à Température constante	
Mode de production	ECS par fonctionnement intermittent	
Type de générateur	Ballon avec résistance à effet joule intégrée	
Puissance nominale en chaud	45 W/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	
Type d'énergie	Electrique	
Type de stockage	Pour ECS seul	
Type de ballon	Chauffe-eau électrique à accumulation verticale supérieur à 75 l	
Volume de stockage	3,5 l/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>	
Constante de refroidissement	Cr= 1,25. V <sup>-0,33</sup> pour V <500l Cr= 2. V <sup>-0,4</sup> pour V >500l	

<sup>1</sup> Valeur établie pour les logements à partir des données fournies par les fabricants.

<b>Type de distribution</b>	Individuelle sans réseau bouclé ou tracé en MI Collective avec Réseau bouclé pour les autres	
-----------------------------	---	--

Tableau 8 : Solution pressentie pour l'ECS

## systèmes variants

Dans cette partie sont présentées les valeurs types proposées pour les différentes générations suivantes :

- les systèmes solaires thermiques,
- les systèmes solaires photovoltaïques,
- les systèmes à bois ou à biomasse,
- le réseau de chaleur ou de froid,
- les pompes à chaleur,
- les chaudières à condensation,
- les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité.

L'applicateur aura la possibilité de renseigner les valeurs types ou les valeurs du projet.

### Les installations solaires thermiques

Les caractéristiques présentées ci-dessous concernent les éléments de production d'ECS solaire. Le choix du type de production et du type d'installation dépendront de l'applicateur. De même pour l'installation solaire combinée.

#### Capteurs solaires

Les caractéristiques principales sont : la superficie  $A$  ( $m^2$ ), le rendement optique  $\eta_0$  et le coefficient de pertes  $a_1$  ( $W/(m^2.K)$ ). Les différents paramètres proposés pour le calcul de faisabilité sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
La superficie $A$ ( $m^2$ )	Projet	Projet
Orientation du capteur	Projet	Projet
Inclinaison du capteur	Projet	Projet
Le rendement optique $\eta_0$	Projet ou valeur par défaut $\eta_0 = 0,6$	Valeur type : $\eta_0 = 0,8$
Type de capteur	Projet	Choix type : Capteur vitré
Coefficient de pertes du premier ordre d'un capteur solaire $a_1$	Projet ou valeur par défaut $a_1 = 10 W/(m^2K)$	Valeur type : $a_1 = 3,5 W/(m^2K)$

	(capteur vitré)	
	a1 = 30 W/(m²K)	
	(capteur non vitré)	

Tableau 9 : Caractéristiques des capteurs solaires

Les valeurs proposées pour le calcul de faisabilité sont des valeurs types correspondant aux pratiques actuelles.

### **Ballon de stockage**

Le ballon de stockage solaire est caractérisé par son volume nominal Vn (litres) et son coefficient de pertes UA (W/K). Ce dernier est déterminé selon la relation ci-dessous :

$$UA = Cr.Vn/24 \quad (W/K)$$

Les différents paramètres proposés pour le calcul de faisabilité sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
<b>Volume de stockage nominal</b>	Projet	Projet
<b>Mode de stockage</b>	Projet	Choix type : ECS
<b>Position du stockage (verticale-horizontale)</b>	Projet	Choix type : vertical
<b>Emplacement du stockage</b>	Projet	Choix type : Hors volume chauffé
<b>Type d'appoint</b>	Projet	Choix type : Appoint séparé
<b>Mode de fonctionnement de l'appoint</b>	Projet	Choix type : Fonctionnement de nuit ou en secours
<b>Caractéristiques des pertes</b>	Projet	Valeur type : $Cr=3.3 \cdot V^{-0.45}$ (W/k)
<b>Calcul du faux</b>	Projet ou valeur par défaut	Valeur type = 0,5

Tableau 10 : Caractéristiques du ballon de stockage

Les valeurs proposées pour le calcul de faisabilité sont des valeurs types correspondant aux pratiques actuelles.

### Auxiliaire de l'installation solaire

Faute de connaître la puissance des auxiliaires, le calcul par défaut de la RT 2005 est proposé avec :

$$P_{aux} = 50 + 5 * A \text{ (W)}$$

A étant la superficie des capteurs en m<sup>2</sup>.

### Les systèmes solaires photovoltaïques

Les systèmes solaires photovoltaïques sont caractérisés par la surface des capteurs, par la puissance crête P<sub>0</sub> et par l'indice de performance R<sub>p</sub>.

La valeur de la puissance crête P<sub>0</sub> des modules est déterminée par la formule suivante :

$$P_0 = R_s \times S$$

Les modules couches minces et multi cristallin sont proposés comme deux possibilités avec

R<sub>s</sub> = 35 Wc/m<sup>2</sup> pour la première solution et R<sub>s</sub> = 115 Wc/m<sup>2</sup> pour la seconde.

Le facteur de correction du rendement global R<sub>p</sub>, correspondant à l'indice de performance, est proposé à 0,7. Cela correspond à des modules non ventilés.

Les différents paramètres proposés pour le calcul de faisabilité sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
<b>S surface de capteurs (m<sup>2</sup>)</b>	Projet	Projet
<b>Orientation du module photovoltaïque</b>	Projet	Projet
<b>Inclinaison du module photovoltaïque</b>	Projet	Projet
<b>R<sub>s</sub> puissance crête par m<sup>2</sup></b>	Projet	Projet limité à : 1- R <sub>s</sub> = 115 Wc/m <sup>2</sup> (Multi cristallin) 2- R <sub>s</sub> = 35 Wc/m <sup>2</sup> (Couches minces)
<b>R<sub>p</sub> indice de performance selon</b>	Projet	Valeur type :

<b>type d'intégration</b>		Rp =0,7
<b>Puissance crête</b>	Projet	Projet limité à : 1- P <sub>0</sub> (Wc)=115 x S (Multi cristallin) 2- P <sub>0</sub> (Wc)= 35 x S (Couches minces)

Tableau 11 : Caractéristiques du système solaire photovoltaïque

Les valeurs types proposées pour le calcul de faisabilité sont issues des valeurs par défaut proposées dans la méthode Th-CE.

## Les systèmes à bois ou à biomasse

Aujourd'hui, seule la chaudière à bois avec ses 3 classes est prise en compte dans la méthode Th-CE. Elle est caractérisée par sa puissance nominale P<sub>n</sub>, son rendement à puissance nominale et à puissance intermédiaire, la puissance des auxiliaires et les pertes à charge nulle.

Le système proposé pour la faisabilité est la chaudière à bois de classe 3 avec un tirage naturel et une alimentation automatique.

Pour les quatre variables relatives à la performance de la machine, le tableau fournit les valeurs nécessaires à leurs déterminations.

$$R_{pn} = A+B.\log P_n \quad (\%)$$

$$R_{pint} = C+ D. \log P_n \quad (\%)$$

$$Q_{p0}=P_n.(E+F.\log P_n)/100 \quad (\text{kW})$$

$$P_{cir, g} = G+H.P_n \quad (\text{W})$$

A	B	C	D	E	F	G	H
67	6	68	6	1,5	-0,8	0	10

Tableau 12 : Caractéristiques de la chaudière à bois de classe 2

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
<b>Puissance nominale</b>	Projet	Voir annexe
<b>Type d'énergie</b>	Bois	Bois
<b>R<sub>pn</sub> (Rendement sur PCI à 100 % de charge)</b>	Projet ou par défaut R <sub>pn</sub> = 57+6.log P <sub>n</sub>	Valeur type : R <sub>pn</sub> = 67+6.log P <sub>n</sub>

<b>Rpint (Rendement sur PCI à charge partielle)</b>	Projet ou par défaut $R_{pint} = 58 + 6 \cdot \log P_n$	Valeur type : $R_{pint} = 68 + 6 \cdot \log P_n$
<b>Qp0 (Pertes à charge nulle, kW)</b>	Projet ou par défaut $Q_{p0} = P_n \cdot (1,5 - 0,8 \cdot \log P_n) / 100$	Valeur type : $Q_{p0} = P_n \cdot (1,5 - 0,8 \cdot \log P_n) / 100$
<b>Pcir (Puissance électrique des auxiliaires, KW)</b>	Projet ou par défaut $P_{cir, g} = 0,01 \cdot P_n$	Valeur type : $P_{cir, g} = 0,01 \cdot P_n$

Tableau 13 : Caractéristiques du système au bois et à la biomasse

Les valeurs types proposées pour le calcul de faisabilité sont issues des valeurs par défaut proposées dans la méthode Th-CE.

### **Le raccordement a un réseau de chauffage ou de refroidissement collectif urbain**

Le réseau collectif ou urbain est caractérisé par sa puissance nominale, le type d'échangeur et la classe d'isolation du réseau.

Les différents paramètres proposés pour le calcul de faisabilité sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
Pn en chaud	Projet	Projet
Puissance électrique des auxiliaires du générateur	Projet	Valeur type : 0
Type d'échangeur	Projet	Choix type : Echangeur basse température en froid et haute température en chaud
Classe d'isolation	Projet	Choix type : Isolation classe 2
Source d'énergie	Projet	Projet

Tableau 14 : Caractéristiques du réseau de chaleur ou de froid collectif ou urbain

## Les pompes à chaleur

La PAC est prise en compte dans le neuf et dans l'existant. Elle est caractérisée par sa puissance nominale en chaud et en froid, par le type de la machine, par son COP et son EER. Seules les performances relatives au chauffage sont prises en compte dans cette étude.

La pompe à chaleur de type air-eau est proposée comme machine type hors PAC géothermale.

La valeur du COP proposée pour le calcul de faisabilité est une valeur moyenne issue de la réglementation par élément.

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité PAC	Faisabilité PAC Géothermale
Pn en chaud	Projet	Voir annexe	Voir annexe
Pn en froid	Projet	Voir annexe	Voir annexe
Présence d'auxiliaire	Projet	Non	Pompe de captage
Choix du générateur en chaud	Système thermodynamique	Système thermodynamique	Système thermodynamique
COP	Projet	3,2	2,7
EER	Projet	2,6	3

<b>Régulation en chaud et en froid</b>	Projet	Programmation 70-100%	Programmation 70-100%
<b>Loi d'eau en chaud</b>	Projet	Sans loi d'eau	Avec loi d'eau

Tableau 15 : Caractéristiques de la PAC

## les chaudières à condensation

Les performances de la chaudière à condensation proposées pour le calcul de faisabilité sont les valeurs par défaut proposées dans la méthode Th-CE..

