

Le bâtiment à énergie positive BEPOS

Gilles Lefebvre

Professeur UPEC

CERTES/IUT Créteil Vitry/OSU EFLUVE

Plan

- Contexte et enjeux
- Quelques principes d'énergétique des bâtiments et de confort
- Le concept de Bâtiment à Énergie Positive
- L'accompagnement du BEPOS par la recherche et l'innovation à l'UPEC/EFLUVE/CERTES

Contexte, enjeux

Collectif

- Volatilité du prix des énergies
- Tensions géopolitiques et économiques autour des ressources énergétiques fossiles
- Indépendance énergétique
- Changement climatique
- Pollution
- Développement durable
- Mondialisation (et règlements/directives européens)

Individuel

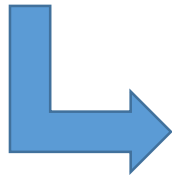
- Renchérissement des énergies
- Besoin/souhait de confort et qualité de vie
- Souhait d'accéder à et d'habiter des bâtiments de qualité, valorisants, « beaux »

Transition écologique / énergétique

Réponse



transition écologique



transition énergétique



- société plus sobre en énergie
- solutions faiblement carbonées (fossile -> renouvelable)

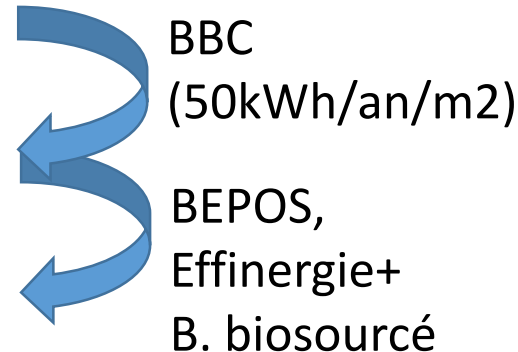
D'après: <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>

Règlements énergie et bâtiments

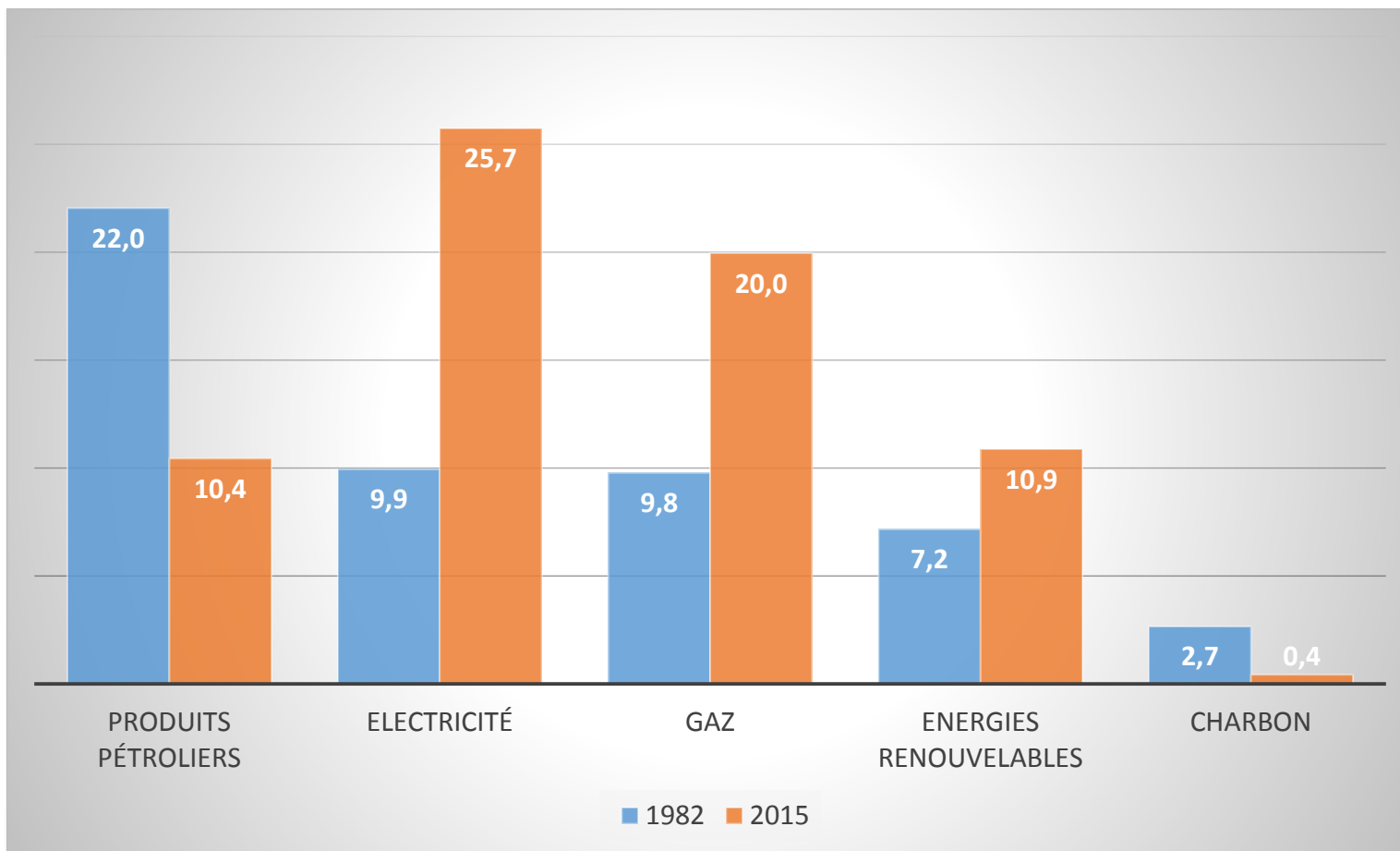
Normes

- Règles Th-K (1977)
- Règles Th-G (1977)
- Règles Th-B (1980)
- Règles Th-C (1990)
- Règles RT2000 (Th-C, Th-E,..)
- Règles RT2005 (neuf et réno. gros ensembles)
- Règles RT2012 (~BBC)
- Règles RT2020 (BEPOS)

