



MODÉLISATION EN PUISSANCE DES USAGES ÉLECTRIQUES DU SECTEUR RÉSIDENTIEL FRANÇAIS LA PROBLÉMATIQUE DU FOISONNEMENT

G. Binet
© Copyright EDF 2015

SOMMAIRE

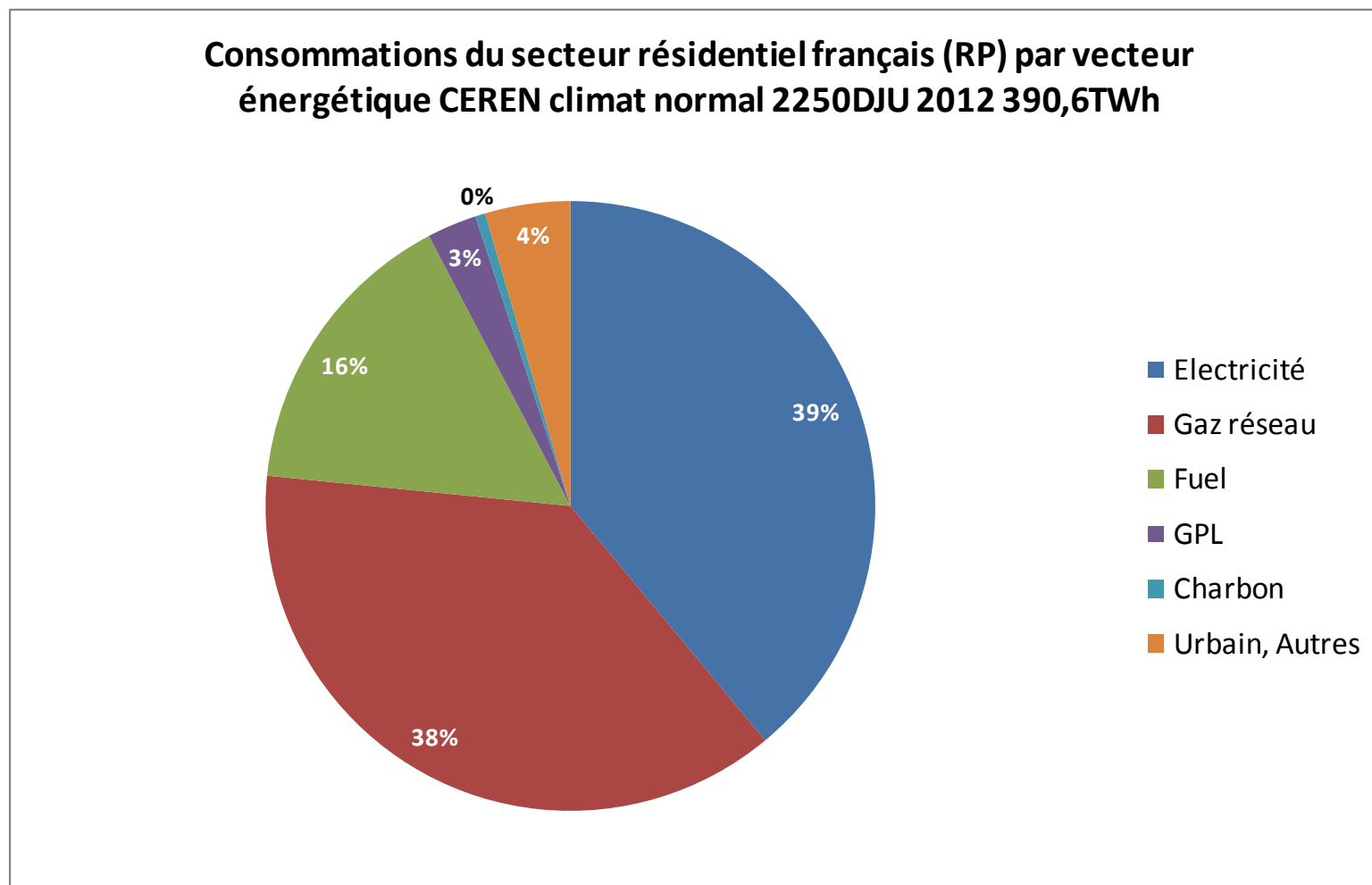
- 1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE DU SECTEUR RÉSIDENTIEL FRANÇAIS**
- 2. LA PUISSANCE: INDISPENSABLE DIMENSION TEMPORELLE**
- 3. QUELLE(S) MODÉLISATION(S)?**
- 4. DEUX EXEMPLES**
- 5. POINTS DURS ET VERROUS**