Pour les quatre variables ci-dessous relatives à la performance de la chaudière à condensation, le tableau ci-dessous fournit les valeurs pour les déterminer.

$$R_{pn} = A+B.\log P_n \quad (\%)$$

$$R_{pint} = C+ D. \log P_n \quad (\%)$$

$$Q_{p0}=P_n. (E+F. \log P_n)/100 \quad (kW)$$

$$P_{cir, g} = G+H.P_n \quad (W)$$

A	B	C	D	E	F	G	H
91	1	97	1	2.5	-0.8	20	1.6

Tableau 16 : Caractéristiques de la chaudière à condensation

Caractéristiques	RT 2005	Faisabilité
<b>Puissance nominale</b>	Projet	Projet
<b>Puissance électrique des auxiliaires (W)</b> <b>Avec Pn en kW</b>	Projet ou par défaut $P_{cir, g} = 20+1,6.P_n$	$P_{cir, g} = 20+1,6.P_n$
<b>Type d'énergie</b>	Projet	Projet
<b>Rpn (Rendement sur PCI à 100 % de charge)</b>	Projet ou par défaut $R_{pn} = 91+\log P_n$	$R_{pn} = 91+\log P_n$
<b>Rpint (Rendement sur PCI à charge partielle)</b>	Projet ou par défaut $R_{pint} = 97+ \log P_n$	$R_{pint} = 97+ \log P_n$

<b>Pertes à charge nulle (kW)</b>	Projet ou par défaut $Q_{p0} = P_n \cdot (2.5 - 0.8 \cdot \log P_n) / 100$	$Q_{p0} = P_n \cdot (2.5 - 0.8 \cdot \log P_n) / 100$
-----------------------------------	---	---

Tableau 17 : Caractéristiques de la chaudière à condensation

## Les systèmes de production combinée de chaleur et d'électricité

Le principe de la micro-cogénération consiste à produire simultanément de la chaleur et de l'électricité. La chaleur générée sert à chauffer les bâtiments, à préparer l'eau chaude sanitaire ou à régénérer des machines de refroidissement. L'électricité produite est non autoconsommée. Elle est réinjectée sur le réseau.

Grâce à cette production combinée, l'économie en énergie primaire est de l'ordre de 15 à 20% comparée à une production séparée avec les mêmes quantités d'énergie.

La directive européenne 2004/8/CE concernant la promotion de la cogénération a fixé à 1 MWe le seuil en dessous duquel on parle de petite cogénération et à 50 kWe celui de la micro-cogénération.

En France, en fonction des plages d'abonnement EDF, le seuil de la micro-cogénération est défini en dessous de 36 kWe.

La cogénération de la chaleur et de l'électricité peut être assurée au moyen de plusieurs technologies. On distingue dans le cas de la micro-cogénération:

- les moteurs à combustion interne,
- les moteurs Stirling (combustion externe),
- les micro turbines,
- les piles à combustibles.

L'objectif du présent paragraphe est de proposer une méthode de calcul de la consommation en énergie primaire d'une unité de micro-cogénération avec la méthode Th-CE..

### **Evaluation de la micro-cogénération avec la méthode Th-CE**

Généralement, un micro-cogénérateur n'est pas prévu pour un fonctionnement en instantané. Il est souvent relié à un réservoir de stockage et à une chaudière d'appoint. Dans ce cas de figure, la cogénération fait office de générateur préférentiel entre 50 et 100 % de charge. En dessous des 50 %, l'unité est maintenue à l'arrêt.

Durant l'été, les besoins ne concernent que l'eau chaude sanitaire. Le micro-cogénérateur est maintenu à l'arrêt.

Les rendements électriques et thermiques d'un micro-cogénérateur suivant les technologies utilisées sont présentés dans le tableau ci-dessous. Ces données sont issues du rapport européen de normalisation (prEN 15316-4-4).

Rendement	Micro-CHP à combustion interne (gaz)	Micro-CHP à combustion interne (diesel)	Microturbine	Stirling	Pile à combustible

$\eta_{th}$ (PCI)	45-61	50-60	52-66	61-95	35-70
$\eta_{th}$ moyen (PCI)	53	55	59	78	52,5
$\eta_{elec}$ (PCI)	21-38	30-40	13-32	10-25	25-50
$\eta_{elec}$ moyen (PCI)	29,5	35	22,5	17,5	37,5

Tableau 18 : Rendements électriques et thermiques à charge nominale

(Réf : prEN 15316-4-4)

La méthode proposée pour réaliser le calcul de faisabilité consiste à supposer que l'installation regroupant le micro-cogénérateur et la chaudière d'appoint est une chaudière BT équivalente dont les caractéristiques sont déterminées de la manière suivante :

Afin d'assurer un fonctionnement en continu à pleine charge, le micro-CHP est dimensionné pour fournir 0,2 fois la puissance de dimensionnement. Cela correspond en hiver à 0,52 de part assurée par le micro-CHP (Figure.1). Suivant cette définition, les caractéristiques de la chaudière équivalente sont les suivantes :

$$R_{pn} = 0,52 R_{pn}(\text{micro-CHP}) + 0,48 \cdot (A + B \cdot \log P_n) \quad (\%)$$

$$R_{pint} = C + D \cdot \log P_n \quad (\%)$$

$$Q_{p0} = P_n \cdot (E + F \cdot \log P_n) / 100 \quad (\text{kW})$$

$$P_{cir, g} = G + H \cdot P_n \quad (\text{W})$$

A	B	C	D	E	F	G	H
87,5	1,5	87,5	1,5	2,5	-0,8	20	1,6

Tableau 19 : Caractéristiques de la chaudière à condensation

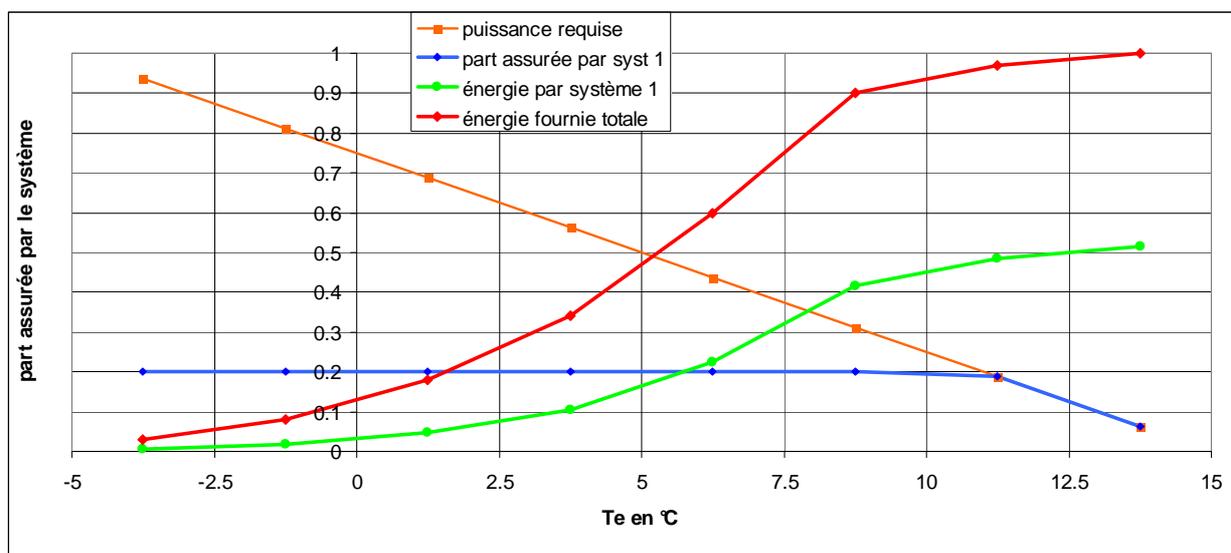


Figure 1: Détermination de la puissance assurée par un micro-CHP

Caractéristiques	Faisabilité
Puissance nominale	Voir §
Puissance électrique des auxiliaires	$P_{cir, g} = 20 + 1,6 \cdot P_n$
Type d'énergie	gaz
Rpn (Rendement sur PCI à 100 % de charge)	$R_{pn} = 0,52 R_{pn}(\text{micro-CHP}) + 0,48 \cdot (87,5 + 1,5 \cdot \log P_n)$
Rpint (Rendement sur PCI à charge partielle)	$R_{pint} = 87,5 + 1,5 \cdot \log P_n$
Pertes à charge nulle	$Q_{p0} = P_n \cdot (2,5 - 0,8 \cdot \log P_n) / 100$
Puissance veilleuse	Sans veilleuse

Tableau 20 : Caractéristiques du micro-cogénérateur

Pour les caractéristiques du ballon de stockage, elles sont récapitulées dans le tableau 10.

Une fois le calcul de Cep est réalisé, il faudra soustraire la part correspondante à la production électrique calculée suivant la formule suivante :

$$E_{mc} = 2,58 \cdot \eta_{n-elec(\text{micro-CHP})} \cdot \text{Consommation}(\text{chauffage} + \text{ECS})$$

## Puissance de chauffage

Cette partie a pour objet de présenter le calcul type de la puissance de chauffage à pleine charge pour les générateurs de chauffage. Ce calcul ne se substitue pas au calcul conventionnel de dimensionnement des installations et ne peut être utilisé à cet effet.

$$P_{nc} = H_{tot} \cdot (\theta_{iich} - \theta_{eb})$$

$H_{tot}$  : déperditions totales en W/K

$\theta_{iich}$  : température intérieure de consigne pour le chauffage

$\theta_{eb}$  : température extérieure conventionnelle de base pour le chauffage

Les températures extérieures conventionnelles de base,  $\theta_{eb}$ , exprimées en °C sont données dans le tableau ci-dessous.