Labels

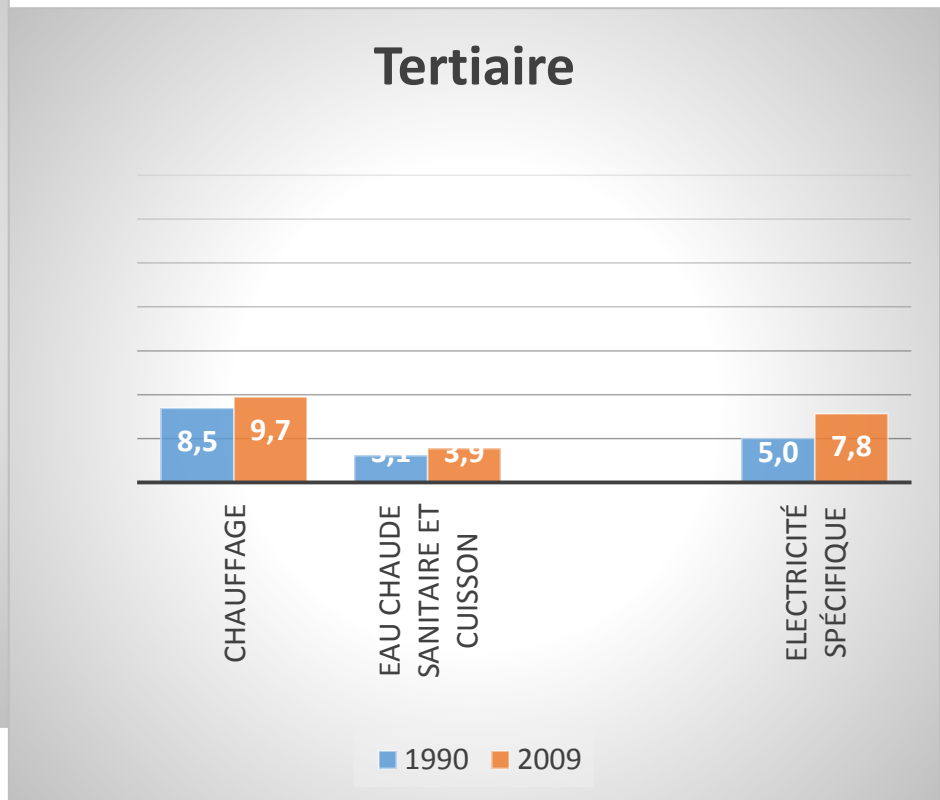
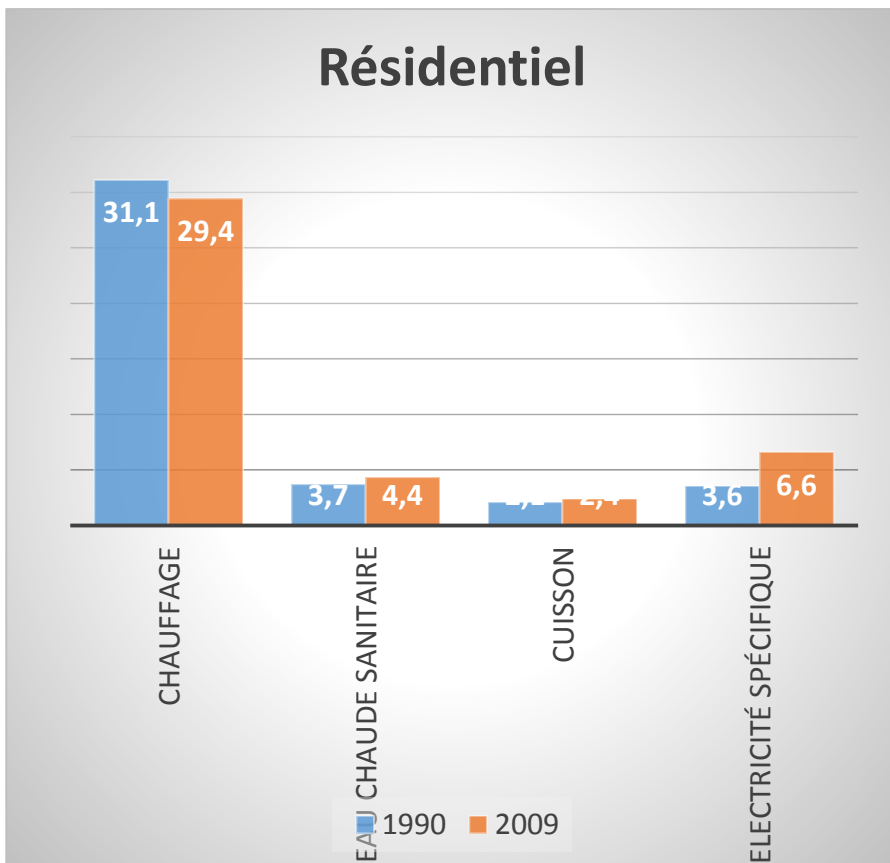


Répartition des consommations d'énergie finale du secteur résidentiel + tertiaire (en Mtep)



Source <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr> – CEREN – mäj 2011

Répartition des consommations d'énergie finale selon les usages (en MTep)



Source <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr> – CEREN – mäj 2011

Loi de transition énergétique pour la croissance verte

18 août 2015

Définir des objectifs communs	Agir ensemble	Rénover les bâtiments	Développer les transports propres
Lutter contre le gaspillage et promouvoir l'économie circulaire	Favoriser les énergies renouvelables	Renforcer la sûreté nucléaire et l'information des citoyens	Simplifier et clarifier les procédures

http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/16172_loi-TE-en-action_DEF_light-2.pdf

Précarité énergétique

INSEE: +330000 pers/an et +330000 logements/an (1%)

Fondation Abbé Pierre 2017: 4 millions de mal logés, sans abris ou sans logement personnel

INSEE:

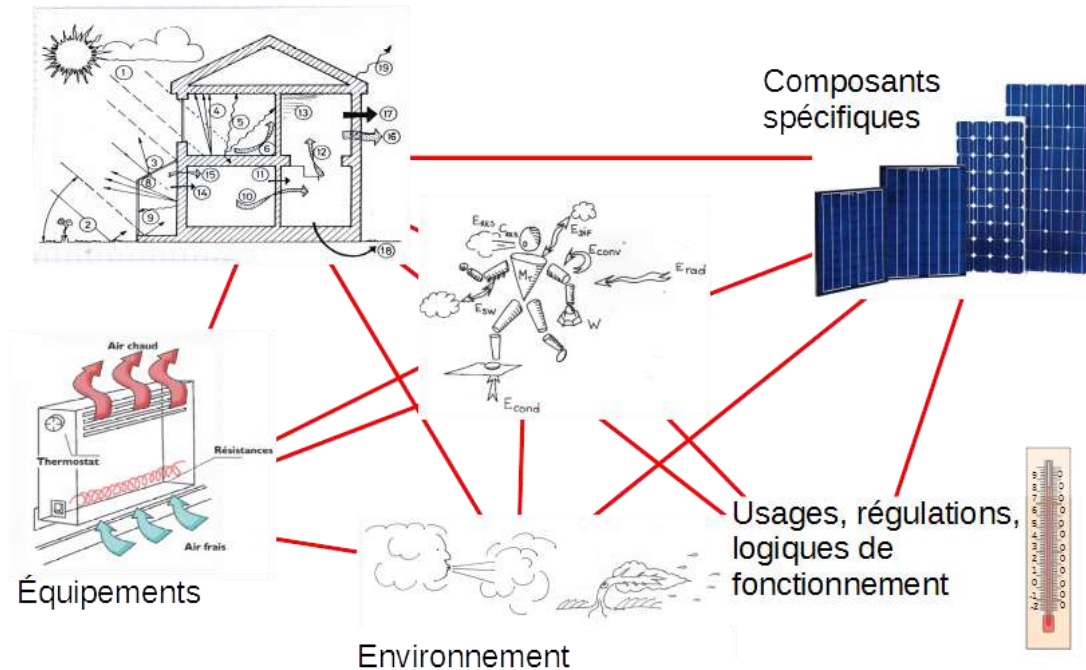
- 3,5 millions de ménages ont eu froid au cours de l'hiver 2005
- 2011: Une part de la population consacre une part importante (+ de 10%) de ses revenus pour se chauffer
- Une autre a froid (les jeunes (19,1 %), les locataires (25,2 %) et les ménages habitant en logement collectif (21 %))
- 2008: 1,6 millions de logements ont un système de chauffage sommaire ou inexistant

Sources: INSEE et Fondation Abbé Pierre

Le bâtiment, l'occupant, l'environnement, les équipements: un système

Enveloppe

Systemique



$$S = M_T - W + E_{rad} + E_{conv} + E_{cond} + E_{SW} + E_{DIF} + E_{RES} + C_{RES}$$