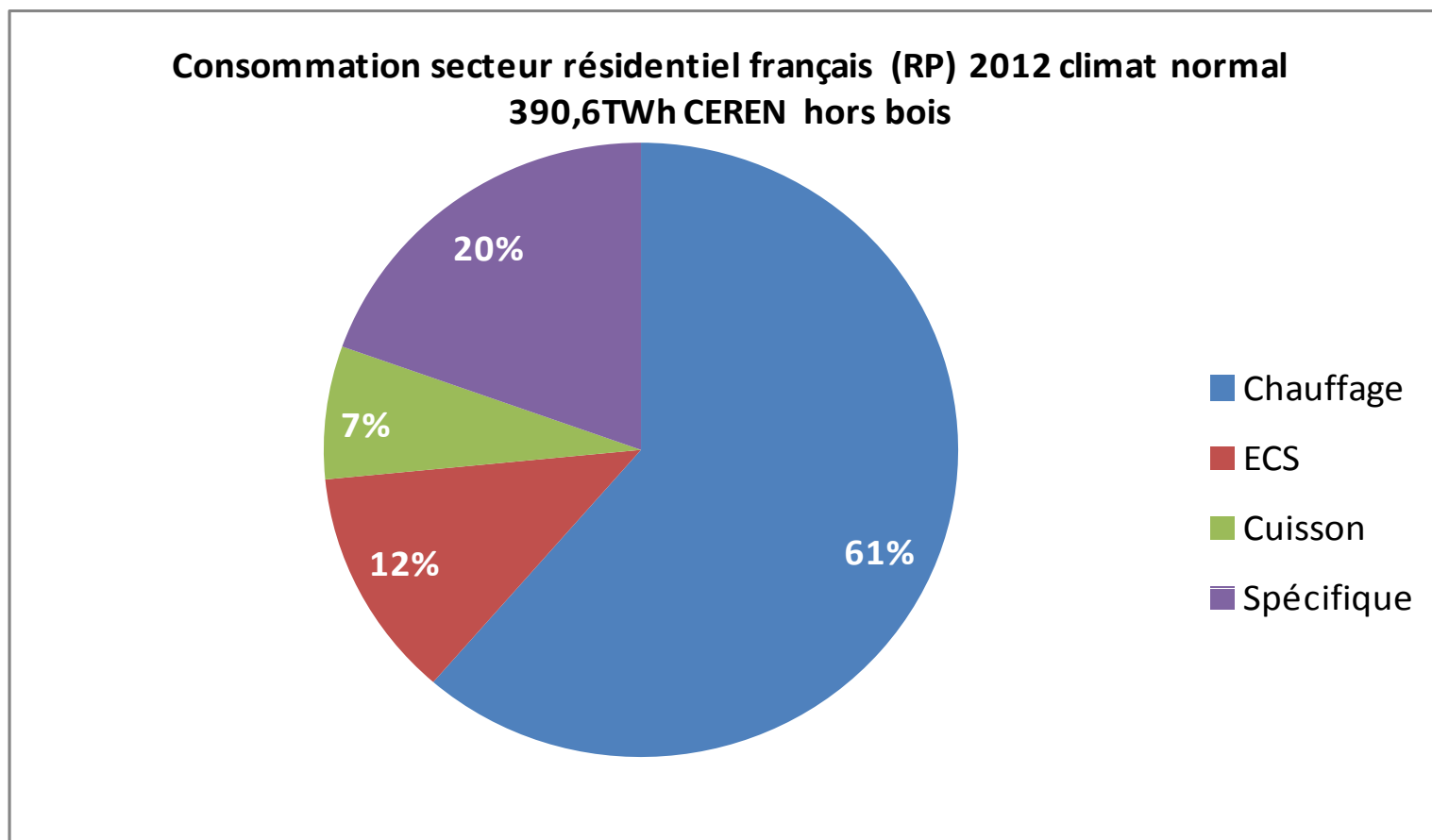
CONTEXTE ET
PROBLÉMATIQUE DU
SECTEUR RÉSIDENTIEL
FRANÇAIS

CONSOMMATIONS DE SECTEUR ÉNERGÉTIQUE FRANÇAIS PAR VECTEURS ÉNERGÉTIQUES

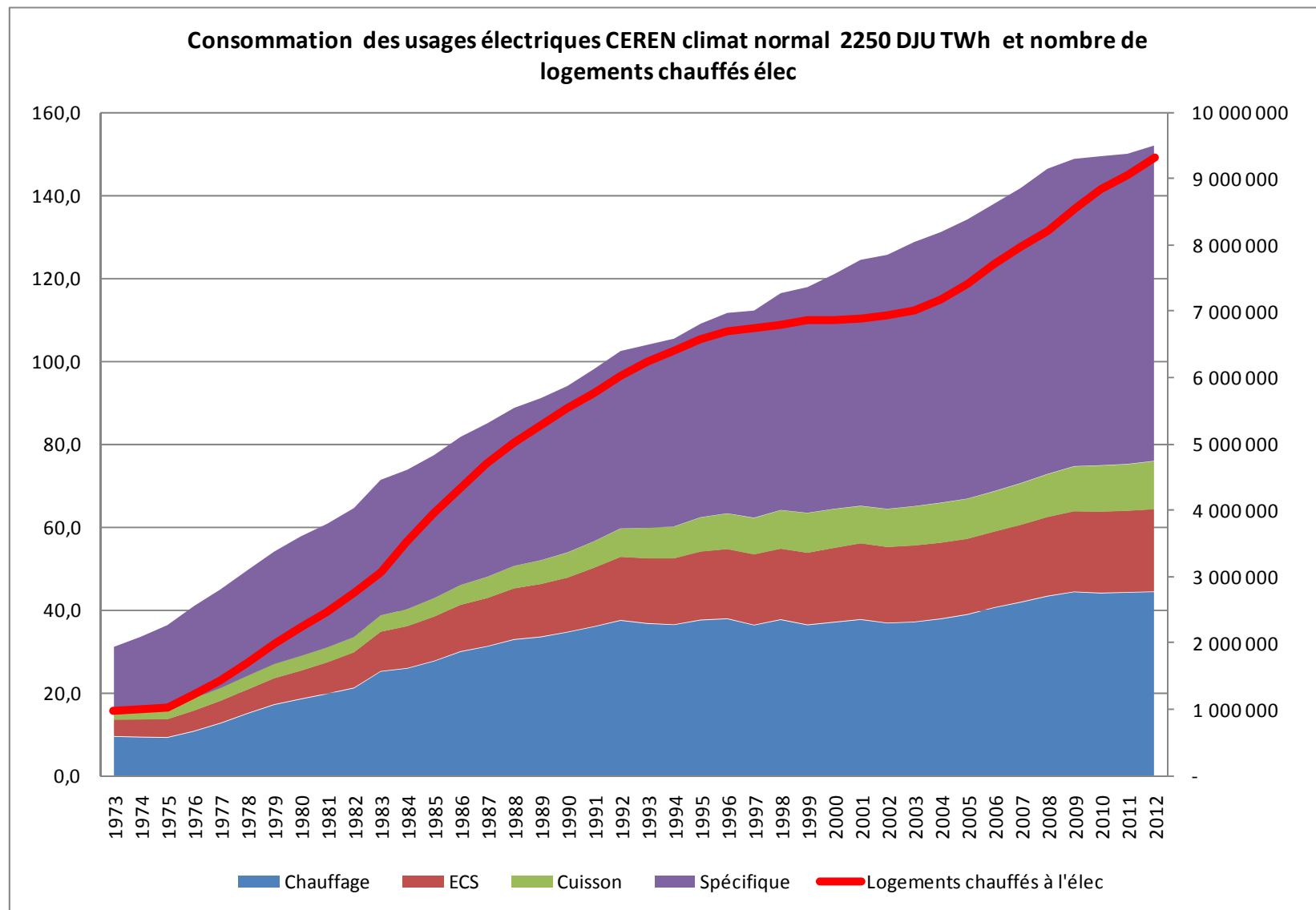
~ 29% de la consommation finale nationale transports compris



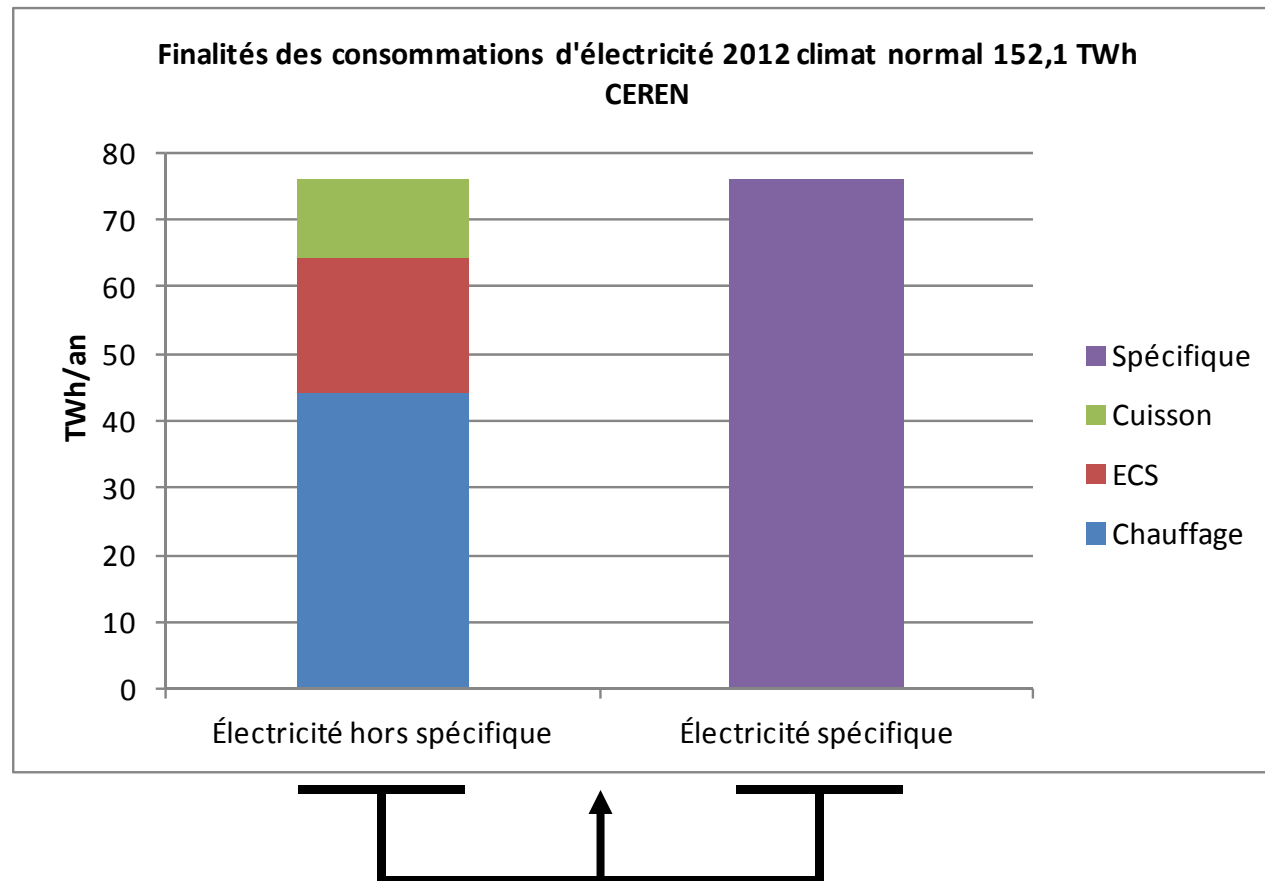
CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES DU SECTEUR RÉSIDENTIEL PAR USAGES



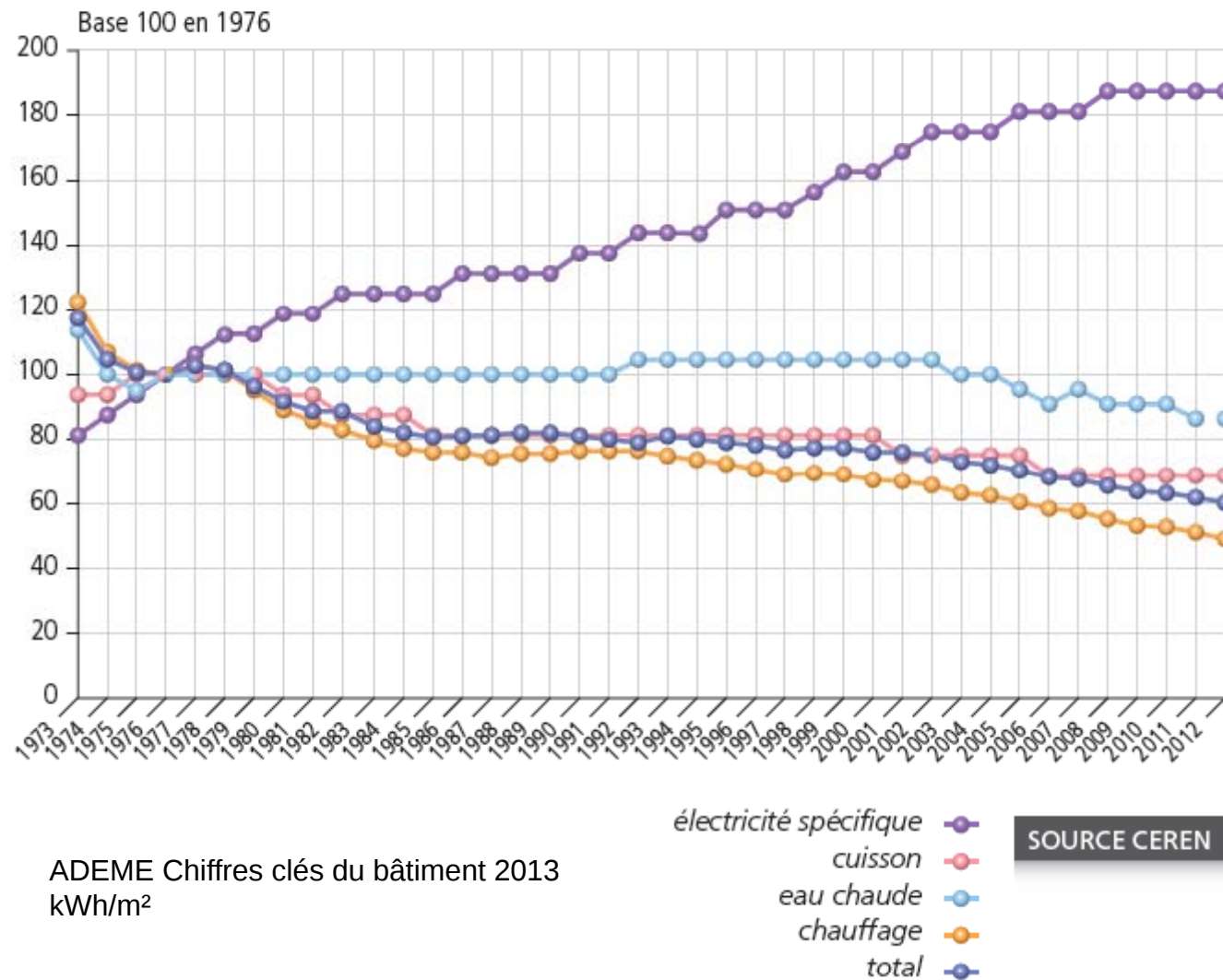
PROGRESSION DE LA CONSOMMATION RÉSIDENTIELLE PAR USAGES VS. NOMBRE DE LOGEMENTS CHAUFFÉS À L'ÉLECTRICITÉ



50% DE LA DEMANDE RÉSIDENTIELLE EN ÉLECTRICITÉ



ÉVOLUTION DES USAGES RÉSIDENTIELS FRANÇAIS

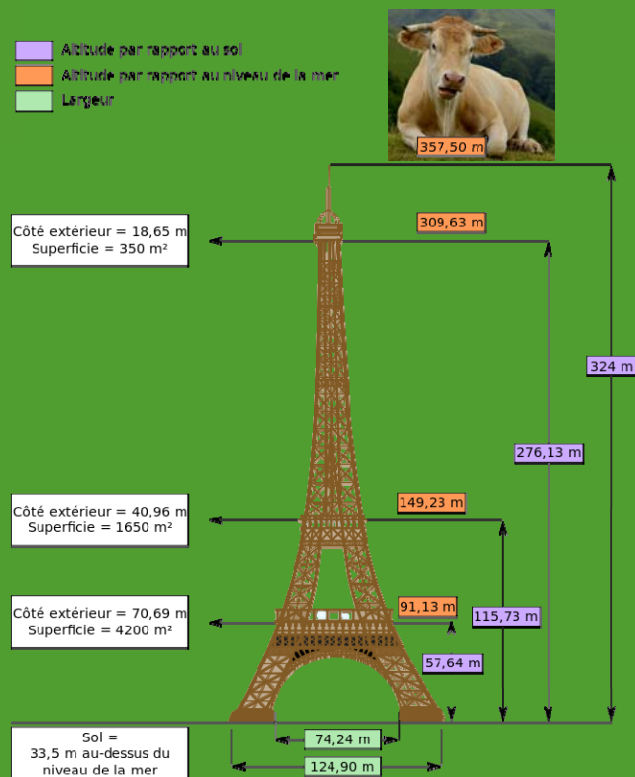


ADEME Chiffres clés du bâtiment 2013
kWh/m²



POINT
COMMUN ?