Zone Climatique	Température extérieure conventionnelle de
-----------------	---

	base, $\theta_{eb}$ (°C)
H1a, H1b, H1c	-9
H2a, H2b, H2c, H2d	-6
H3	-3

$$H_{tot} = H_T + H_{Vent} + H_{perm}$$

$H_T$  : coefficient de déperdition thermique par transmission à travers les parois calculé selon la formule ci-dessous :

$$H_T = A_T * U_{bât}$$

$A_T$  est la surface intérieure totale des parois qui séparent le volume chauffé de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés (en m<sup>2</sup>)

$H_{vent}$  : coefficient de déperdition thermique par renouvellement d'air dû au système de ventilation calculé ainsi :

$$H_{v_z}(t) = 0.34 * \sum_{groupes} \text{débit}_{\text{extrait}}(t)$$

$H_{perm}$  : déperditions par renouvellement d'air dû à la perméabilité à l'air du bâtiment calculé suivant la norme 15242 et selon les conventions additionnelles prises dans le cas de la méthode Th-Cex

$$H_{perm} = 0.34 * q_{vinf}$$

## Puissance de refroidissement

La puissance nominale en froid sert uniquement à déterminer les pertes de charges des réseaux de distribution ainsi que la puissance des auxiliaires de ces réseaux. Elle est déterminée par la formule suivante :

$$P_{nf} = 10^{-3} (HT + (q_{vnom\_occ} * 0,34)) * (\Theta_{maxi} - 26) + 0,03 A + 0,25 A_v$$

Avec

A surface du groupe (m<sup>2</sup>),

$A_v$  surface nette des baies vitrées quelle que soit l'orientation (m<sup>2</sup>),

0,03 valeur estimative des apports internes et d'éclairage (kW/m<sup>2</sup>),

0,25 apports solaires incidents par m<sup>2</sup> de baie vitrée, kW/m<sup>2</sup> (0,8 kW/m<sup>2</sup> incidents,  $s = 0,4$  et coefficient d'amortissement et de réduction de 0,8),

$\Theta_{maxi}$  34 °C

## 5 Eléments du calcul économique

### I. Les paramètres d'évaluation économique obligatoires

L'arrêté du 18 Décembre 2007 dispose de réaliser l'étude de faisabilité économique en qualifiant et en quantifiant chaque variante envisagée suivant des modalités imposées et optionnelles. Les paramètres économiques obligatoires au processus de comparaison entre le système choisi, appelé également système pressenti, et les variantes envisageables sont de différentes natures. Certains éléments de décision sont quantifiables et suffisamment prévisibles pour qu'on puisse en donner un chiffrage probable dont l'approximation est acceptable eu égard à l'avancement du projet. D'autres considérations resteront qualitatives et ne pourront qu'être traitées par une analyse de risques ou une approche avantages/inconvénients.

Définis par l'article 3 de l'arrêté (alinéas 3.3.a, 3.3.f et 3.3.g), il s'agit pour chaque variante d'explicitier : (i) la différence de coût d'investissement entre la variante et le système pressenti ; (ii) la différence de coût annuel d'exploitation entre la variante et le système pressenti ; (iii) le temps de retour brut de la variante ; (iv) les divers avantages et inconvénients non monétisables liés à la variante.

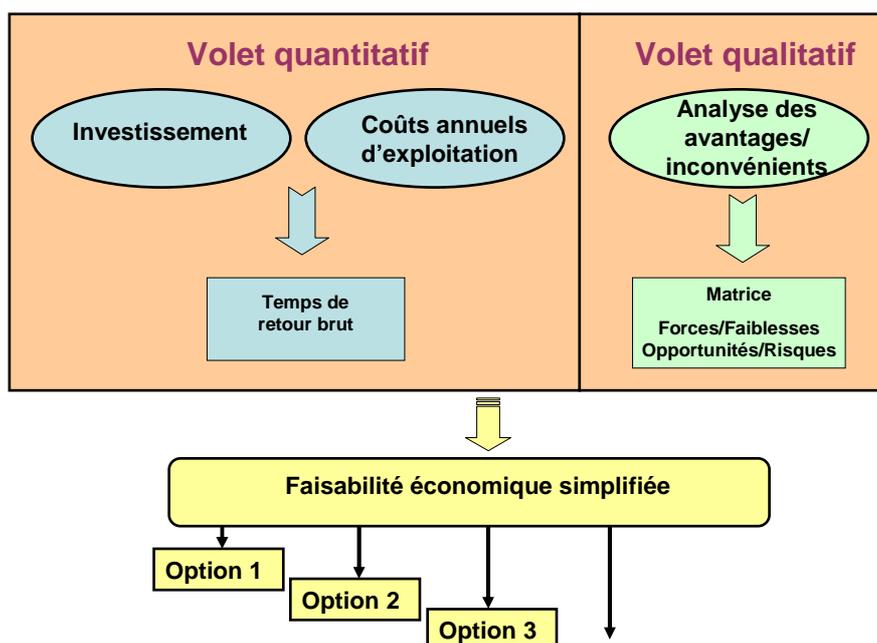


Figure 2 : Principe de l'étude de faisabilité économique dans sa dimension obligatoire

#### I.1 La différence en coût d'investissement

Le coût d'investissement inclut l'ensemble des coûts engagés depuis le lancement du projet jusqu'à la réception définitive. Il s'agit donc d'estimer à partir des hypothèses et des informations connues

sur le projet au moment où l'étude de faisabilité est réalisée le coût initial probable des variantes envisageables et du système pressenti. Ces coûts couvrent l'ensemble des dépenses engagées en conception, en réalisation et en mise en service de l'opération. Ils doivent être exprimés à une date de référence qui sera la base de tous les chiffrages ultérieurs. Cette date pourra correspondre à la date de livraison ou à un autre événement, pourvue qu'elle soit explicite. Nous en proposons un classement suivant cinq familles :

1. Le foncier,
2. Les études,
3. Les travaux de construction ou de rénovation,
4. Les missions d'accompagnement,
5. Les coûts et recettes diverses.

La structure du coût d'investissement peut être sensiblement différente suivant les variantes comparées. La liste proposée vise à être suffisamment exhaustive pour couvrir au mieux les points singuliers des différents projets et pour appuyer la réflexion des décideurs. La totalité des postes n'a donc pas vocation à être renseignés pour chaque variante et système pressenti.

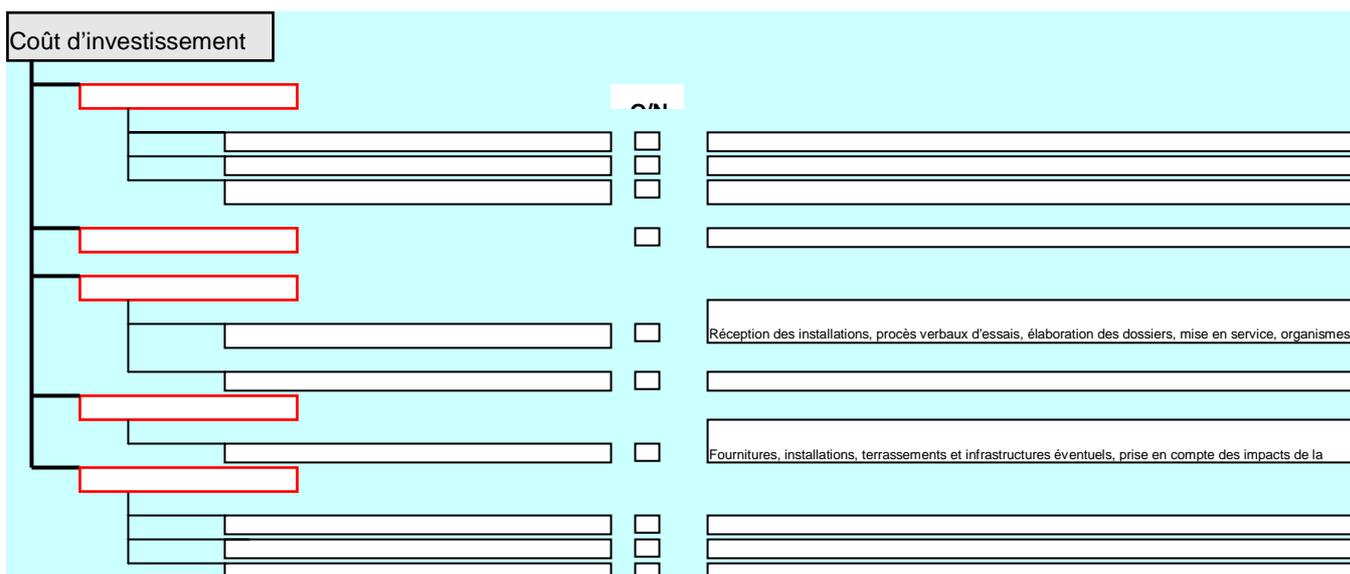


Figure 3 : Périmètre des coûts d'investissement

Pour le foncier, il s'agit de tenir compte des conséquences de la variante ou du système pressenti sur l'espace disponible, par exemple en tenant compte du foncier occupé ou libéré suivant les options retenues, d'apprécier les coûts éventuels de mise en viabilité générale du terrain s'ils diffèrent entre la variante et le système pressenti.

Les coûts des études regroupent toutes les prestations préparatoires à la réalisation et les études d'exécution de la variante et du système pressenti. Ils comprennent les études pré-opérationnelles d'opportunité et de faisabilité, les différentes études d'impact et de risques, les études de programmation, les études de détail, les diverses expertises (sondages, essais en laboratoire, avis techniques, ...), les honoraires de maîtrise d'œuvre de conception et de réalisation. Il s'agira par

conséquent de souligner les différences marquantes entre la variante et le système pressenti en termes d'études.

Quant aux travaux, on entend l'ensemble des prestations exécutées par les entreprises en vue de la fourniture, de l'installation et de la mise en service de la variante et du système pressenti. Ils comprennent les coûts initiaux prévisibles résultant des différents marchés de travaux à engager. Il conviendra d'analyser dans le détail les interfaces et de prendre en compte les différents impacts spécifiques de la variante sur les autres parties d'ouvrage : économie ou suppléments de volumes à construire, d'équipements à installer, conséquences en termes de délai sur travaux, etc...

Les coûts d'accompagnement regroupent l'ensemble des prestations de suivi du chantier, d'essais, de mise en route et d'assistance à la mise en service. Il s'agit notamment d'assurer les différentes missions garantissant au système d'être conçu, installé et testé afin de fonctionner et d'être apte à être maintenue conformément au cahier des charges. Il conviendra de prendre en compte les missions d'accompagnement à la mise en œuvre et à son suivi, les besoins de formation, l'élaboration des dossiers d'exploitation-maintenance adaptés aux futurs mainteneurs, l'élaboration des dossiers d'utilisation adaptés aux futurs utilisateurs, les essais de réception à conduire, les réglages de mise en route, etc...