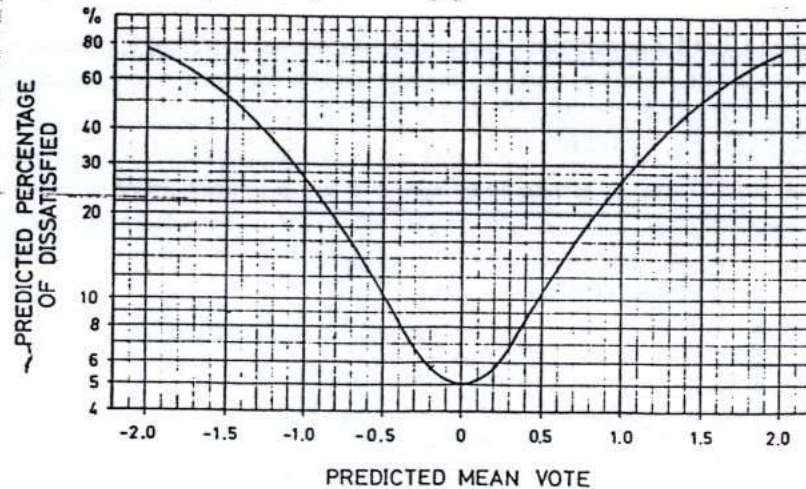
Comfort Steady state $\rightarrow S = 0$

↑
Confort
hygrothermique

Principes de base du confort

Travaux de **P.O. Fanger**

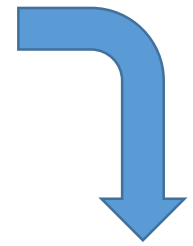
Température, humidité,
champ radiatif, vitesse
d'air
Activité
vêtue



Predicted
Mean Vote
PMV



Predicted
Percentage of
Dissatisfied
PPD



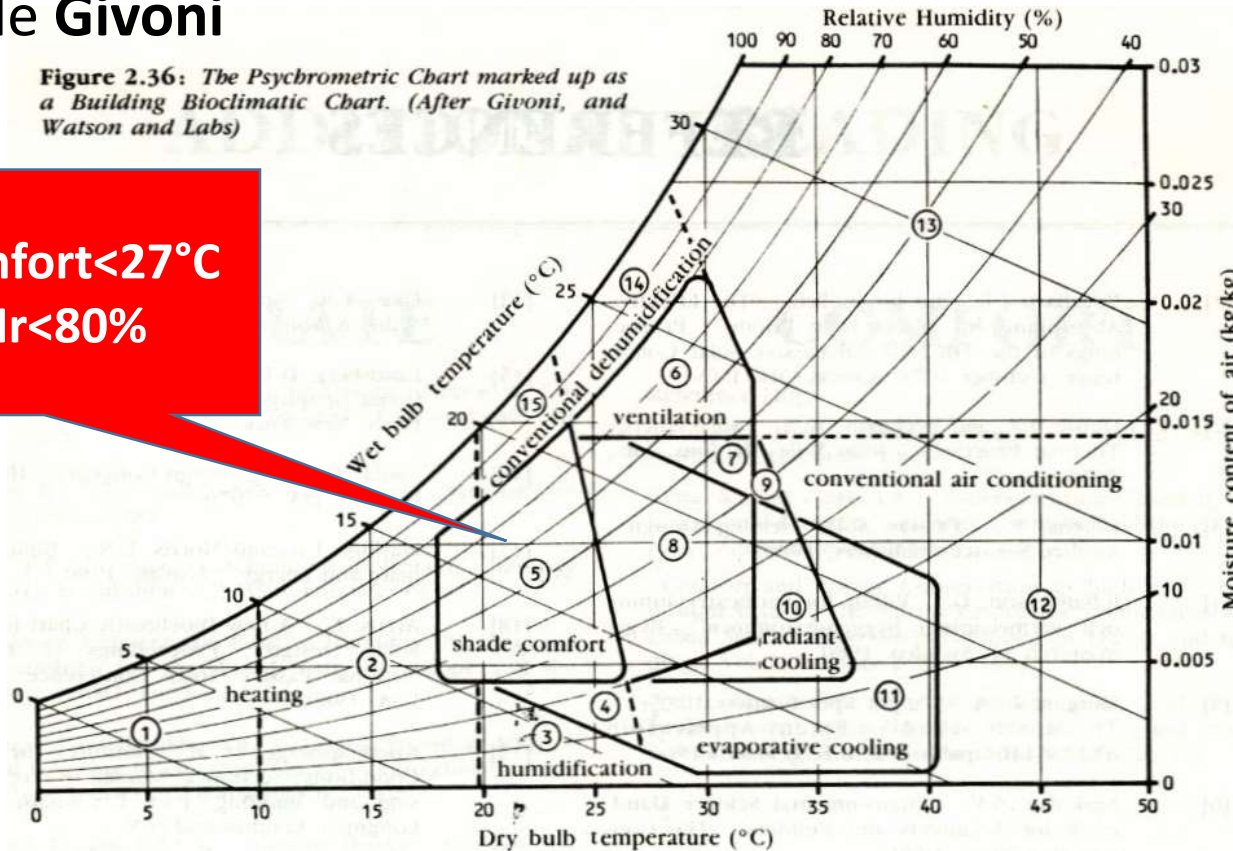
Situations et ambiances stationnaires

Principes de base du confort

Travaux de Givoni

Figure 2.36: The Psychrometric Chart marked up as a Building Bioclimatic Chart. (After Givoni, and Watson and Labs)

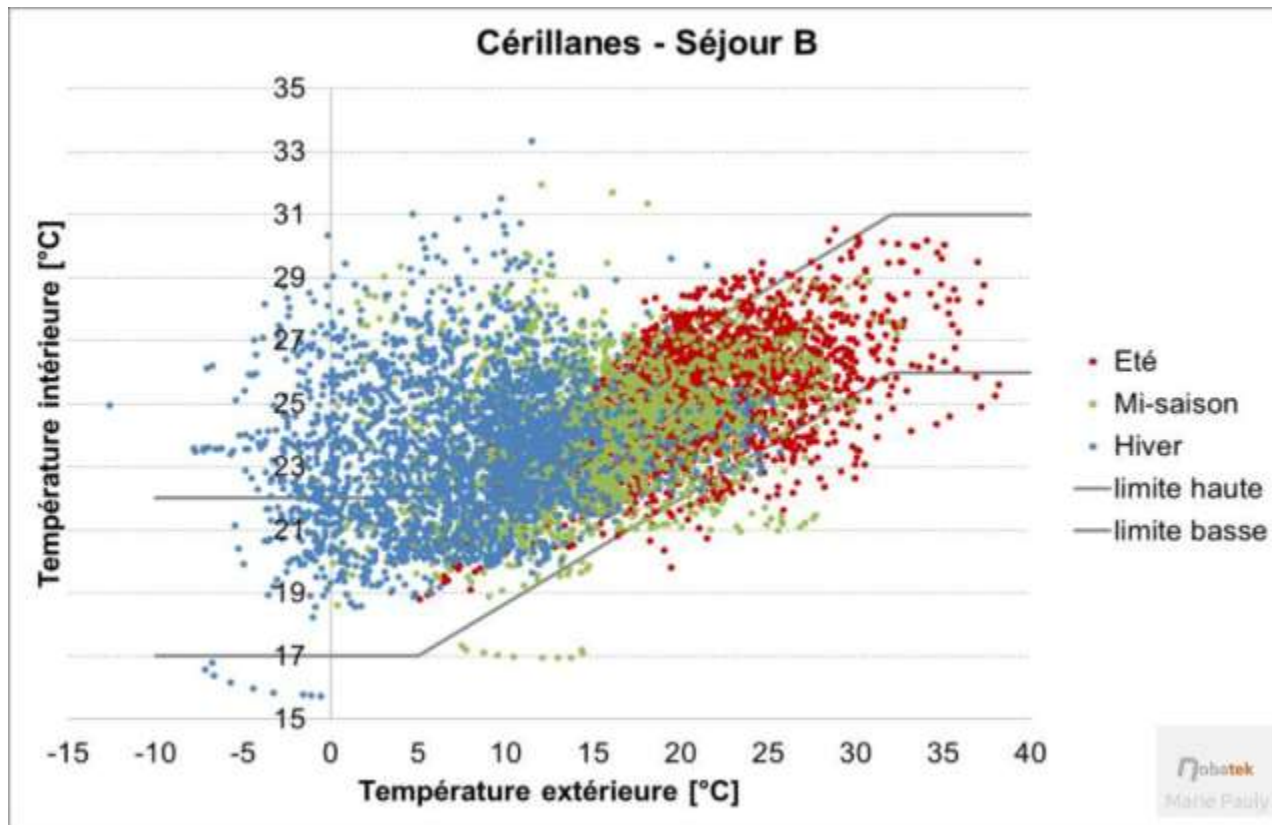
$18^{\circ}\text{C} < T_{\text{confort}} < 27^{\circ}\text{C}$
 $20\% < H_r < 80\%$