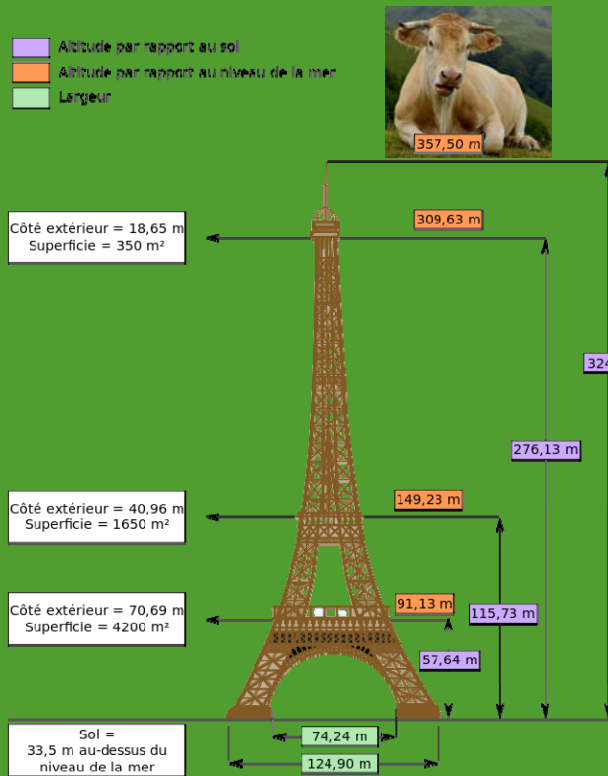




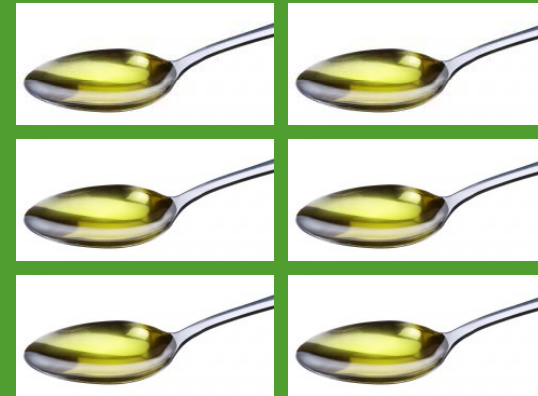
POINT COMMUN ?



1 tonne



POINT COMMUN ?



1 tonne



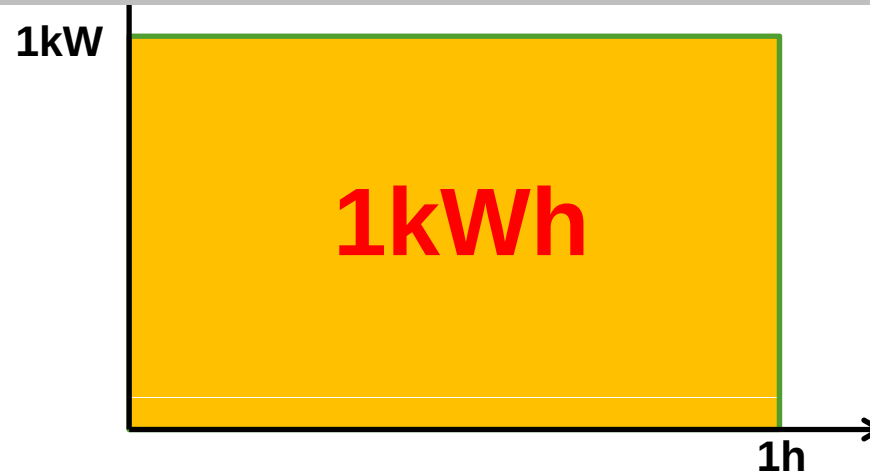
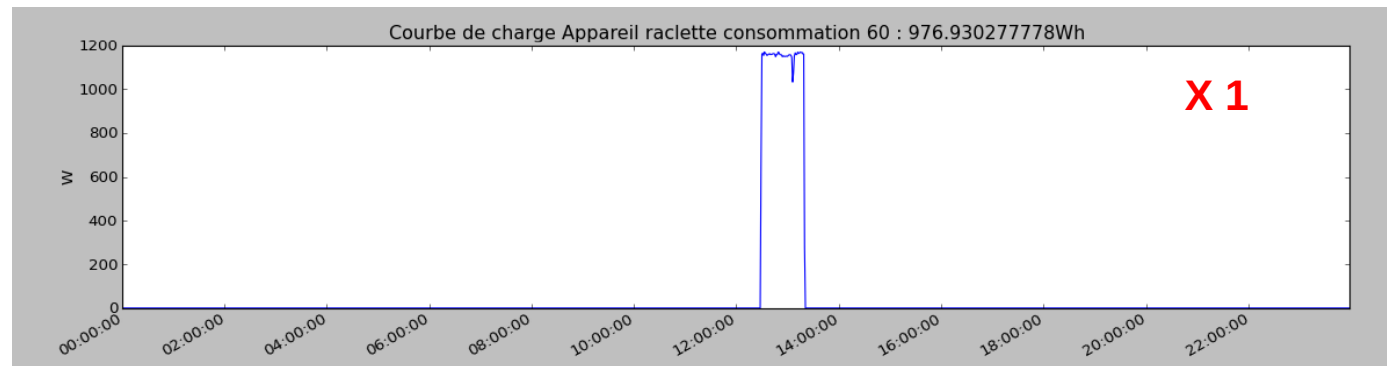
POINT COMMUN