Les coûts et recettes diverses prennent en compte les autres prestations dont la rémunération est assise sur le montant des travaux et qui n'ont pas encore été intégrées (fiscalité, assurances, ...), les frais ou économies de raccordement aux réseaux électriques, gaz ou autres, ainsi que les opportunités de revenus initiaux (subvention, crédit d'impôt, certificat d'économie d'énergie, apport en nature, apport en industrie,...).

La différence en coût d'investissement entre la variante et le système pressenti est obtenue par la formule suivante :

$$\Delta ci = C_{iv} - C_{ip}$$

Avec :

$\Delta ci$  : la différence en coût d'investissement entre la variante envisageable et le système pressenti.

$C_{iv}$  : le coût d'investissement de la variante envisageable

$C_{ip}$  : le coût d'investissement du système pressenti

## ***1.2 La différence en coût annuel d'exploitation***

Le coût annuel d'exploitation est le résultat de l'annualisation des différents coûts subis pendant le cycle d'usage. Le périmètre des coûts d'exploitation peut être différente suivant les projets et les maîtres d'ouvrage. Ils peuvent en effet inclure des dépenses qui vont au-delà des coûts techniques (nettoyage, sûreté, ...). L'arrêté du 18 Décembre 2007 (article 3.3.f) dispose de limiter le coût d'exploitation aux

dépenses liées aux consommations annuelles d'énergie et aux coûts de maintenance hors remplacement de produit ou équipement.



Figure 4 : Périmètres des coûts d'exploitation suivant la définition de l'arrêté

Les coûts de maintenance sont liés à la conservation en bon état de marche de la variante et du système pressenti. Ils regroupent les coûts de main d'œuvre et de matériel et autres coûts engagés en vue de maintenir le système dans un état lui permettant de remplir ses fonctions requises. Comme pour le coût d'investissement, le coût annuel d'exploitation devra être exprimé à la date de référence définie préalablement au chapitre précédent.

Le coût annuel de maintenance, tel qu'il est défini dans l'arrêté, comprend

- ✓ L'entretien courant<sup>2</sup> et la maintenance préventive<sup>3</sup> (inspections, interventions, réglage, supervision) assurés par le personnel de maintenance en régie ou en sous-traitance, les fournitures exclues des contrats, les visites périodiques des organismes de contrôle,
- ✓ La maintenance corrective<sup>4</sup> qui vise à remettre en état le système après défaillance ou panne. Comprenant les travaux ainsi que les divers abonnements d'assistance et d'intervention rapide, elle doit être estimée en fonction des risques probables.

Quant aux coûts d'énergie, ils regroupent les consommations (éventuellement les reventes) annuelles d'énergie, les abonnements correspondant au contrat d'approvisionnement, les coûts éventuels de conduite du système (dépenses liées à la mise en route et à l'arrêt annuel). Le coût des consommations ou les recettes annuelles des productions sont obtenus en multipliant les volumes consommés ou produits par leur prix unitaire d'achat ou de revente à la date de référence.

Pour les coûts non récurrents comme des interventions programmées à des fréquences pluriannuelles ou des interventions correctives ponctuelles, il conviendra de les annualiser avant de les intégrer aux coûts de maintenance.

La différence en coût d'exploitation annuel entre la variante et le système pressenti est donc obtenue par la formule suivante :

$$\Delta ce = Cep - Cev$$

Avec :

$\Delta ce$  : la différence en coût annuel d'exploitation entre la variante envisageable et le système pressenti.

$Cev$  : le coût annuel d'exploitation de la variante envisageable : coût annuel de maintenance additionné des dépenses liées aux consommations annuelles en énergie.

$Cep$  : le coût annuel d'exploitation du système pressenti : coût annuel de maintenance additionné des dépenses liées aux consommations annuelles en énergie.

### ***1.3 Le Temps de Retour Brut (TRB)***

Le Temps de Retour Brut est un indicateur permettant d'estimer la période nécessaire à couvrir les coûts d'un surinvestissement pour un projet donné. Exprimé en années, ce Temps de Retour représente le délai écoulé entre les investissements initiaux (et les coûts d'exploitation qui s'ensuivent) et la date à laquelle les économies cumulées compensent ce surinvestissement. En conséquence, un temps de retour n'est applicable que dans une situation où une économie est une contrepartie d'un surinvestissement.

Dans le cadre d'une approche comparative entre une le système pressenti et une solution à priori plus vertueuse, le temps de retour brut de la variante serait le résultat du rapport entre :

---

<sup>2</sup> Entretien courant : Activités élémentaires de maintenance régulières ou répétitives qui ne requièrent généralement ni matériel spécifique, ni préparation poussée.

<sup>3</sup> Maintenance préventive : maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinée à réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation du fonctionnement d'un bien (norme EN 13306)

<sup>4</sup> Maintenance corrective : maintenance exécutée après détection d'une panne et destinée à remettre un bien dans un état dans lequel il peut accomplir une fonction requise (norme EN 13306)

- Le différentiel du coût d'investissement (le surinvestissement lié au choix de la variante) :  $\Delta ci$ .
- Le différentiel du coût annuel d'exploitation associée à cette variante (économie globale en coûts de maintenance et énergie) :  $\Delta ce$ .

Le Temps de Retour Brut TRB de la variante correspond ainsi au rapport suivant :

$$TRB = \frac{\text{Différence du coût d'investissement (surinvestissement de la variante)}}{\text{Différence du coût d'exploitation (gains économiques de la variante)}}$$

$$TRB = \frac{\Delta ci}{\Delta ce}$$

Avec :

TRB : Le Temps de Retour Brut de la variante.

$\Delta ci$  : la différence en coût d'investissement entre la variante envisageable et le système pressenti.

$\Delta ce$  : la différence en coût annuel d'exploitation entre la variante envisageable et le système pressenti.

## II. Les paramètres d'évaluation économique optionnels

Parallèlement à la définition des paramètres économiques obligatoires, l'arrêté du 18 Décembre 2007 accorde au maître d'ouvrage la possibilité de faire figurer dans son étude de faisabilité des indicateurs économiques supplémentaires pour affiner l'arbitrage entre le système pressenti et la variante envisageable.

Malgré le caractère non obligatoire de ces indicateurs, leur prise en considération dans le calcul économique permettrait d'apporter un éclairage additionnel au processus décisionnel en complétant l'étude de faisabilité simplifiée. La prise en compte des paramètres relatifs à la durée de vie de la variante, à l'évolution des prix des énergies conventionnelles, à ses conséquences sur la valeur patrimoniale permettent en effet une étude de faisabilité économique plus fine. Ainsi, les articles 3.k, 3.l et 3.m de l'arrêté proposent respectivement trois indicateurs optionnels : (i) le Coût Global Actualisé ; (ii) le Coût Global Annualisé ; (iii) et le Taux de Rentabilité Interne.

### II.1 Le coût global actualisé sur trente ans

L'approche en coût global vise à proposer au maître d'ouvrage ou au gestionnaire **une méthode d'arbitrage évolutive permettant de mieux prendre en compte l'impact des coûts différés dans leur choix d'investissement, que ces charges futures soient supportées par l'utilisateur de la construction ou par des tiers**. Il s'agit donc d'explicitier plus clairement les conséquences des décisions d'investissement sur un horizon de temps. L'arrêté fixe cette période de calcul à trente ans.

#### II.1.1 Actualisation et inflation

Les coûts d'exploitation sont engagés à partir de la livraison du bâtiment pendant une période de trente ans. Il convient donc de tenir compte de l'effet du temps sur les dépenses ou recettes d'exploitation. Les conséquences du temps sont de deux natures :

1. Variation des prix des prestations et des consommations d'exploitation par le phénomène de l'inflation, notamment pour les prix des énergies fossiles,
2. Transformation de la valeur économique indépendamment du phénomène de dérive monétaire, des sommes à recevoir ou à payer dans le futur n'ayant pas la même valeur que si elles étaient à recevoir ou à payer aujourd'hui.

L'actualisation, qui vise à prendre en compte ce dernier point, consiste donc à ramener une valeur future à sa valeur de la date de référence choisie pour l'évaluation économique. C'est une méthode de calcul qui fait intervenir le taux d'actualisation. Ce ratio, fixé par chaque organisation, vise à décider si l'investissement répond à ses critères de substitution entre futur et présent. Ce taux varie donc suivant les organisations. Dans le secteur privé, ce taux d'actualisation représente le coût d'opportunité de l'investissement du capital. Il peut être estimé à partir :

- du coût du financement contracté par l'investisseur,
- du taux de rémunération de la trésorerie,
- du taux de rentabilité du cœur de métier,
- d'un taux de rentabilité exigé pour un investissement jugé comme risqué.

Le taux d'actualisation appliqué dans le secteur public est généralement celui établi par les autorités gouvernementales de tutelle (sur la base des recommandations du Ministère des Finances le plus souvent).