Situations et ambiances stationnaires

Principes de base du confort

Travaux de **Brager**: confort adaptatif



Adaptation à la saison (vêtue, psychologie,...)

Principes de base de l'énergétique des bâtiments

En hiver, en situation de chauffage

Des pertes par l'enveloppe (déperditions)

Des gains bénéfiques (apports « gratuits »):

- Soit du vraiment gratuit
- Soit du recyclage d'autres usages

Un taux de récupération des apports gratuits:

- Importance relative des apports par rapport aux déperditions
- Stockage et déstockage d'énergie (inertie thermique)

Principes de base de l'énergétique des bâtiments

En été

Des gains par l'enveloppe (l'opposé des déperditions d'hiver)

Le renouvellement d'air peut être favorable ou non selon les circonstances et les moments de la journée

Des gains néfastes (idem les apports « gratuits » d'hiver)

Un taux de récupération des apports

Le renforcement de l'isolation, de l'augmentation des apports gratuits, entraîne un risque d'inconfort d'été (surchauffes)

RT2012

Les 3 conditions RT 2012

$$\text{BBio} \leq \text{BBio max (points)}$$
$$\text{TiC} \leq \text{TiC ref (}^\circ\text{C)}$$
$$\text{Cep} \leq \text{Cep max (kWh ep/m}^2\text{.an)}$$

Des valeurs modulées

Des caractéristiques minimales

S'applique au tertiaire depuis fin 2011 et au logement depuis 2013.

Bbiomax ~ 60
Cepmax $\sim 50 \text{ kWh/an/m}^2$
Ticmax $\sim 26^\circ\text{C}$

+ des exigences spécifiques (PAC ou PV, 1/6 vitrages,...)

RT2012

Pour garantir la qualité de mise en œuvre

- Traitement des ponts thermiques
- Traitement de l'étanchéité à l'air, avec test de la « porte soufflante » obligatoire dans le collectif

Pour garantir le confort d'habitation

- Surface minimale de baies vitrées (mini 1/6 SHON)

Pour accélérer le développement des énergies renouvelables

- Généralisation en maison individuelle (PV, ou ballon thermo ou PAC)

Pour un bon usage du bâtiment

- Mesure ou estimation des consommations d'énergie par usage
- Information de l'occupant

Pour une qualité énergétique globale

- Production locale d'énergie non prise en compte au-delà de l'autoconsommation (12 kWhEP/m²/an, comme aujourd'hui dans le label « BBC-Effinergie »)

RT2012

Une généralisation des techniques performantes

Conception / isolation du bâti nettement améliorée (un besoin de chauffage réduit par 2 à 3)

Amélioration des performances des systèmes de chauffage de 10 à 20 % pour le chauffage par PAC, par gaz condensation et par chaudières bois

Généralisation du chauffe-eau thermodynamique ou de capteurs solaires thermiques

Généralisation des énergies renouvelables en maison individuelle

Réduction de 30% de l'éclairage

Autres avancées induites : large diffusion du triple vitrage pour les maisons chauffées par convecteur, et de la ventilation double-flux au Nord-Est de la France, ...

L'accord de Paris

Accord de Paris (COP21, déc 2015, mise en œuvre automne 2016), Engagement de l'État et des acteurs de la construction:

Préparer:

- Bepos
- les bâtiments à faible empreinte carbone

Expérimentation à partir de l'automne 2016:

- Maisons individuelles ou accolées,
- Bâtiments collectifs d'habitation,
- Bâtiments à usage de bureau,
- Les autres bâtiments soumis à la réglementation thermique actuelle.

Un pilotage: Conseil Supérieur de la Construction et de l'Efficacité Energétique

Un label certifié Bepos pré réglementaire

Vers la RT2020

Période transitoire: des labels et incitations en cours d'expérimentation

Labels

- Bepos (2016): 4 niveaux de labellisation
 - 20% meilleurs que la RT2012 en moyenne
 - Un bon bilan environnemental (faibles émissions GES, déchets chantier valorisés, bonne qualité air intérieur, utilisation matériaux biosourcés)
Permet un bonus
 - 30% de surface constructible en plus de la limite PLU
- Carbone: 2 niveaux de labellisation

Incitations financières

- Territoire à Énergie Positive pour la Croissance Verte (TEPCV)
- PIA Ville de Demain

La RT2020

La RT2020 comprendra:

- La RT2012 et ses exigences actuelles
 - **Bbio, Cep, Tic**
- Trois autres indicateurs supplémentaires
 - **Bepos** = Besoins Non Renouvelables et non couverts par de la récupération – **Production d'Électricité Renouvelable (compensation)**
 - La **Dies** est la durée inconfort d'été statistique. La *Dies* s'appuie sur les notions de confort adaptatif et de pourcentage d'insatisfaits. Elle s'exprime en heures
 - L'indicateur '**Carbone**' représente le bilan carbone de la vie du bâtiment ACV de type NF EN15978)

La RT2020

Isolation thermique renforcée, fenêtres de grande qualité ;

Suppression des ponts thermiques et isolation par l'extérieur ;

Excellente étanchéité à l'air ;

Forte limitation des déperditions thermiques par renouvellement d'air via une ventilation double-flux avec récupération sur air vicié ;

Captation optimale de l'énergie solaire de manière passive ;

Protections solaires et dispositifs de rafraîchissement passifs ;