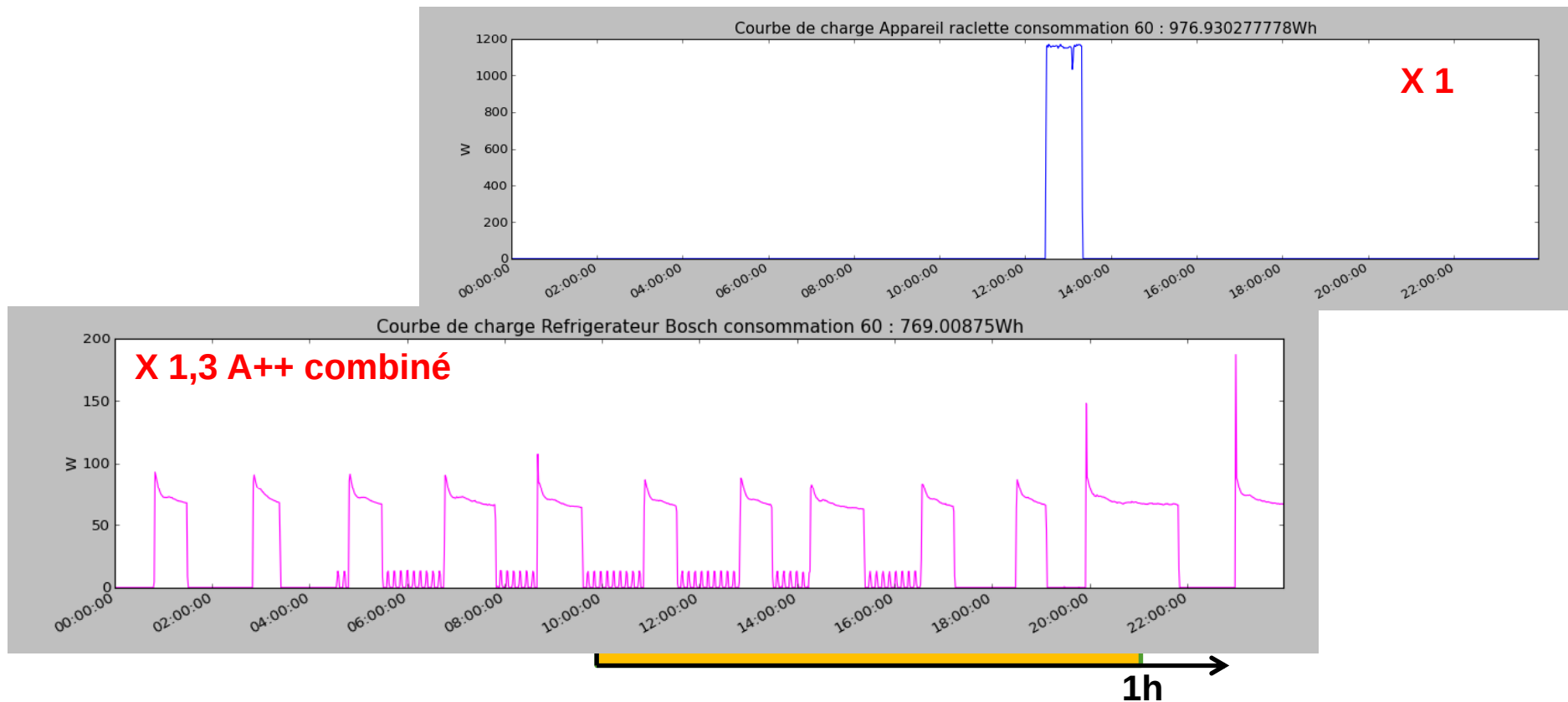


LA PUISSANCE:
INDISPENSABLE DIMENSION
TEMPORELLE

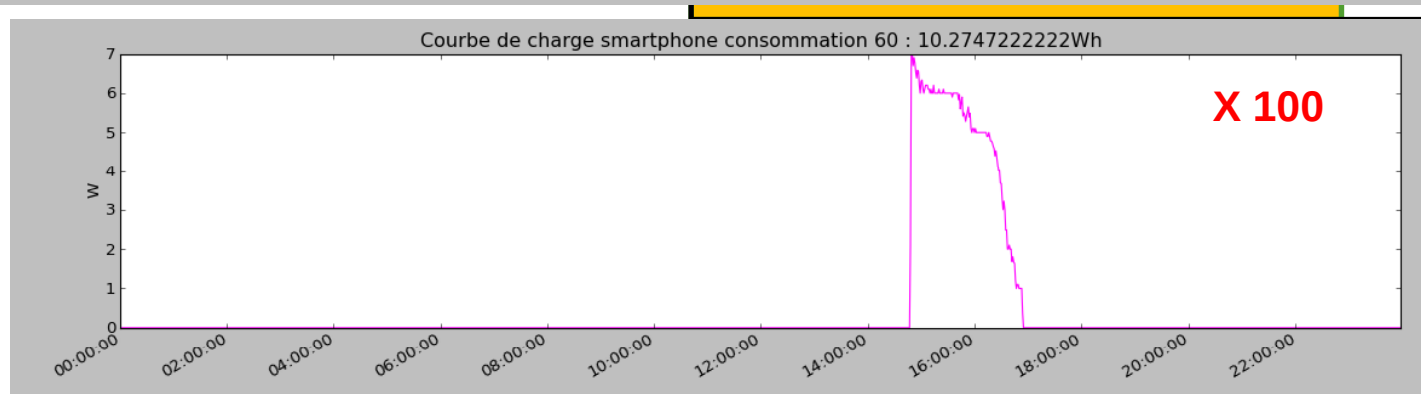
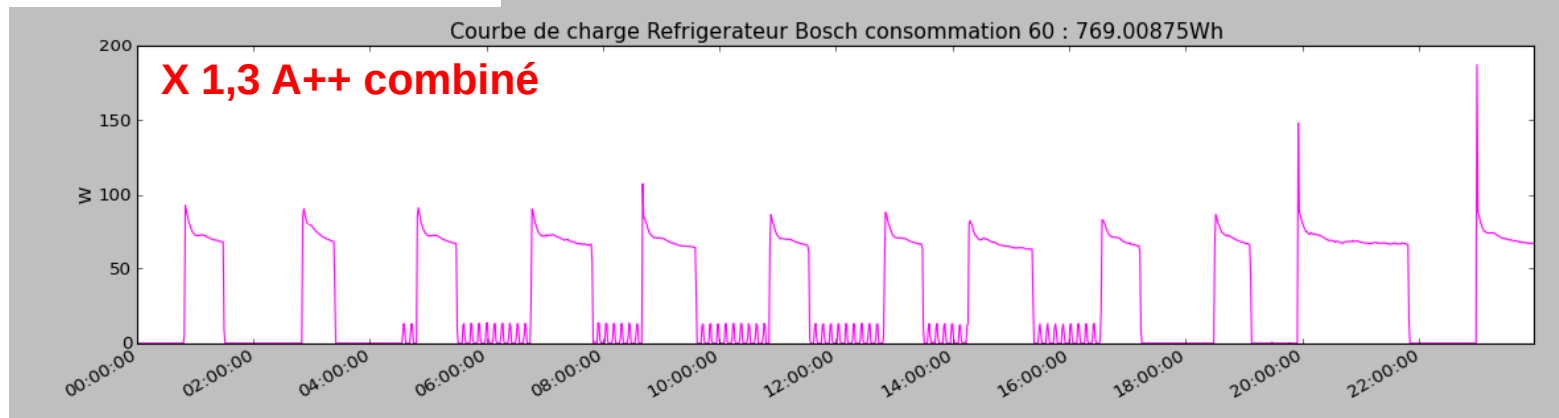
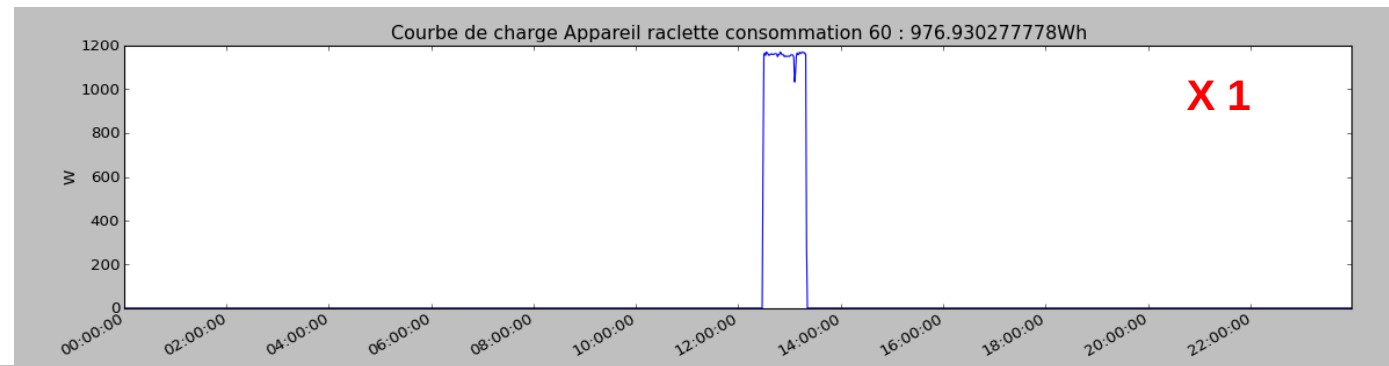
COMMENT L'ÉNERGIE EST CONSOMMÉE AU COURS DU TEMPS?



COMMENT L'ÉNERGIE EST CONSOMMÉE AU COURS DU TEMPS?



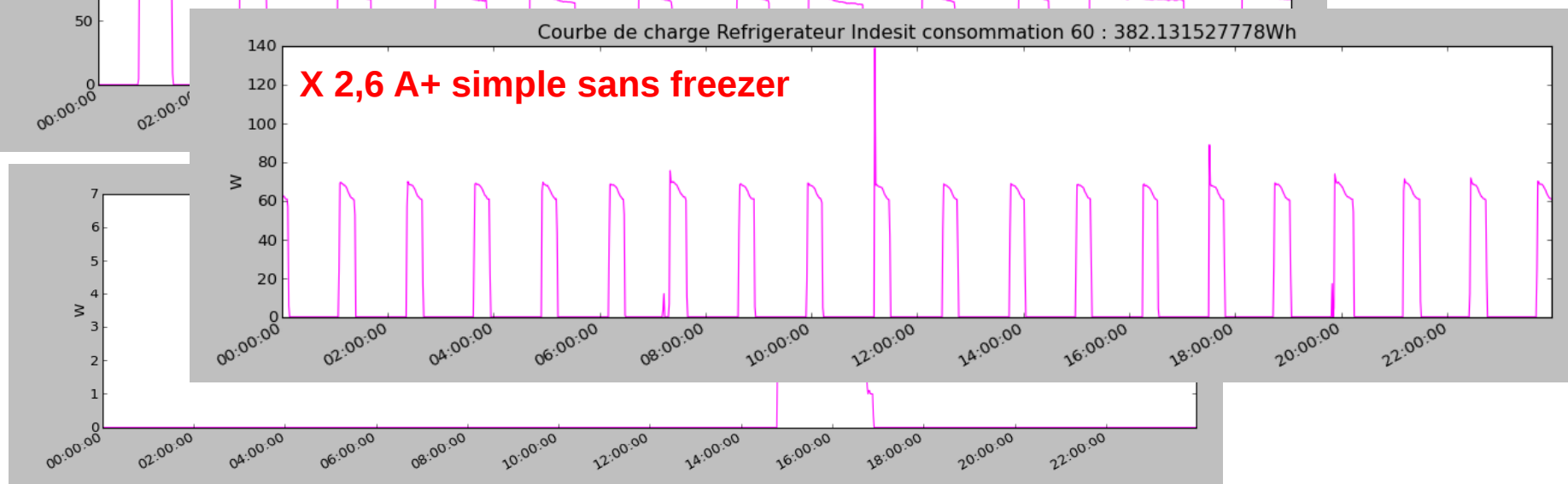
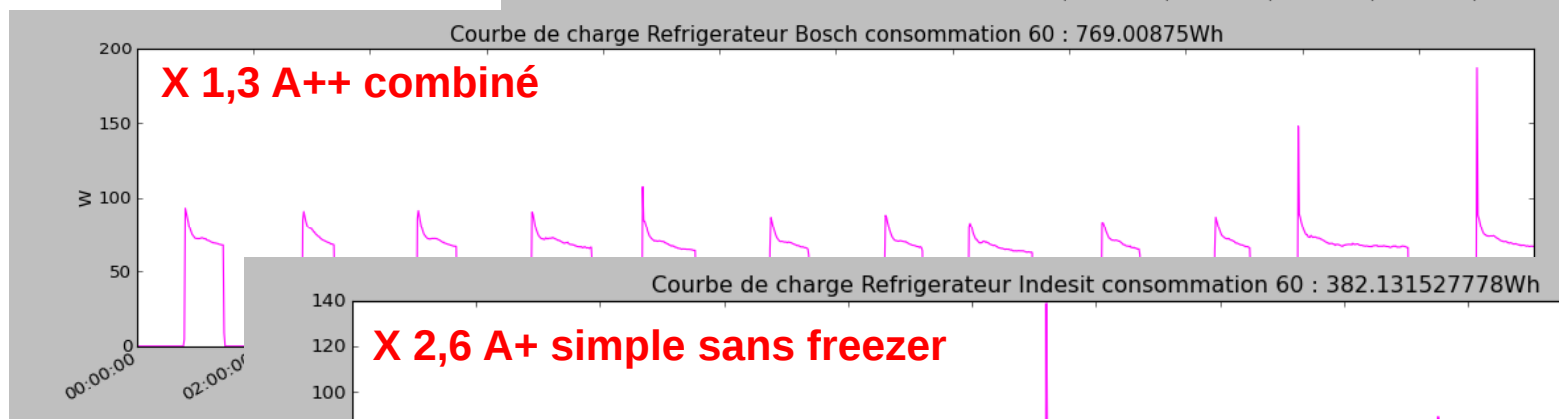
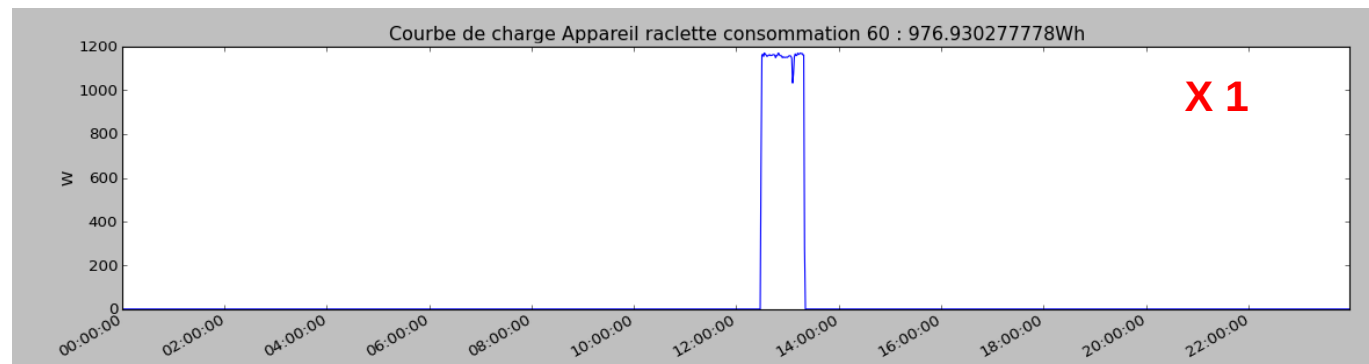
COMMENT L'ÉNERGIE EST CONSOMMÉE AU COURS DU TEMPS?