Le montant actualisé d'une somme à engager l'année  $j$  est obtenu par la formule suivante :

$$V_{actualisée} = V_{année 0} \times \frac{(1+i)^j}{(1+a)^j}$$

**V actualisée** : Montant actualisée de la dépense ou de la recette

**V année 0** : Montant de la dépense ou de la recette si elle était engagée en année 0

**j** : année d'engagement de la dépense ou de la recette différée

**i** : taux annuel d'inflation

**a** : taux annuel d'actualisation

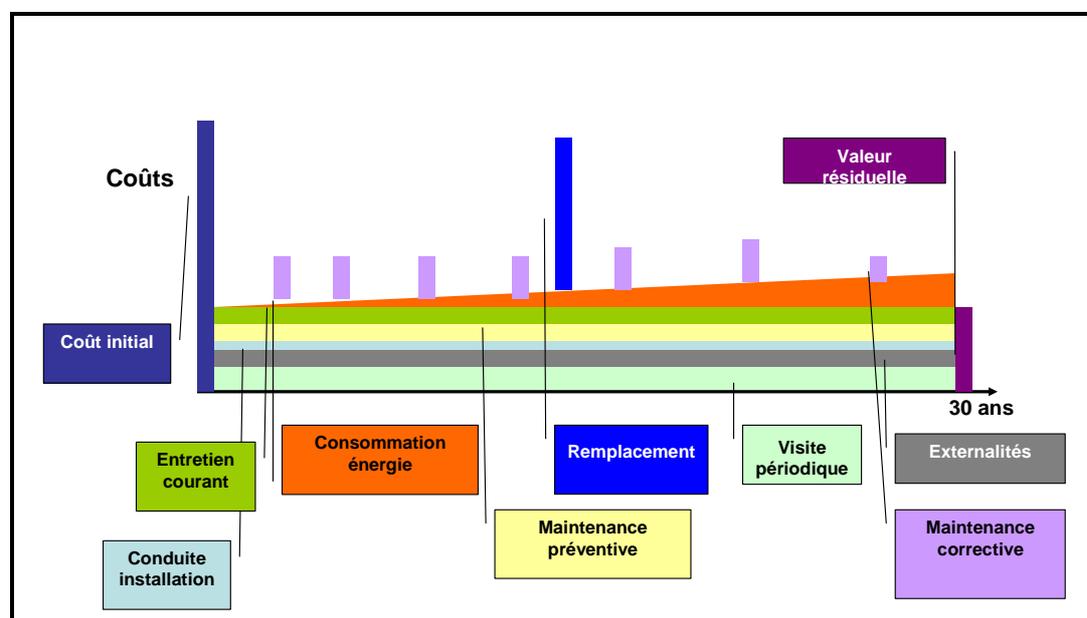


Figure 5 : Occurrence des coûts sur l'horizon de temps défini

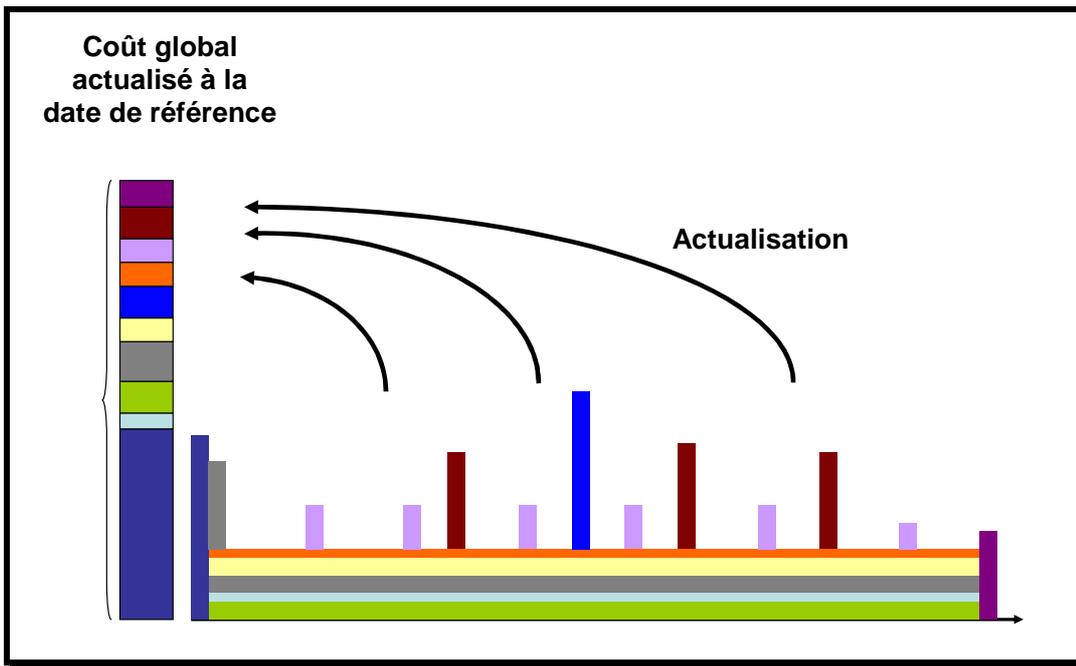


Figure 6 : Principe de l'actualisation

### **II.1.2 Périmètre du coût global actualisé**

Le coût global actualisé est obtenu en ajoutant au coût d'investissement les coûts d'exploitation actualisés sur trente ans. Le coût d'investissement regroupe l'ensemble des postes tels qu'ils ont été présentés en I.1. Quant au coût d'exploitation actualisé, il convient d'élargir son périmètre.

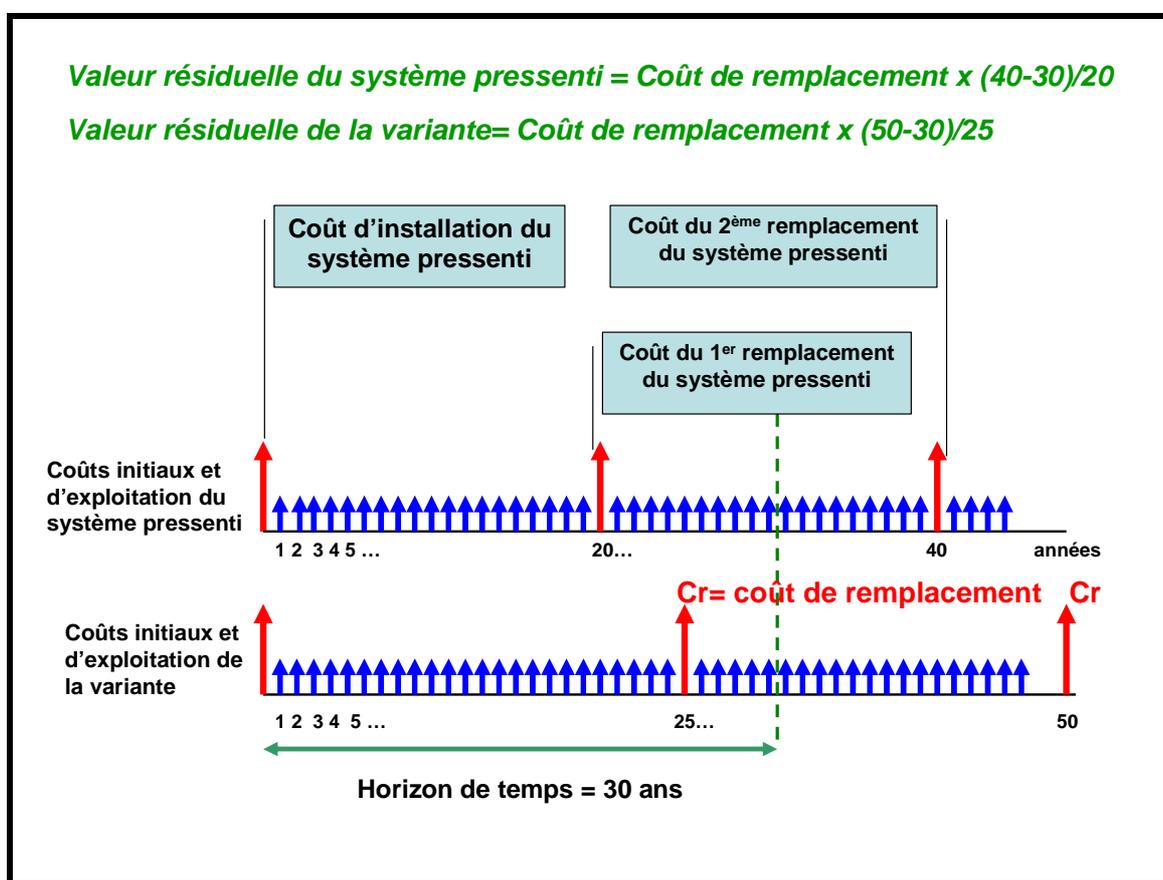


variante à la trentième année. Si sa durée de vie restante est faible, sa valeur résiduelle sera négligeable. A l'inverse, si la durée de vie restante est importante, elle peut sensiblement diminuer son coût global.

La valeur résiduelle peut être approchée par le montant restant à amortir après la période de calcul ou la valeur « non consommée » du système à la fin de la période de calcul. Elle vient en déduction du coût global et est actualisée comme les autres postes différés. Elle se calcule alors en supposant que le vieillissement est linéaire.

$$\text{Valeur résiduelle} = \text{coût de remplacement} \times \frac{\text{durée de vie restante du système}}{\text{durée de vie totale du système}}$$

La prise en compte de la vie résiduelle est donc essentielle dans la comparaison de deux solutions offrant des durées de vie différentes.



Figure

8 : Calcul de la valeur résiduelle

La valeur résiduelle n'intervient que si la durée de vie restante est supérieure à un an. Il n'y a d'ailleurs pas de valeur résiduelle pour les coûts d'exploitation et d'entretien annuels qui sont consommés dans l'année.

✓ Valeur patrimoniale :

Si le système pressenti modifie la valeur patrimoniale du bâtiment par rapport à celle de la variante, il convient d'en tenir compte. Elle sera exprimée en valeur positive ou négative suivant qu'elle augmente ou qu'elle diminue la valeur patrimoniale par rapport à la solution de référence.

### II.1.3 La Méthode de Calcul du coût global actualisé

Le coût global est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Coût global} = I_0 + \sum_{t=1}^N (D_t - R_t) - V_R$$

$I_0$ : montant (ou écart entre système pressenti et variante) de l'investissement à l'année 0

$D_t$ : dépenses d'exploitation actualisées (ou écart de dépenses actualisé entre système pressenti et variante) de l'année t

$R_t$ : revenus d'exploitation actualisés (ou écart de revenus actualisé entre système pressenti et variante) de l'année t

$V_R$ : valeur (ou écart de valeur) résiduelle à l'année N de la variante

$N$ : horizon économique en années (30 ans selon l'arrêté)

Compte tenu de l'évolution différenciée des taux d'inflation, particulièrement celui de l'énergie par rapport aux autres biens et services, la pertinence de l'analyse en Coût Global peut exiger la prise en compte de cet élément en distinguant plusieurs taux d'inflation spécifiques.