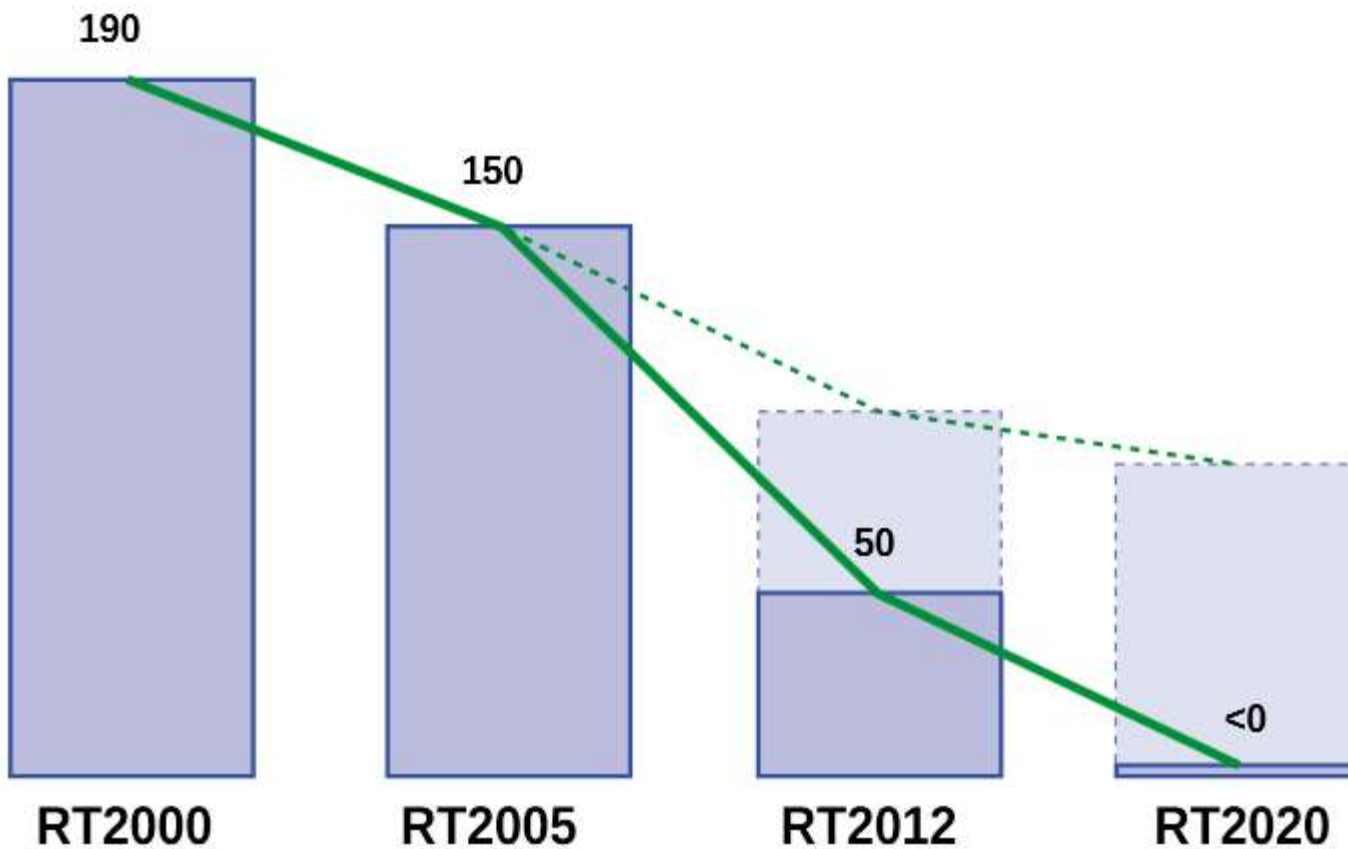
Limitation des consommations d'énergie des appareils ménagers ;

Équipement en moyens de captage ou production d'énergie (capteurs photovoltaïques, capteurs solaires thermiques, aéro-générateurs, pompe à chaleur, plancher ou plafond rafraichissant, rafraîchissement adiabatique, pieux géothermiques verticaux, nappes géothermiques etc.)

Récupération et utilisation optimales des eaux pluviales.

Épuration naturelle par lagunage

De la RT2000 au BEPOS



Source: ADEME

Bepos: une réglementation à exigences graduées

- **Un indicateur BEPOS unique :**
 - Unique, simple d'approche pour les acteurs
 - Qui permet de valoriser les efforts en matière de sobriété et d'efficacité énergétique, d'utilisation des ENRetR, en dissociant ce qui est utile au bâtiment de la production exporté
 - Elargi à l'ensemble des consommations du bâtiment, dans un souci de pédagogie
- **La fixation d'exigences graduées avec :**
 - des niveaux de recours aux ENR échelonnés
 - un(des) premier(s) niveau(s) accessible(s) à tous les systèmes énergétiques sans recours systématique au PV, un (des) niveau(x) faisant appel à une production d'électricité renouvelable
- **Un BEPOS contextualisé avec .**
 - une exigence mutualisable entre bâtiments à l'échelle du PC ou d'une opération d'aménagement
 - une prescription locale de la production d'électricité renouvelable : les niveaux faisant appel à une production d'électricité renouvelable sont pilotés par les collectivités locales

Source: BARRET, JCE 2016, Marseille

Bepos: dispose-t-on de gisements énergétiques suffisants pour réduire et compenser?

Quelles pistes?

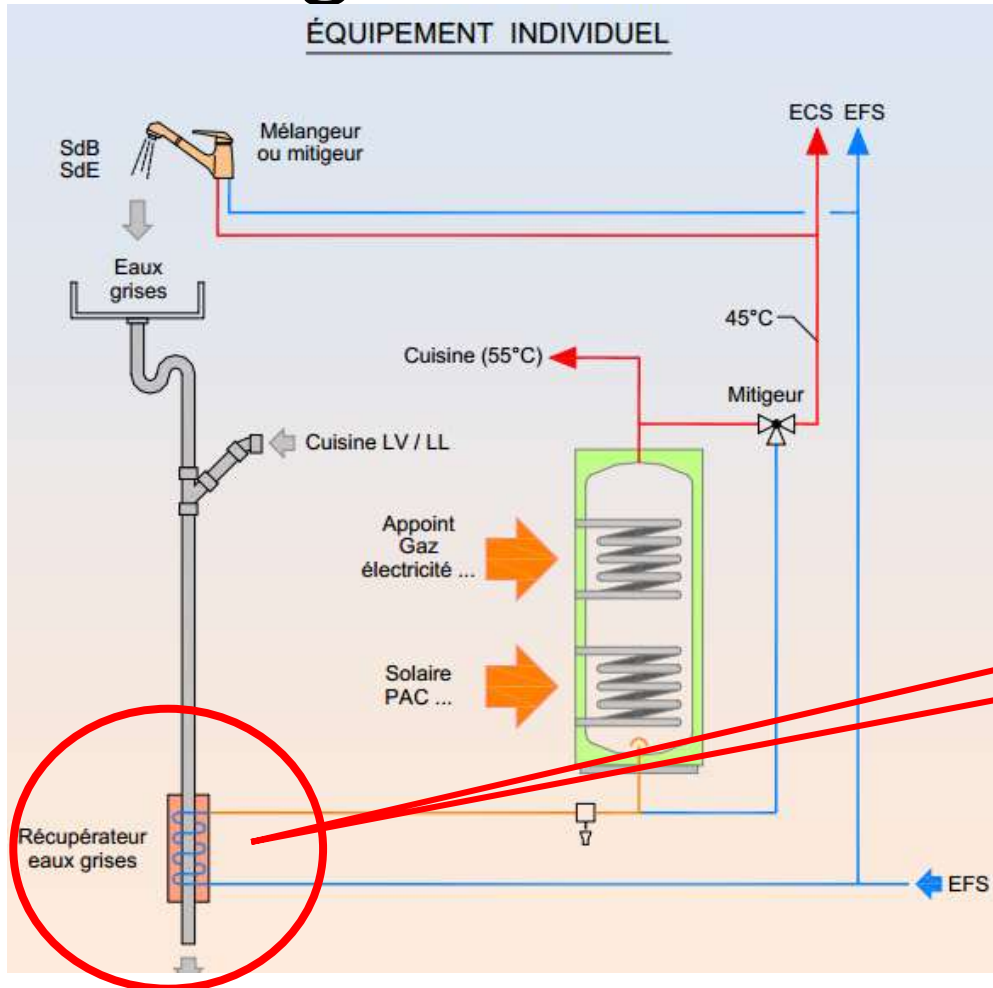
- Le PV: de l'ordre de 100 kWh/m²/an (m² au sol)
- Le solaire thermique qui peut atteindre 50% de rendement annuel
- Réduire les besoins nets en deçà de 50kWh/an/m²
 - Isoler encore mieux
 - Encore plus de gains solaires avec stockage pour usage différé
 - Géothermie peu profonde (mais nécessite de la surface (h
 - Géothermie de surface) de terrain ou de la profondeur (pieux énergétiques, caloducs)
 - La récupération des énergies fatales