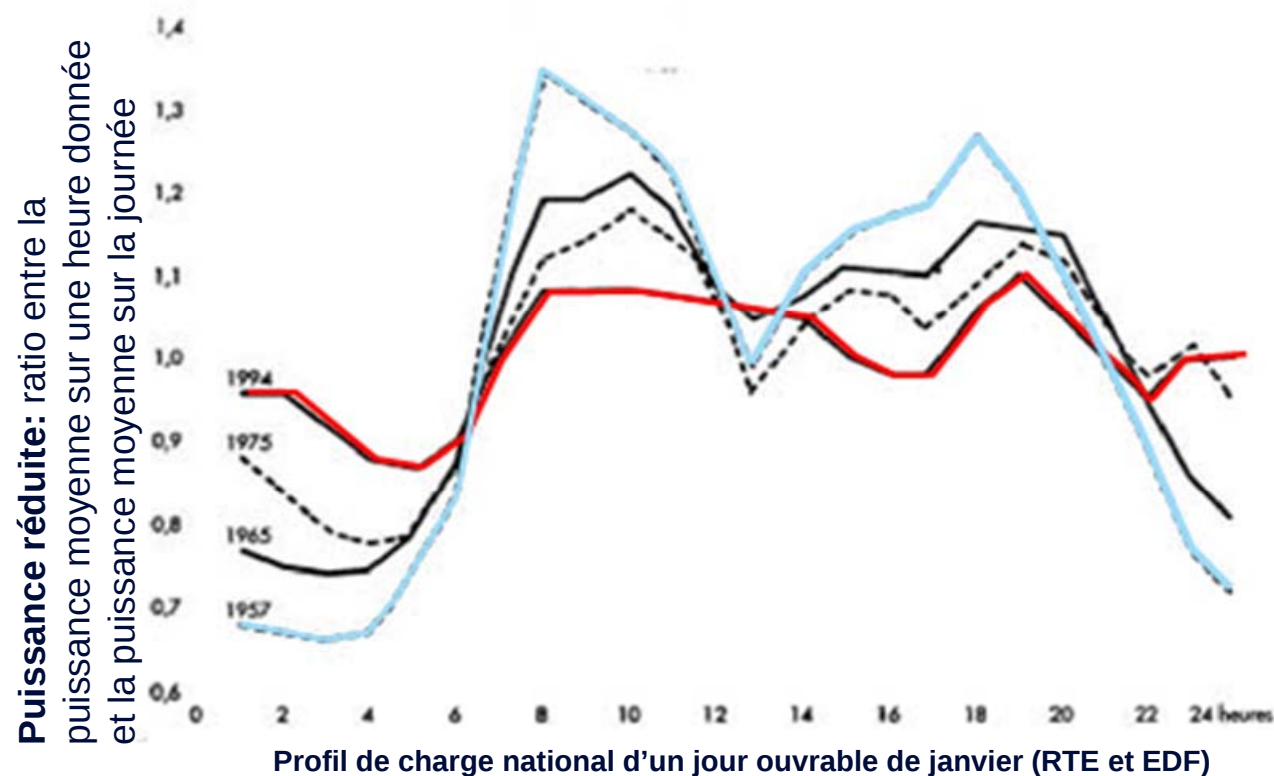
COMMENT L'ÉNERGIE EST CONSOMMÉE AU COURS DU TEMPS?

X 100 en énergie

X 157 en Pmax

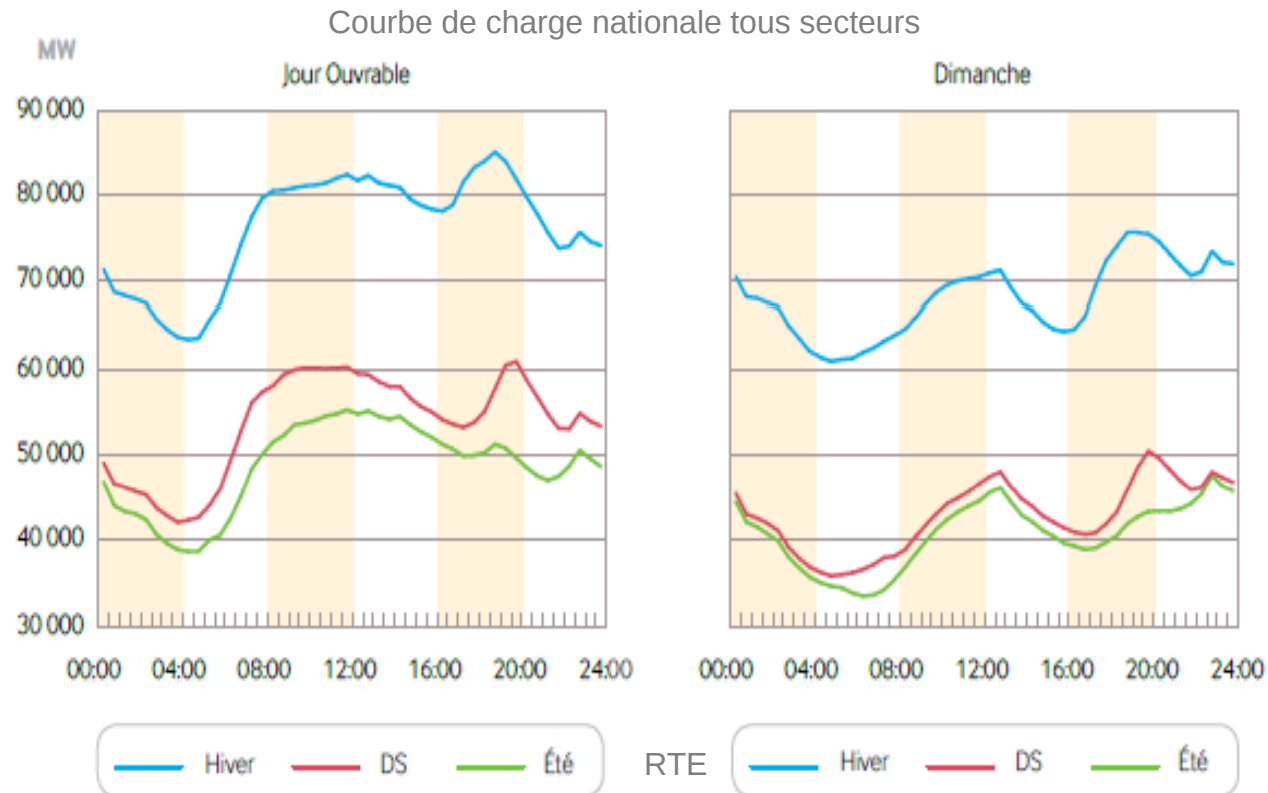


40 ANS DE PROFILS DE CHARGE



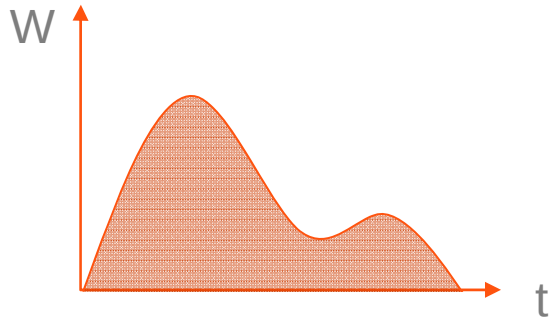
Structure tarifaire, accroissement des parcs, développement des usages, évolutions technologiques, modification des comportements ont contribué à **aplanir le profil journalier**

VARIABILITÉ SAISONNIÈRE VARIABILITÉ HEBDOMADAIRE



- Grande sensibilité de forme au type de **jour ouvrable** versus **dimanche**
- Grande sensibilité de niveau à la **saisonnalité**

POURQUOI RAISONNER EN PUISSANCE?



$$\text{kWh} = \int_t W$$

Raisonner en énergie n'est pas suffisant: La croissance de la puissance de pointe maximale est régulière, **+36%** depuis 2001 (record 101 700MW le 8/02/2012 à 19h)

Objectifs multiples (non exhaustif):

- **technique:** planification et dimensionnement du réseau
- **production:** investissement dans des moyens de pointe etc.
- **commercial:** éviter l'achat onéreux au moment des pointes
- **gestion du pilotage et des effacements:** estimer les potentiels mobilisables et leurs effets
- **optimisation des intermittences:** ENR, auto-consommation PV

Il n'existe pas de profil résidentiel mesuré

EXPLIQUER AUJOURD'HUI ET ANTICIPER LES RUPTURES À VENIR

Aucune méthode n'est éprouvée pour reconstituer la courbe de charge résidentielle:

- **Décomposée par usages:** part thermo-sensible (chauffage essentiellement), eau chaude sanitaire, cuisson, usages spécifiques (lavage, froid alimentaire, électronique de loisir etc.)
- **De façon non tendancielle:** utilisation systématique de données passées observées (panels, campagnes de mesures) déformées ou ajustées

Comment faire pour anticiper et prévoir les ruptures à venir au sein du secteur résidentiel?