La formule suivante permet par conséquent d'affiner le calcul en Coût Global en faisant apparaître trois taux d'inflation correspondant aux différentes familles de coûts différés : (i) énergie ; (ii) entretien courant ; (iii) gros entretien-remplacement ; (iv) et valeur résiduelle. Le maître d'ouvrage reste cependant libre d'appliquer un taux d'inflation unique ou des combinaisons différentes. Ainsi, dans la première situation, les trois hypothèses d'inflation seraient identiques.

$$CG = I_0 + \sum_{j=1}^N \frac{(1+ie)^j}{(1+a)^j} \times Ce_j + \sum_{j=1}^N \frac{(1+im)^j}{(1+a)^j} \times Cm_j + \sum_{j=1}^N \frac{(1+ir)^j}{(1+a)^j} \times Cr_j - \frac{(1+ir)^N}{(1+a)^N} \times Vr$$

**CG** : coût global actualisé

**I0** : coût initial

**ie** : taux annuel d'inflation de l'énergie

**im** : taux annuel d'inflation de l'entretien courant

**ir** : taux annuel d'inflation de gros entretien- renouvellement

**Ce** : dépense annuelle d'énergie

**Cm** : dépense annuelle d'entretien courant et de maintenance préventive et corrective

**Cr** : dépense annuelle de gros entretien remplacement

**Vr** : valeur résiduelle à l'année N

**a** : taux d'actualisation

**N** : horizon de temps économique

Le coût global actualisé sera exprimé en € TTC à la date de référence par m<sup>2</sup> SHON.

## II.2 Le coût global annualisé

Le coût global annualisé est une alternative au calcul précédent. Il s'obtient en ramenant à l'année le coût d'investissement et les coûts d'exploitation actualisés. Pour obtenir le coût global annualisé, il s'agit de distinguer les coûts engagés tous les ans de ceux auxquels il faut faire face ponctuellement. La première catégorie comprend les coûts récurrents tels que l'énergie et la maintenance courante. La deuxième famille regroupe les coûts d'investissement et le gros entretien renouvellement.

Le coût global annualisé est obtenu par la formule suivante :

$$\text{Coût global annualisé} = \overbrace{I_{\text{annualisé}} + R_{\text{annualisé}}}^{\text{Dépenses ponctuelles à annualiser}} + F$$

$I_{\text{annualisé}}$  : Coût d'investissement annualisé  
 $R_{\text{annualisé}}$  : Coût de gros entretien renouvellement annualisé  
 F : Coût d'exploitation annuels récurrents (énergie+maintenance courante de l'année 1)

$$I_{\text{annualisé}} = \frac{I_0}{n} \times \frac{r-1}{r(r^n-1)} \quad \text{avec } r = \frac{1+i}{1+a}$$

$I_0$  : Coût d'investissement tel que défini en I.1  
 n : durée de vie de l'investissement  
 i : taux d'inflation  
 a : taux d'actualisation

$$R_{\text{annualisé}} = \frac{Cr}{f} \times \frac{r-1}{r(r^f-1)} \quad \text{avec } r = \frac{1+i}{1+a}$$

Cr : Coût de gros entretien renouvellement  
 f : fréquence de gros entretien renouvellement en années  
 i : taux d'inflation  
 a : taux d'actualisation

Si le taux d'inflation appliqué diffère suivant les types de dépenses, il conviendra de calculer  $r$  séparément avec le taux d'inflation approprié à chaque dépense ou recette.

### **II. 3 Le Taux de Rentabilité Interne (TRI)**

Le TRI correspond à la valeur du taux d'actualisation qui annule la création de valeur actualisée de l'investissement. Il s'agit donc de déterminer le taux d'actualisation pour lequel l'actualisation des économies induites par le projet équilibre tout juste l'investissement. On peut aussi le définir comme le taux de financement maximum acceptable pour qu'un projet soit rentable. Il s'exprime donc en pourcentage.

Pour le calculer, il faut raisonner en différentiel et comparer les économies nettes du système pressenti eu égard à la variante. Le choix du système pressenti sera rentable si le TRI prévisible est supérieur au taux d'emprunt. S'il n'y a pas d'économies entre le système pressenti et la variante, le TRI ne peut pas être calculé.

Le TRI s'obtient par la formule suivante :

$$I = \sum_{p=1}^{p=N} CF_p (1+TRI)^{-p}$$

$CF_p$  : Montant des économies nettes du système pressenti par rapport à la variante en année  $p$

$p$  : l'année d'encaissement du  $CF_p$

$N$  : l'horizon de temps (30 ans suivant l'arrêté)

$I$  : Investissement initial

TRI : Taux de Rentabilité Interne recherché

## 6 Analyse avantages / inconvénients

L'approche quantitative, sous ses différentes formes, présente des limites, car certains éléments de décision sont difficiles ou impossibles à chiffrer, notamment dans des intervalles de confiance acceptables. Au-delà des méthodes coûts/bénéfices présentées ci-avant, il convient de prendre en compte dans le bilan d'autres critères importants de décision. C'est pourquoi, il est nécessaire d'enrichir l'étude de faisabilité économique quantitative par une approche Atouts, Faiblesses, Opportunités, Menaces.

C'est une démarche d'évaluation des projets selon leurs positionnements stratégiques à la fois par rapport à l'objet technique et par rapport à l'environnement externe. Concrètement, cela consiste à analyser l'ensemble des caractéristiques intrinsèques pouvant conditionner les forces et les faiblesses de la variante ou du système pressenti, ainsi que les opportunités et les menaces que représente l'environnement externe pour sa rentabilité et son utilisation (l'offre, la demande, les institutions, le cadre réglementaires, le système d'acteurs, etc.).

En formalisant les avantages et les inconvénients de toute nature, l'approche contribue à éclairer le processus décisionnel en clarifiant la cohérence d'une décision compte tenu des éléments positifs et négatifs qui caractérisent son adoption (ou son développement).

D'un point de vue méthodologique, l'identification des quatre paramètres (forces, faiblesses, opportunités, menaces), permettra *in fine* de limiter les incertitudes et de maximiser les chances de réussite en élaborant une démarche structurée basée sur l'activation de **deux leviers** : **renforcer** d'une part les forces et les opportunités, et **réduire** d'autre part les faiblesses et les menaces.

### Matrice de l'analyse Avantages/ Inconvénients

	Positifs	Négatifs
Caractéristiques intrinsèques de la variante	Forces	Faiblesses
Environnement Externe	Opportunités	Menaces

### Application de la démarche à l'analyse comparative entre variantes et système pressenti

En se prêtant à ce type d'analyse critique cette démarche permet non seulement de clarifier les quatre familles d'indicateurs conditionnant le choix d'une variante (forces, faiblesses, opportunités, menaces), mais aussi de dégager les leviers d'action permettant d'ajuster et d'affiner les facteurs de réussite.

La figure ci-dessous représente le cheminement méthodologique : une fois identifiés, les quatre familles d'indicateurs permettent de calibrer les actions et de mieux évaluer les risques exogènes.

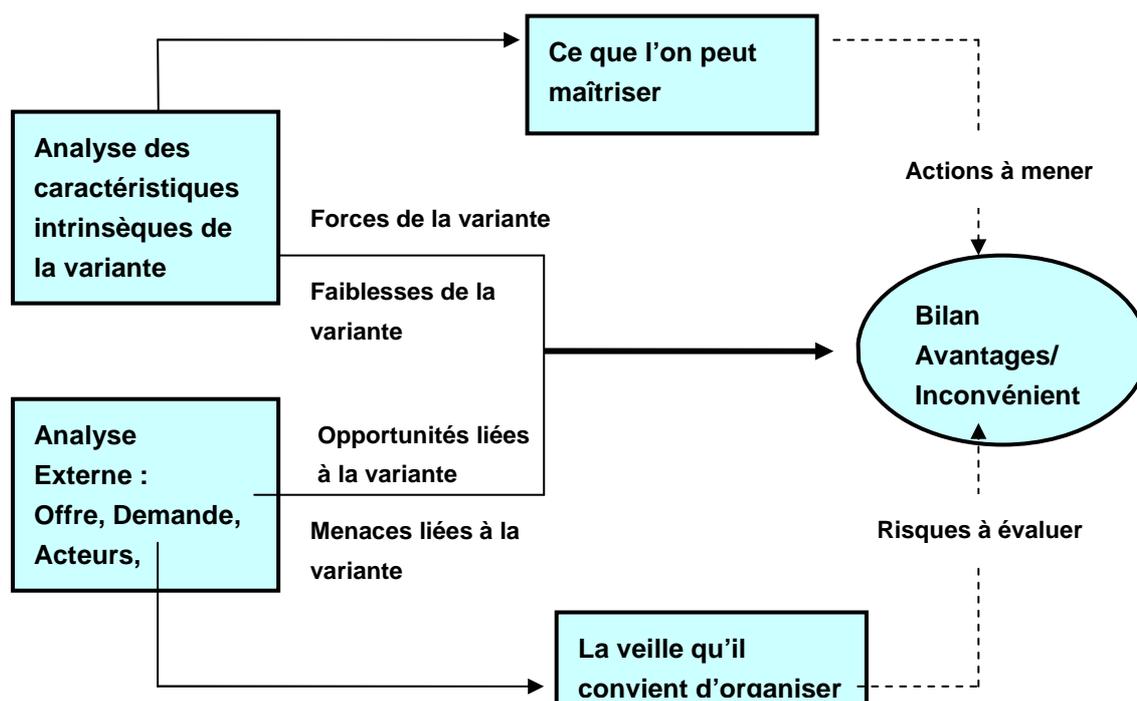


Figure 9 : principes de la démarche avantages/inconvénients dans le choix du système

La démarche permet par conséquent de comparer plusieurs variantes par rapport au projet présenté sur la base d'une analyse complétant l'étude des seuls critères techniques et économiques quantitatifs. En élargissant l'évaluation aux paramètres externes (le marché, la réglementation, l'environnement institutionnel, etc.), ce type d'approche offre plus largement aux décideurs un panorama global de l'ensemble des critères (internes et externes) pouvant conditionner le processus décisionnel en vue réduire les incertitudes et de renforcer les paramètres de réussite.