Les énergies renouvelables des bâtiments

- **Les apports internes** (occupants, usages domestiques, éclairage, ...) 3 à 10 W/m², environ 15 à 20 kWh/m².an
- **Les baies vitrées**, apports solaires et de lumière naturelle de 15 à 30 kWh/m².an
- **L'air extrait de la ventilation** 15 à 25 kWh/m².an
- **Les eaux grises** 10 à 20 kWh/m².an
- **La biomasse**
- **L'énergie solaire** des capteurs solaires thermiques, PV et hybrides de 300 à 600 kWh/m².an
- **L'air extérieur, nappe phréatique, PAC**

Source: Cardonnel, JCE2016, Marseille

Bepos: exemple de récupération d'énergie sur les eaux grises



Source: Cardonnel Ingénierie

Récupération

Thermographie Infrarouge

« Voir » et quantifier les fuites thermiques

Emission de rayonnement IR

$$M = \varepsilon\sigma T^4 \text{ (W/m}^2\text{)}$$

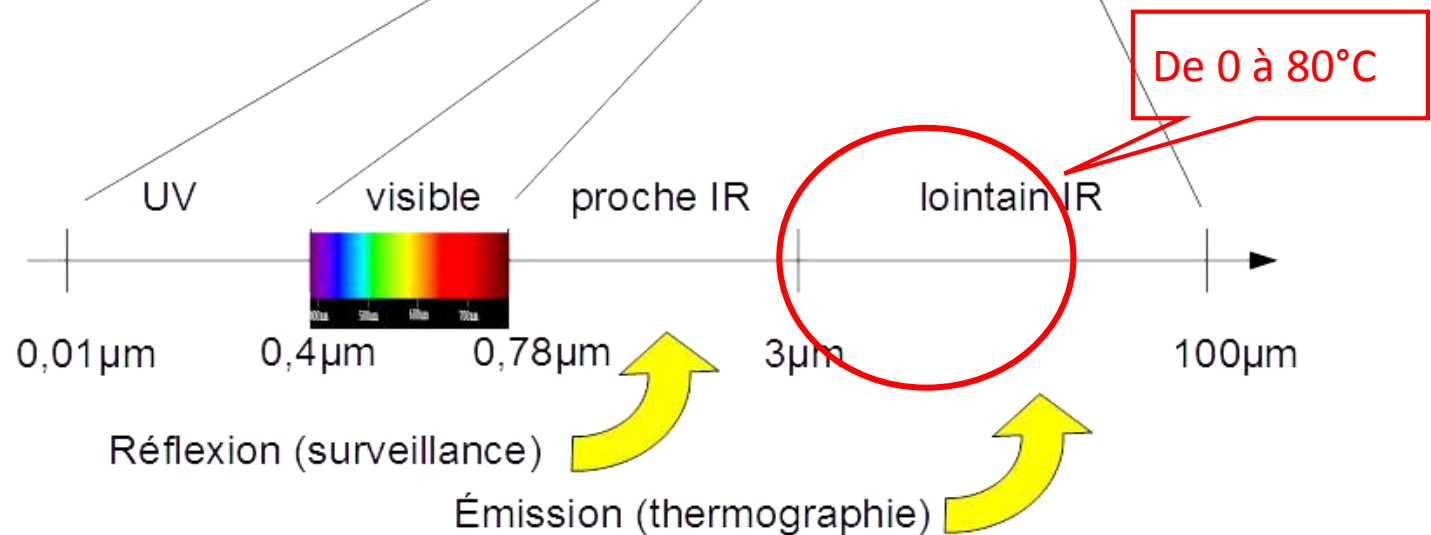
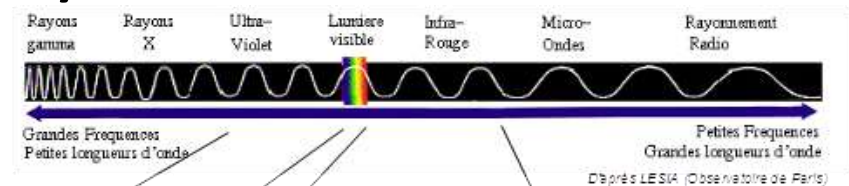
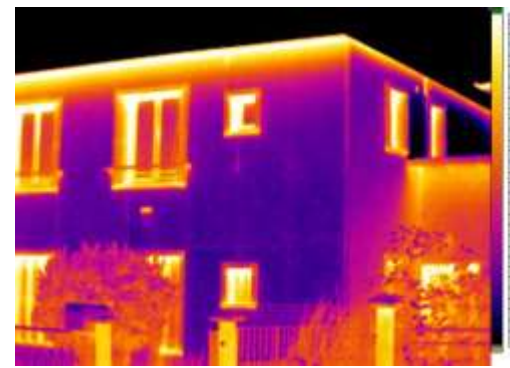
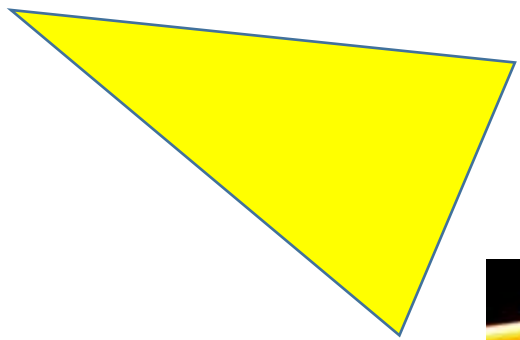


Image IR



Méthodes passives ou actives

Immeuble d'habitation isolé par l'extérieur (Villemomble)

Thermographie IR

Quels problèmes la recherche doit elle résoudre?

- Faire abstraction du rayonnement infra-rouge ambiant, parasite
- Contourner la méconnaissance *a priori* de l'émissivité des surfaces visées (surfaces témoins, mesures bi-chromatiques)
- Passer des flux observés aux flux réellement émis par la surface
- ...

Et surtout

- Déduire des images des informations sur la structure interne des parois
- Déduire des images des informations quantitatives sur les flux thermiques conductifs transmis par les parois observée

Thermographie IR

Quels problèmes la recherche doit elle résoudre?

- Faire abstraction du rayonnement infra-rouge ambiant, parasite
- Contourner la méconnaissance *a priori* de l'émissivité des surfaces visées (surfaces témoins, mesures bi-chromatiques)
- Passer des flux observés aux flux réellement émis par la surface
- ...