EXPLIQUER AUJOURD'HUI ET ANTICIPER LES RUPTURES À VENIR

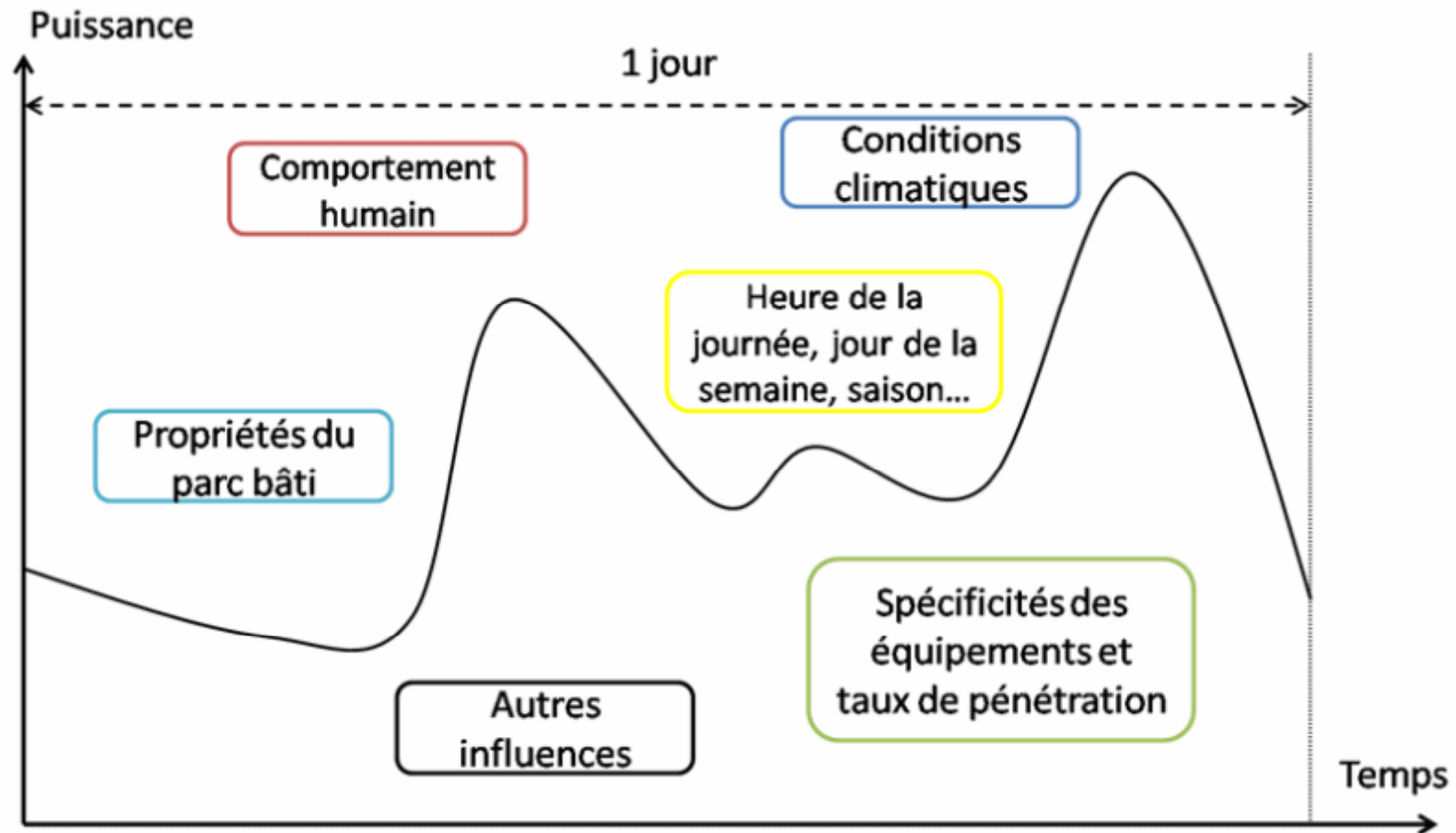
Un avenir de ruptures dans le secteur résidentiel

- **évolutions technologiques** (sèche-linge avec pompe à chaleur...)
- intégrations de **nouveaux usages** (véhicule électrique...)
- **modifications** des comportements humains, des habitudes de vie et des souhaits de confort
- Gestion à des **mailles de plus en plus fines** (quartier, ville)

La demande en puissance résidentielle sera le témoin de ces évolutions

Finalité: Pouvoir réaliser des études prospectives sur la courbe de charge d'un ensemble de logements

EXPLIQUER AUJOURD'HUI ET ANTICIPER LES RUPTURES À VENIR





QUELLE(S) MODÉLISATION(S)?

PROBLÉMATIQUE

Modéliser ces **ruptures** implique l'adoption d'une **vision unitaire**

Besoin d'une méthode de reconstitution de la courbe de charge électrique du secteur résidentiel:

- bottom-up
- techno-explicite
- évolutive

Résolutions de la méthode et champ d'application:

- **spatiale:** du ménage individuel à l'échelle nationale
- **temporelle:** calculs au pas infra-horaire adaptés aux fonctionnements des appareils
- **tous usages** et par différenciation entre équipements

APPROCHE BOTTOM-UP TECHNO-EXPLICITE

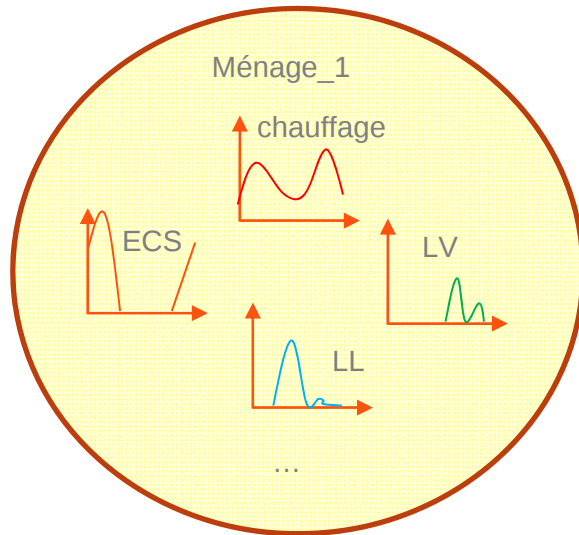
Nous **privilegions cette approche** a minima pour deux raisons fondamentales:

- Elle permet de **comprendre finement** la constitution et la construction de la courbe de charge et donc a fortiori la consommation énergétique
- Elle permet **d'anticiper des ruptures technologiques ou d'usages** dans des scénarios prospectifs ou de prévision, de **quantifier les effets de structures tarifaires...**

Cependant, cette approche est gourmande en données de mesures, de connaissance des ménages et des équipements.

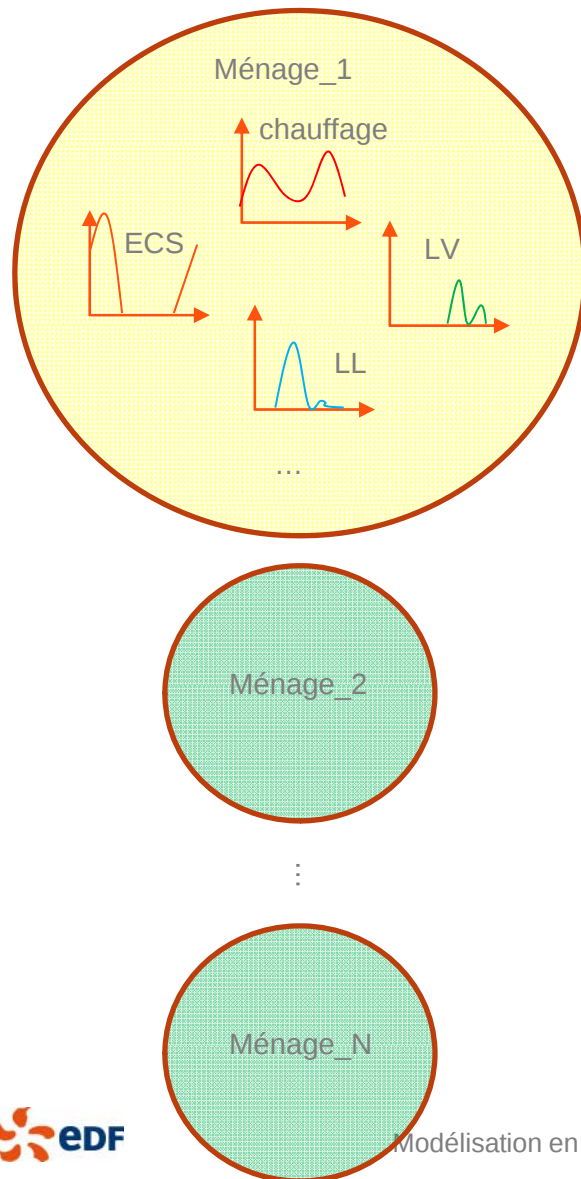
De plus, la simulation sur des populations de taille faible (quartier, poste source...) sont a priori critique.