Nous avons dégagé une liste de critères possibles classés par catégorie (Forces, Faiblesses, opportunités, Menaces). Ainsi, le maître d'ouvrage pourra s'en inspirer pour bâtir sa propre matrice avantages/ inconvénients pour chaque variante envisageable. *Compte tenu de la diversité des variantes, et dans un souci de proposer des critères reproductibles, la liste proposée n'aspire pas à l'exhaustivité. Le maître d'ouvrage peut ainsi compléter sa matrice en rajoutant des critères spécifiques dont l'emploi et la valorisation dans son processus décisionnel sont considérés comme pertinent.*

### Matrice Avantages/Inconvénients : exemples de forces/faiblesses/opportunités/menaces

	Positifs	Négatifs
<b>Caractéristiques intrinsèques de la variante</b>	<p><b>Forces</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Faible coût de conception et de fonctionnement de la technologie.</li> <li>- Autonomie et économie de raccordement à un réseau de fourniture d'énergie.</li> <li>- Facilité d'usage, d'adaptation et d'entretien : technologie facilement déployable.</li> <li>- Faible nuisance environnementale et sociale : acceptabilité sociale.</li> <li>- Les utilisateurs n'ont pas le souci de l'entretien des équipements.</li> <li>- Maîtrise de la technologie par la maintenance et par les utilisateurs.</li> <li>- Existence de structure et de réseaux d'intervention et d'entretien.</li> <li>- Amélioration de la qualité d'usage, confort des ambiances.</li> <li>- Qualité sanitaire des espaces intérieurs.</li> <li>- Amélioration de la qualité architecturale</li> <li>- Meilleure pérennité de la valeur patrimoniale</li> <li>- Meilleure attractivité du bien</li> <li>- Image</li> <li>- Durée de vie plus élevée</li> <li>- Adaptabilité à différents usages et meilleure évolutivité, modularité, ...</li> </ul>	<p><b>Faiblesses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Coût encore élevé ou risque sur les coûts d'investissement ou d'exploitation</li> <li>- Complexité de conception et de mise en fonctionnement</li> <li>- Nécessité d'être connectée à un réseau (gaz ou électricité).</li> <li>- Existence de coût de raccordement au réseau de transport de l'électricité.</li> <li>- Possibilités de nuisances sonores ou visuelles pour les riverains.</li> <li>- Nécessité de prévoir un aménagement spécifique.</li> <li>- Faible disponibilité des structures d'intervention et d'entretien.</li> <li>- Risque sur les délais</li> <li>- Risques de défaillances ou de pannes</li> <li>- Difficultés à la déconstruction (présence de déchets dangereux, ...)</li> <li>-</li> </ul>
<b>Environnement Externe</b>	<p><b>Opportunités</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Cadre réglementaire et institutionnel porteur : grenelle de l'environnement, lutte contre les changements climatiques, écotaxes, ...</li> <li>- Contexte énergétique favorable : hausse des prix de l'énergie conventionnelle et risques environnementaux ;</li> <li>- Protection face à un risque d'explosion des prix des énergies traditionnelles.</li> <li>- Existence d'un savoir faire industriel et d'un cadre de R&amp;D développé.</li> <li>- Intégration plus effective du Bâtiment dans la politique énergétique et environnementale nationale et internationale : BEP, BBC.</li> <li>- Ouverture du marché électrique et possibilité de vente de la production indépendante d'électricité.</li> <li>- Déploiement de mesures économiques incitatives</li> <li>- Développement de mécanismes de marché novateurs : certificats blancs, verts et noirs.</li> </ul>	<p><b>Menaces</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Discontinuité et absence de lisibilité des aides gouvernementales et régionales.</li> <li>- Absence de lisibilité et non maturité des mécanismes de marché.</li> <li>- Maintien d'une concurrence des énergies et technologies fossiles.</li> <li>- Contraintes administratives et lenteur des procédures de validation.</li> <li>- Manque compétence et de formation des structures de conseil et d'entretien.</li> <li>- Faiblesse des prix d'achat de l'électricité produite.</li> <li>- Complication et lenteur des procédés de connexion au réseau de transport d'électricité.</li> <li>- Filière de recyclage des déchets non disponible</li> </ul>

Figure 10 : Matrice avantages/inconvénients

## 7 Critères environnementaux

Les émissions de gaz à effet de serre du système pressenti et des variantes, en kgCO<sub>2</sub> par mètre carré de surface hors oeuvre nette et par an, et en tonnes de CO<sub>2</sub> par an, sont calculées sur la base des consommations d'énergie déterminées ci-avant et des coefficients de conversion de l'annexe 4 de l'arrêté du 15 septembre 2006, complétés par l'arrêté du 7 décembre 2007 pour les réseaux de chaleur.

En kilogramme de CO<sub>2</sub> par kilowattheure PCI d'énergie finale :

	CHAUFFAGE	PRODUCTION d'eau chaude sanitaire	REFROIDISSEMENT
Bois, biomasse .....	0,013	0,013	
Gaz naturel.....	0,234	0,234	0,234
Fioul domestique .....	0,300	0,300	0,300
Charbon.....	0,384	0,384	
Gaz propane ou butane .....	0,274	0,274	0,274
Autres combustibles fossiles .....	0,320	0,320	
Electricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment .....	0	0	0
Electricité (hors électricité d'origine renouvelable utilisée dans le bâtiment) .....	0,180	0,040	0,040

## 8 Présentation de synthèse des résultats de l'étude

Description rapide des variantes, qu'elles soient complètement analysées ou non:

- Solution de référence: c'est la solution que le maître d'ouvrage ou le promoteur envisage de retenir
- Option 1: Solaire thermique
- Option 2: .....
- 

Tableau des indicateurs

	Indicateur	Unité	Référenc	Indicateur	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	.....
Indicateurs obligatoires		€	Surcout d'investissement de l'option par rapport çà la référence	3.a					
	1.a	kWh/m2	Consommatio d'énergie (énergie primaire)	3.b					
		MWh/an							
	1.b	kg CO2/m2	Émissions de CO2 dues à l'énergie (hors réfrigérants)	3.c					
		T CO2/an							
	1.c	A,B,C,....	Classe de l'étiquette énergie	3.d					
	1.d	A,B,C...	Classe de l'étiquette climat	3.e					
	1.e	€/an	Cout d'exploitation	3.f					
	années	Temps de retour de l'option	3.g						
		Avantages et inconvénients de l'option	3.h						
	Indicateur	Unité	référence	Indicateur	Option 1	Option 2	Option 3	Option 4	.....
		kWh/m2							

	MWh	30 ans						
	kg CO2/m2	Cumul des émissions évitées sur 30 ans		3.j				
	T CO2							
	€/m2	Cout global actualisé sur 30 ans		3.k				
	€							
	€/m2	Cout global annualisé		3.l				
	€							
	%	Taux de rentabilité interne		3.m				

Raisons qui justifient que certaines options ne sont pas étudiées

- *l'option solaire thermique n'est pas envisageable du fait des masques résultant des bâtiments à proximité...*

raisons qui ont conduit à retenir la solution dite "référence"

## 9 Exemples de calculs

Exemple d'application : Maisons individuelles groupées

Configuration de référence ou de base : Chaudière basse température avec radiateurs,

Usage : Habitation

Shon : 1003 m<sup>2</sup>

Département : 85

Zone climatique : H2b

	Ubat	Shon (m <sup>2</sup> )	Base	Bois	Condensation	Solaire thermique	PAC Géo	Autre PAC
Logement 1	0,403	125	203,17	217,82	200,73	57,86	199,87	195,50
Logement 2	0,402	125	203,03	217,65	200,61	57,71	199,75	195,41
Logement 3	0,405	125	201,59	215,62	199,27	56,48	198,48	194,38
Logement 4	0,410	125	200,04	213,92	197,98	54,61	197,23	193,29
Logement 5	0,439	125	214,50	230,05	212,29	57,98	211,43	207,00
Logement 6	0,403	128	202,77	217,26	199,44	60,28	198,51	193,93
Logement 7	0,401	125	206,64	221,40	203,12	61,45	202,14	197,40
Logement 8	0,401	125	206,64	221,40	203,12	61,45	202,14	197,40

Tableau 21 : Cep ( kWh/m<sup>2</sup>/an)

	Base	Bois	Condensation	Solaire thermique	PAC Géo	Autre PAC
Logement 1	25,40	27,23	25,09	7,23	24,98	24,44
Logement 2	25,38	27,21	25,08	7,21	24,97	24,43
Logement 3	25,20	26,95	24,91	7,06	24,81	24,30
Logement 4	25,01	26,74	24,75	6,83	24,65	24,16
Logement 5	26,81	28,76	26,54	7,25	26,43	25,88
Logement 6	25,95	27,81	25,53	7,72	25,41	24,82
Logement 7	25,83	27,68	25,39	7,68	25,27	24,68
Logement 8	25,83	27,68	25,39	7,68	25,27	24,68

Tableau 22: C ( MWh/an)

	Bois	Condensation	Sol therm	PAC géo	PAC
Logement 1	14,65	-2,44	-145,31	-3,3	-7,67
Logement 2	14,62	-2,42	-145,32	-3,28	-7,62
Logement 3	14,03	-2,32	-145,11	-3,11	-7,21
Logement 4	13,88	-2,06	-145,43	-2,81	-6,75
Logement 5	15,55	-2,21	-156,52	-3,07	-7,5
Logement 6	14,49	-3,33	-142,49	-4,26	-8,84
Logement 7	14,76	-3,52	-145,19	-4,5	-9,24
Logement 8	14,76	-3,52	-145,19	-4,5	-9,24

Tableau 23: Différence de consommation entre la variante et la base (kWh/m<sup>2</sup>/an)

	Bois	Condensation	Sol therm	PAC géo	PAC
Logement 1	1,83	-0,31	-18,16	-0,41	-0,96
Logement 2	1,83	-0,30	-18,17	-0,41	-0,95
Logement 3	1,75	-0,29	-18,14	-0,39	-0,90
Logement 4	1,74	-0,26	-18,18	-0,35	-0,84
Logement 5	1,94	-0,28	-19,57	-0,38	-0,94
Logement 6	1,85	-0,43	-18,24	-0,55	-1,13
Logement 7	1,85	-0,44	-18,15	-0,56	-1,15
Logement 8	1,85	-0,44	-18,15	-0,56	-1,15

Tableau 24: Différence de consommation entre la variante et la base (MWh/an)

## Etablissement de bureau

### Descriptif du projet



Zone climatique : H1a (94)  
 Surface utile : 1404 m<sup>2</sup>  
 Nombre de niveaux : 3  
 Systèmes de base : PAC réversible VRV