Et surtout

- Déduire des images des informations sur la structure interne des parois
- Déduire des images des informations quantitatives sur les flux thermiques conductifs transmis par les parois observée

Qualité d'air dans les Bepos

Des niveaux faibles (minimum) de renouvellement d'air

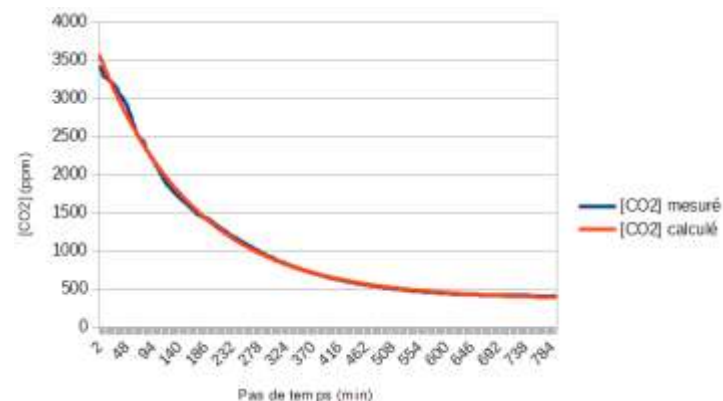
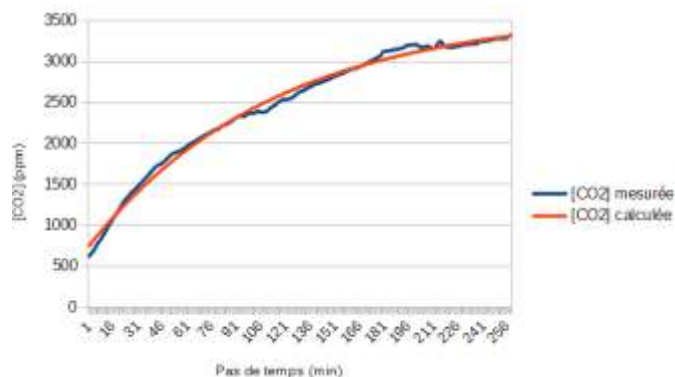
Test de perméabilité et déperdition par gaz traceurs

La preuve de l'étanchéité à l'air est faite avec une porte soufflante à l'achèvement des travaux

Besoin d'une technique plus légère: le gaz traceur: par exemple le CO2

$$[CO_2](t) = D + E * \exp\left(\frac{-t}{\tau_3}\right)$$

CERTES/Cardonnell Ingénierie



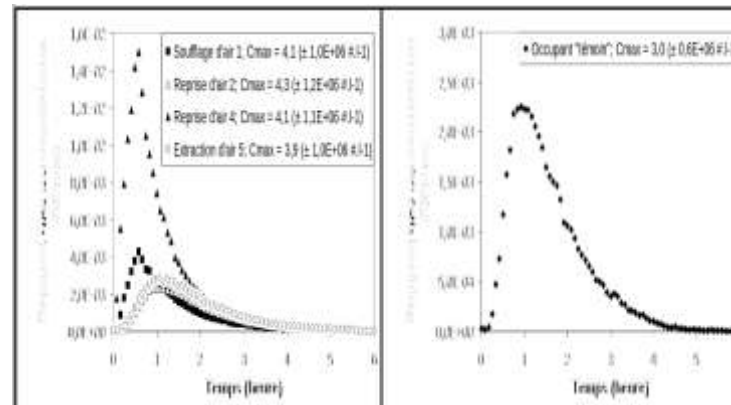
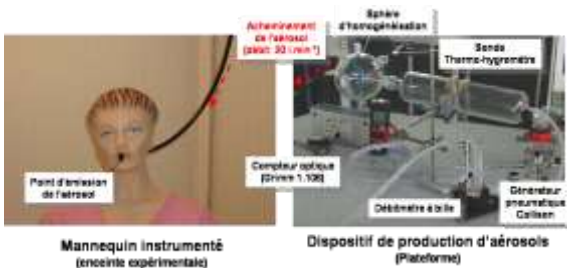
Étude des aérocontaminants

La réduction des débits de renouvellement d'air entraîne un risque de concentration en aérocontaminants néfastes pour la santé

MATEO



Midas, CERTES



CERTES/CSTB/IRSN

2 février 2017

Matériaux innovants

De nouveaux matériaux de moindre impact environnemental (bas carbone, peu d'énergie grise, circuits courts, sains, plus efficaces)

Matériaux incluant des fonctionnalités nouvelles

- Du nano, de l'intelligent,...
- Meilleurs stockeurs d'énergie thermique (MCP)

Matériaux plus écologiques

- Bio-sourcés

R&D intense en ce qui concerne les isolants et les MCP

Matériaux innovants

Les isolants

- Porteurs ou non
- Bio-sourcés ou non

Recherches UPEC/EFLUVE/CERTES concernant:

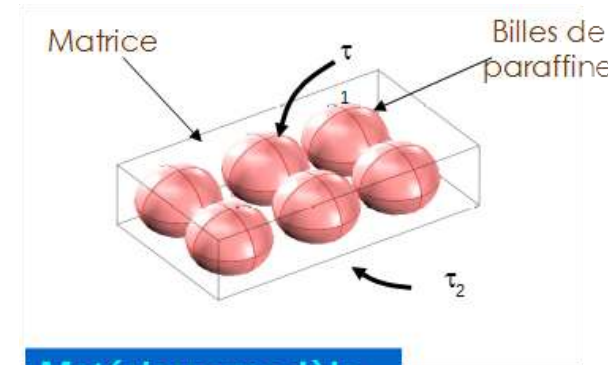
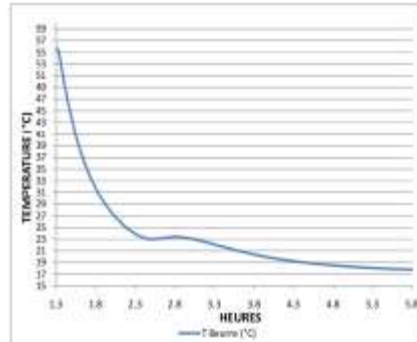
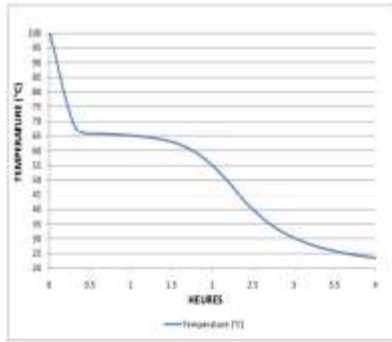
- L'optimisation du matériau composite
- Sa caractérisation (densité, chaleur spécifique, conductivité thermique, perméabilité à l'air et à la vapeur d'eau, hygroscopie)
- Vieillessement hygrothermique et mécanique

Les matériaux à changement de phase

Les matériaux à changement de phase et la R&D UPEC/EFLUVE/CERTES

- Acides gras, paraffines encapsulés dans des matériaux poreux, des billes ou des gels augmentant l'inertie thermique autour de leur température de changement de phase
 - MCP pour certains synthétiques d'autres plus bio
- Techniques d'encapsulation (billes polymères, terres cuites, rachis de plumes,...)
- Efficacité et optimisation de la distribution spatiale
- Caractérisation
- Vieillessement, distribution dans l'épaisseur (inertie utile mobilisable), suintements (changements de phase solide/solide)