MODÉLISATION BOTTOM-UP

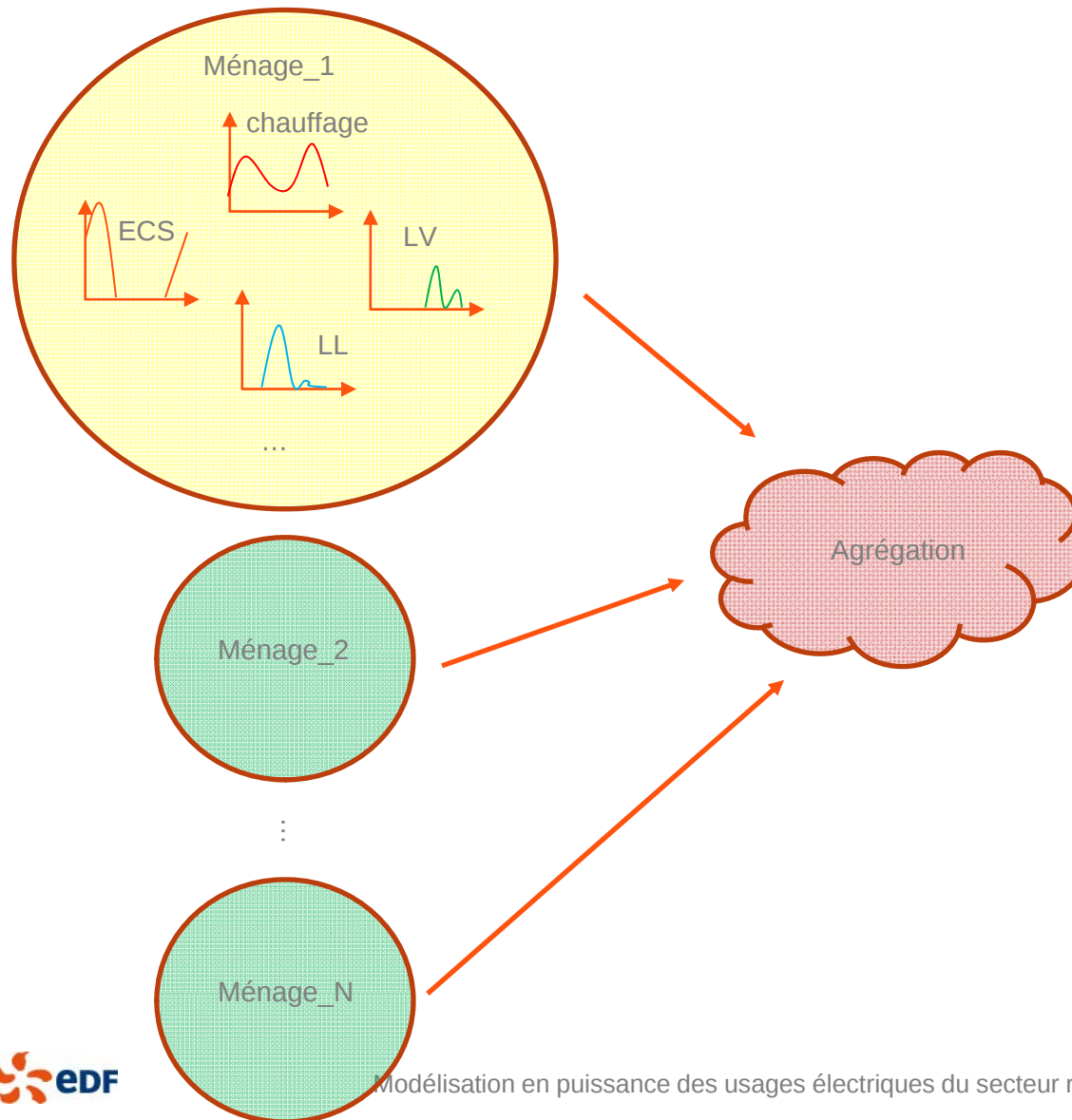


⋮

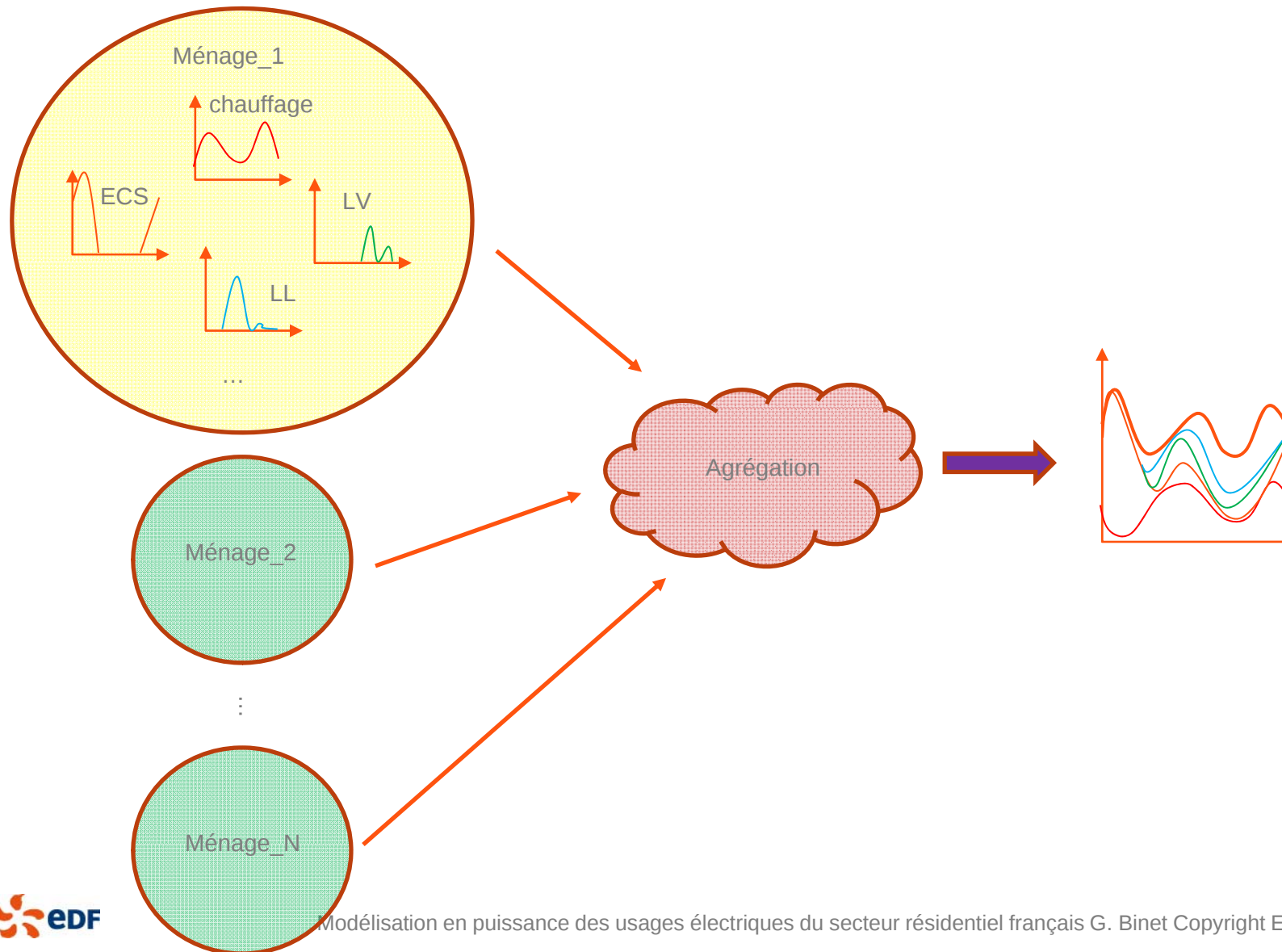
MODÉLISATION BOTTOM-UP



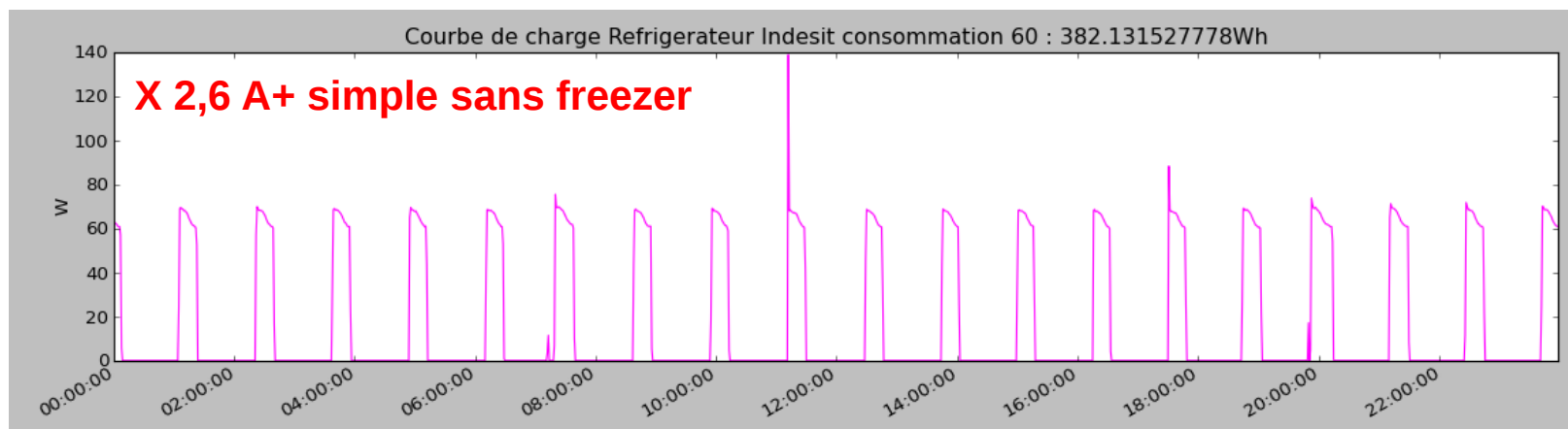
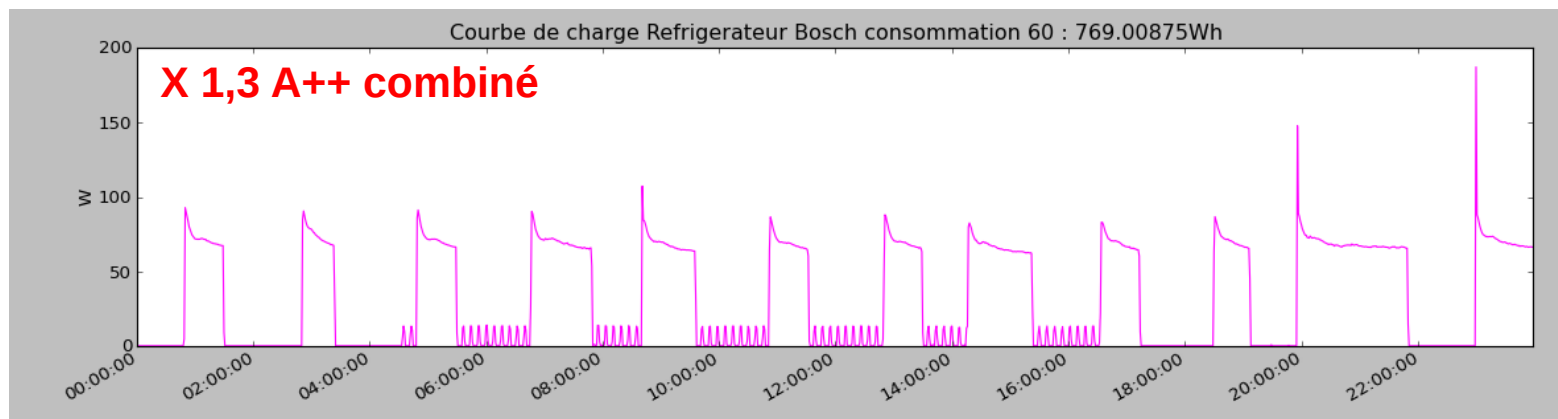
MODÉLISATION BOTTOM-UP