### Variantes envisageables

	Envisageable?	Pourquoi ?
Systèmes solaires thermiques	non	Besoins d'ECS faibles dans un bâtiment de bureaux
Systèmes solaires photovoltaïques	oui	Importantes surfaces de toiture au sud sans masque
Systèmes bois ou biomasse	non	Filière bois à proximité inexistante Pas de possibilité de stockage ; problème de ravitaillement.
Systèmes éoliens	non	Le bâtiment est hors d'une ZDE (Zone de Développement de l'Eolien instauré par la loi POPE du 13 juillet 2005).
Raccordement RCU	oui	Présence d'un réseau de chaleur urbain dans l'agglomération.
Pompes à chaleur géothermique	oui	Disponibilité d'une surface au sol sous le parking suffisamment importante pour assurer le puisage des calories nécessaires au système.
Autres types de pompes à chaleur	oui	Système correspondant au cas de base (VRV).
Chaudières condensation	oui	Pas de contre indication pour ce système
Système combiné chaleur/élec	oui	Pas de contre indication pour ce système

## Synthèse des résultats

	base	variante 2	variante 5	variante 6	variante 8	variante 9	
<b>Energie CH</b>	PAC type VRV	PAC type VRV	raccordement SCUC	PAC géothermique	Chaudière condensation	Cogénération	
<b>Energie ECS</b>	PAC type VRV	PAC type VRV	Clim type VRV	PAC géothermique	PAC type VRV	PAC type VRV	
<b>Autre Energies produites</b>		Solaire Photovoltaïque intégré en verrière <i>Xm<sup>2</sup> ou yWc</i>	Raccordement RCU	PAC géothermique	Chaudière condensation	Electricité par cogénération	
<i>Ref. arrêté</i>							
<b>1.a</b>	<b>Consommations d'énergie primaire Cep (kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>SHON.an)</b>	<b>106</b>	<b>90</b>	<b>153</b>	<b>104</b>	<b>120</b>	<b>79</b>
<b>1.a</b>	Consommations d'énergie primaire Cep (MWh <sub>ep</sub> .an)	166	140	238	162	187	123
<b>3.b</b>	Ecarts de consos / 1an (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHON.an)		-16	46	-2	13	-28
<b>3.b</b>	Economies énergie / 1an (MWh <sub>ep</sub> /an)		25	-72	3	-21	43
<b>1.c et 3.d</b>	<b>Etiquette ENERGIE (sur base kWh<sub>ep</sub>/m<sup>2</sup>Su.an)</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>C</b>	<b>C</b>	<b>B</b>
<b>3.i</b>	Ecarts de consos / 30ans (kWh <sub>ep</sub> /m <sup>2</sup> SHON)		-486	1392	-65	402	-829
<b>3.i</b>	Cumul des économies énergie / 30ans (MWh <sub>ep</sub> )		758	-2172	101	-628	1293
<b>1.b</b>	<b>CO<sub>2</sub>tot (kCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>SHON.an)</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>13</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>26</b>
<b>1.b</b>	CO <sub>2</sub> tot (tonnes CO <sub>2</sub> /an)	7	6	19	6	21	36
<b>3.c</b>	Ecarts d'émissions CO <sub>2</sub> / 1an (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHON.an)		-0,3	8,5	-1	10	21
<b>3.c</b>	CO <sub>2</sub> économisé / 1 an (tonnesCO <sub>2</sub> /an)		0,4	-11,9	1	-14	-29
<b>1.d et 3.e</b>	<b>Etiquette CLIMAT (sur base kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>Su.an)</b>	<b>B</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
<b>3.j</b>	Ecarts d'émissions CO <sub>2</sub> / 30ans (KgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )		-8	255	-21	309	626
<b>3.j</b>	Cumul de CO <sub>2</sub> économisé / 30ans (tonnes CO <sub>2</sub> )		11	-358	29	-434	-879
<b>3.a</b>	<b>Surcoût d'investissement (euros TTC)</b>	<b>139223</b>	<b>258153</b>	<b>128681</b>	<b>145641</b>	<b>133289</b>	<b>196912</b>
<b>1.e</b>	Coût annuel d'exploitation (euroTTC/an)	5005	-380	10708	4819	6024	5486
<b>3.f</b>	Différence de coûts annuels d'exploitation (€TTC)		-5385	5703	-186	1019	481
<b>3.g</b>	Temps de retour brut (nb années)		22	2	34	6	-120



3.k	Coût global actualisé 30 ans (euroTTC/m <sup>2</sup> SHON)	362127	356561	466397	260424	373463	476364
3.l	Coût global annualisé 30 ans (euroTTC/m <sup>2</sup> SHON)	4925	-558	10634	4735	5947	5373
3.m	Taux de rentabilité interne TRI (%age)		2,10%	non	-0,87%	17,00%	non

## **10 Argumentaire et réponses aux objections les plus fréquentes**

---

Le recours aux énergies alternatives est freiné par un ensemble de barrières. Par exemple, les coûts d'investissements élevés, le manque de connaissance ou les contraintes administratives supplémentaires. Au cœur du processus de décision, l'estimation par le donneur d'ordre du risque lié à des techniques moins familières. Pour faciliter la prise en compte d'options moins fréquentes à travers les études de faisabilité, il est utile de connaître les objections les plus fréquentes et les réponses qui peuvent y être apportées.

### **1. Les solutions basées sur les ENR peuvent elles être économiquement concurrentielles avec les solutions classiques?**

- Les analyses montrent que ces solutions ou variants sont fréquemment moins chères que ne le pensent les investisseurs. Le Conseil Mondial pour le développement durable a établi que les bâtiments respectueux de l'environnement sont beaucoup moins chers qu'imaginés (5% de surcoût constaté en moyenne pour une estimation à 17%)
- Par ailleurs des financements originaux sont souvent possible, tiers financement, PPP, out-sourcing
- Ces solutions sont fréquemment soutenues financièrement par les Pouvoirs Publics à travers des subventions ou tarifs de rachat incitatifs

### **2. Les solutions basées sur les ENR sont elles aussi fiables que les solutions classiques ?**

- Toutes les solutions sont désormais au stade commercial et de nombreuses opérations de démonstration existent qui prouvent la fiabilité des technologies.

### **3. En quoi le recours aux ENR influence t il la conception du bâtiment ?**

- La recherche de la performance énergétique est stimulante
- On dispose aujourd'hui de nombreuses solutions et équipements pour intégrer les ENR: composants de bâtiment intégrant du PV, émetteurs basse température, générateurs à bio-masse,...
- C'est un état d'esprit que de prendre en compte, très en amont la disponibilité de toutes les énergies
- La conception environnementale sera valorisée dans le future, à la fois du fait des prix de l'énergie en augmentation et parce

que les bâtiments disposant d'une certification de qualité anticipent les règles futures de construction

- Il y a de nombreux exemples, architecturalement très réussis, de bâtiments à Haute Qualité Environnementale.

#### **4. Comment réaliser les études de faisabilité avec un petit budget et en temps limité ?**

- Le coût et la durée des études seront réduits, dès lors que ces aspects seront traités très en amont dans la conception du projet de construction
- C'est aussi une manière d'anticiper sur les obligations à venir car il y a toutes probabilités pour que les exigences réglementaires continuent de se renforcer.

#### **5. Combien coûte une telle étude ? What**

- Il n'y a pas de coût forfaitaire ou de barème fixe car le coût de l'étude est fonction de la complexité du bâtiment et, dans une certaine mesure, de sa taille.

#### **6. Y a-t-il des subventions pour ces études ?**

- Comme c'est en général le cas pour les obligations réglementaires, il n'y a pas de soutien financier aux études qui trouvent en général leur retour dans l'optimisation à laquelle elles conduisent.

#### **7. Les distributeurs d'énergie peuvent-ils être associés ou financer l'étude ?**

- Comme le but principal de l'étude est d'avoir une comparaison objective entre les différentes sources d'énergie, y compris les énergies non commerciales, il est recommandé de ne pas impliquer les distributeurs et fournisseurs d'énergie dans la réalisation de l'étude

#### **8. Quand faut-il faire cette étude ?**

- La réglementation oblige à avoir cette étude disponible au moment de la demande de permis de construire; dans la pratique on recommande d'envisager les options dès le stade du programme et d'associer un consultant en énergie à l'architecte dès les premiers stades de conception.

## **11 Conclusions**

---

Le présent guide vise à préciser la méthodologie qu'il est recommandé de mettre en œuvre pour appliquer l'arrêté du 18 décembre 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs et parties nouvelles de bâtiments et pour les rénovations de certains bâtiments existants en France métropolitaine.

En effet, les méthodes de calcul énergétique ou d'approche en coût global utilisées par les professionnels peuvent présenter des différences assez sensibles. L'élaboration d'un guide méthodologique facilitant la mise en œuvre de l'étude de faisabilité des approvisionnements en énergie s'est donc imposée. Ce document vise d'abord à caractériser les différents indicateurs énumérés dans l'arrêté du 18 décembre 2007 et à expliciter leur calcul. La vocation du guide est également de faciliter le partage d'informations et d'outils entre professionnels. On pourra ainsi attendre de son application une meilleure capitalisation des données et une amélioration continue de la fiabilité des analyses comparatives.

Il convient de préciser que les méthodologies proposées dans ce document pour réaliser l'évaluation technique et économique n'ont aucune valeur réglementaire. En conséquence, le maître d'ouvrage reste libre d'appliquer toute méthodologie équivalente reconnue.

## 12 References

---

Hansen, K., et. al, "Inventory of Building practice, barriers and solutions for market introduction of alternative energy systems (status 3/2007)", SENTRO 2/2007/WP3, September, **2007**.

Prins, M. et al, "sturen op warden bij Projectalliantiecontracten, de toepassing van incentives op kwaliteit, Technical University Delft, faculty real estate and Housing, June 2006

Sijanec Zavrl, M., et. al, "Inventory of implementation of feasibility studies from EPBD Art. 5 in EU-27 (status 3/2007)", SENTRO 1/2007/WP2, September, **2007**.

Wahlström, Å. "Environmental assessment of energy systems for heating in dwellings". Proceeding of ISES Solar World Congress 2003, Paper no O6 8, Göteborg, Sweden, June 14-19, **2003**.

## **13 Annexe: Outils et méthodes pouvant être utilisés dans le cadre des études de faisabilité**

---

*I Tableau récapitulatif des outils commerciaux*

*II Présentation des polynomes OPTISOL*