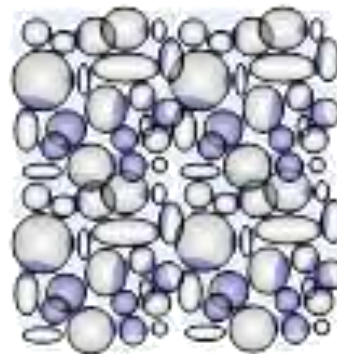
Les matériaux à changement de phase



Matériaux modèle

Karkri, CERTES

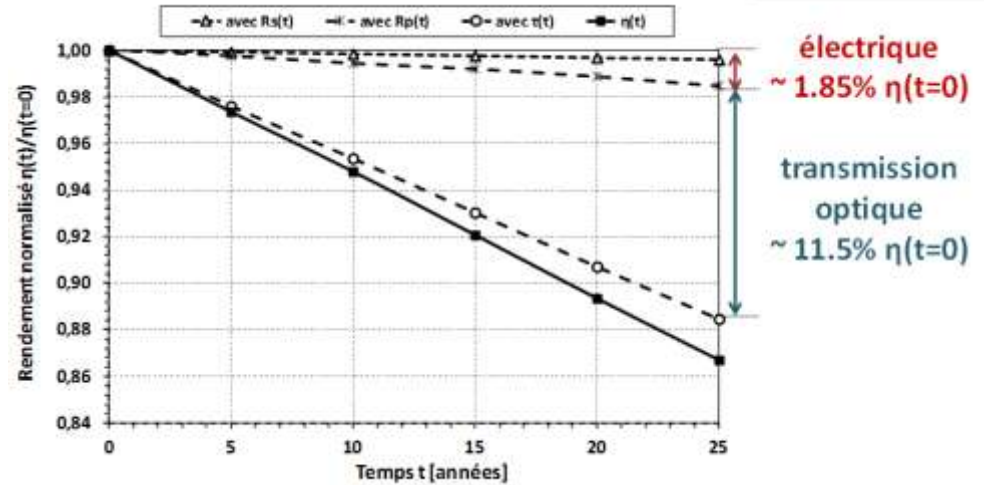
Encapsulation
- microbilles
- poudres
- gel
- matériaux naturels



Huaylla, Lefebvre, CERTES

Optimisation: vieillissement

Vieillissement des PV



Vieillissement des batteries et supercapa

Cyclage
Modèle de vieillissement

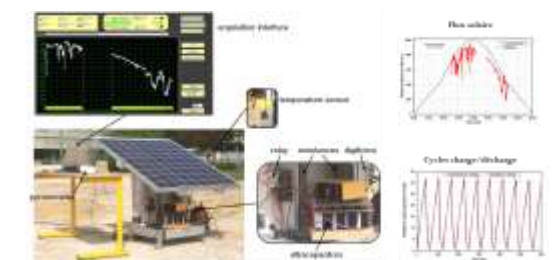
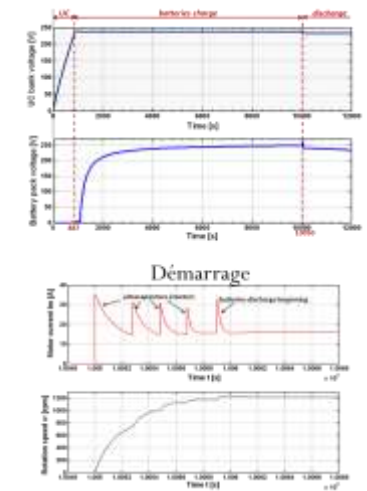
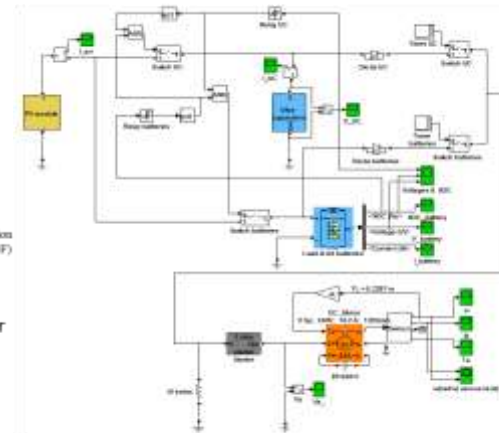
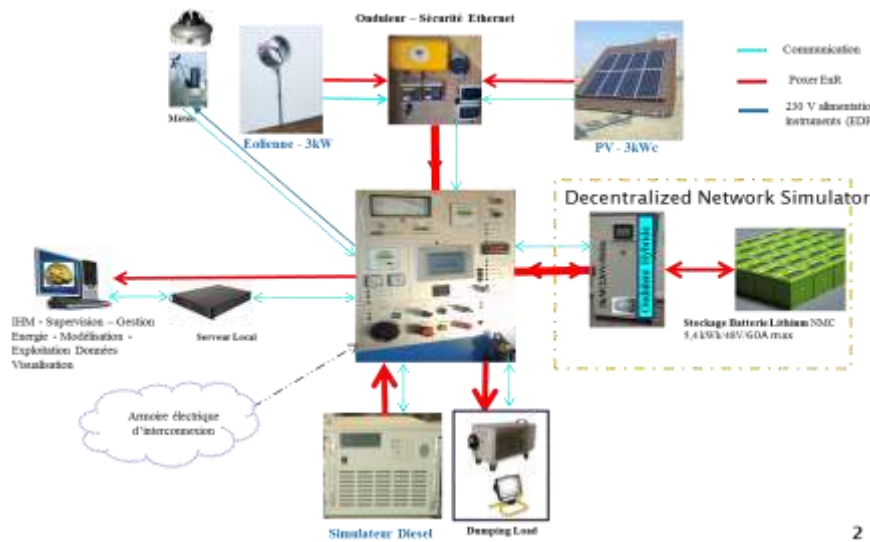


Optimisation des équipements énergétiques

Dimensionnement des éléments, de leur régulation, et en particulier du stockage (note: recharge véhicules élec)

- Modeling
- Optimization on cycle

Observations et validations expérimentales grandeur nature



2

Conclusion

Le BEPOS **est**:

- Un bâtiment énergétiquement très sobre
- Un bâtiment qui inclut des principes de bioclimatisme qui font qu'il peut mieux fonctionner en mode dégradé
- Une réglementation qui oblige la filière bâtiment à trouver des solutions nouvelles; les contraintes fortes entraînent l'apparition de bâtiments innovants, originaux
- Un élément de collecte et de mise en forme d'ENR autoconsommée ou renvoyée sur le réseau
- L'occasion de mutualiser la collecte/production/stockage à des échelles diverses

Le BEPOS **n'est sans doute pas**:

- Un bâtiment lowtech ni bon marché

Le BEPOS **n'est pas**:

- un bâtiment qui ne consomme pas d'énergie

Conclusion

Le BEPOS **accompagne** les Territoires à énergie positive pour la croissance verte:

1. Bâtiment
2. Mobilité durable
3. Énergie propre
4. Économie circulaire
5. Démocratie participative
6. Biodiversité

danke
thanks
chokrane

谢谢

tak
gha-ana
gracias
merci

ευχαριστώ

aguyjé Bouygues Immobilier
toda Muriel GERMAK Architecte
dhanyavad CARDONNEL Ingénierie
terima kasih Rue de l'Ermitage, Montreuil

grazie

arigatô

tanemmirt

မုန့်ကုန် (orkun)

spas

gratias ago

paldies



ačiū
kia ora
bayarlalaa
dank u wel
manana
obrigado
sulpáy
najis tuke

mulțumesc

спасибо

hvala (merci)

hvala vam

asante

nandri

ขอบคุณครับ

cám ơn

a dank

o sheun

ngiyabonga kakhulu

Merci