MODÉLISATION BOTTOM-UP



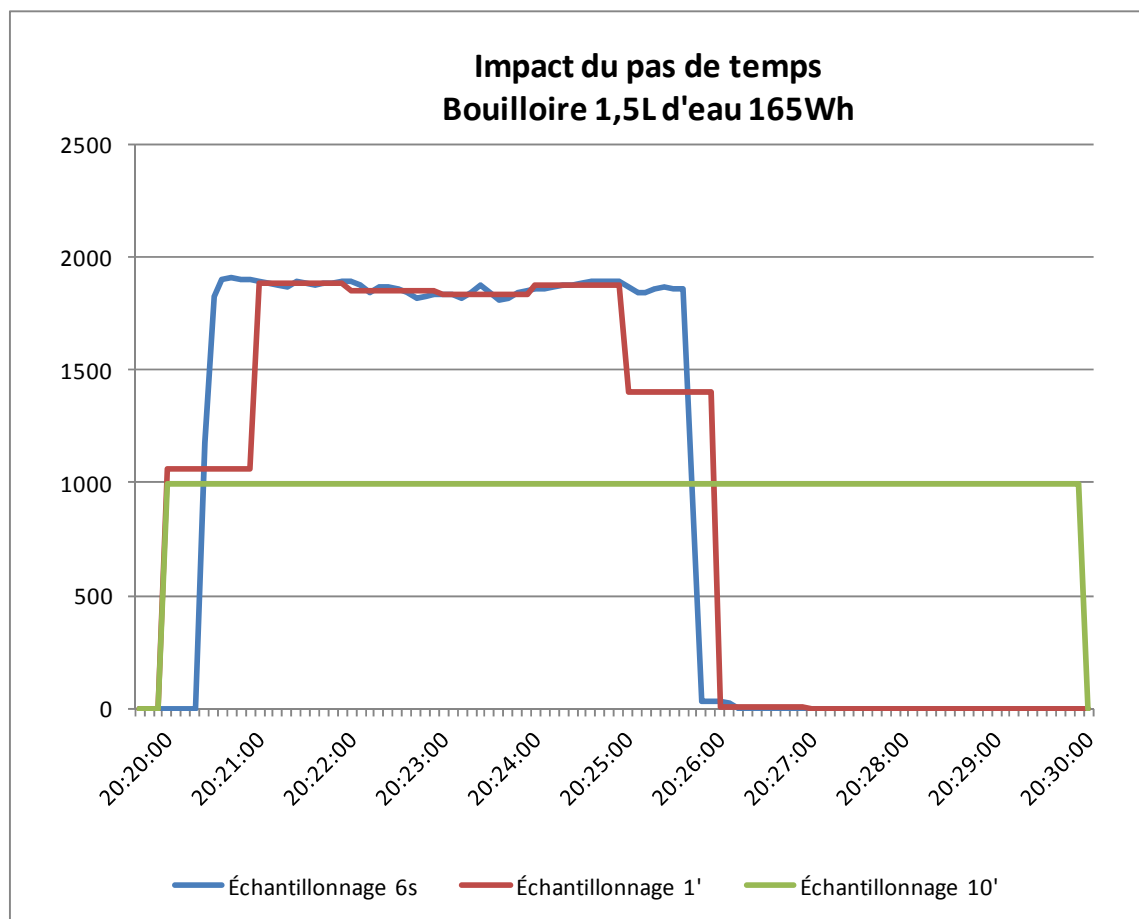
TECHNO-EXPLICITE



LES TROIS ENJEUX DE LA MODÉLISATION EN PUISSANCE

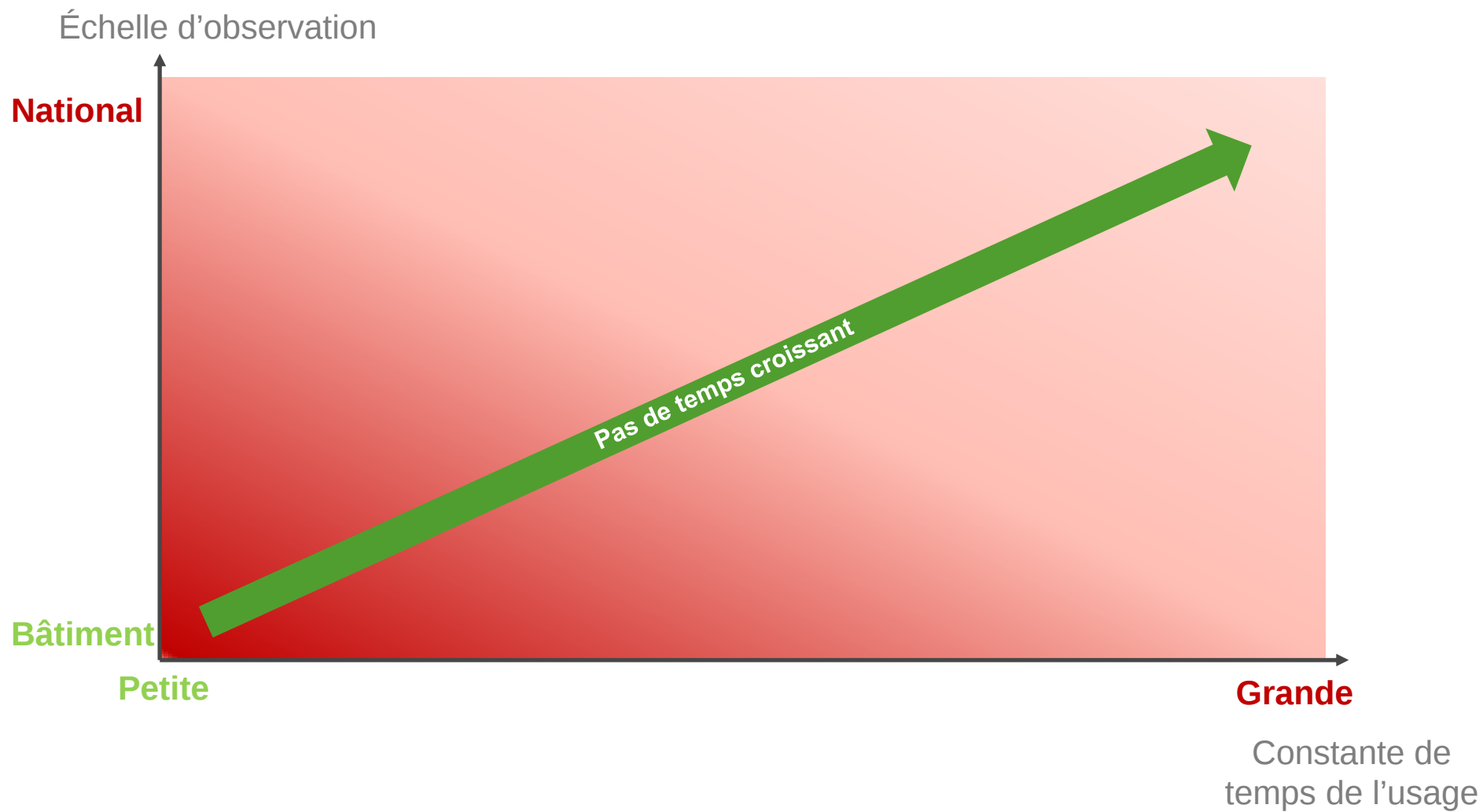
- Le **foisonnement (diversité)** est la traduction de l'ensemble des phénomènes qui conduisent à ce que personne ne fait la même chose au même moment, avec les mêmes équipements et de la même façon
- Le choix du **pas de temps**
- L'**échelle** de la modélisation

LE CHOIX DU PAS DE TEMPS



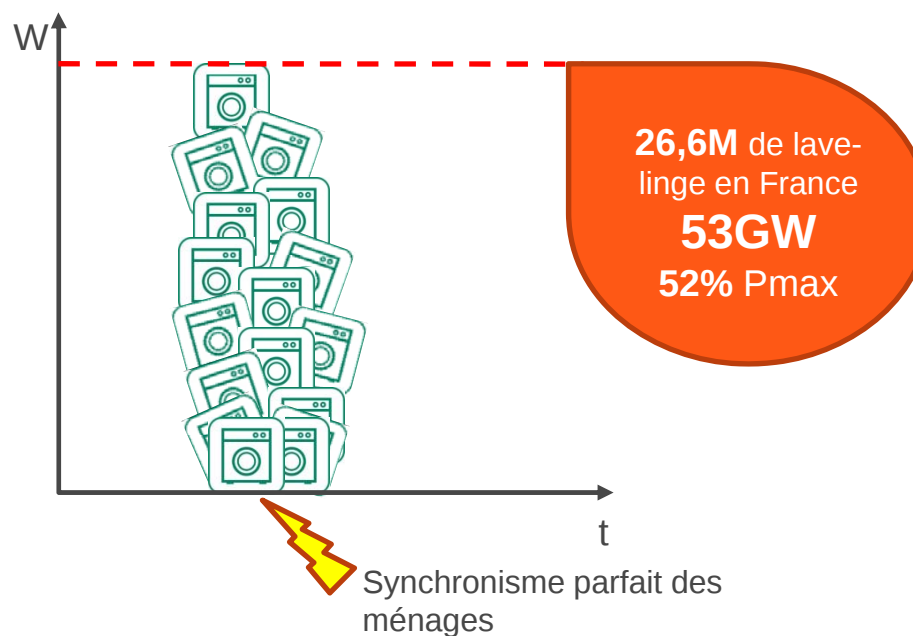
Pour ne pas donner une image erronée de la réalité en termes de puissance appelée, **le pas de temps doit être adapté à l'usage considéré**

L'ÉCHELLE DE MODÉLISATION



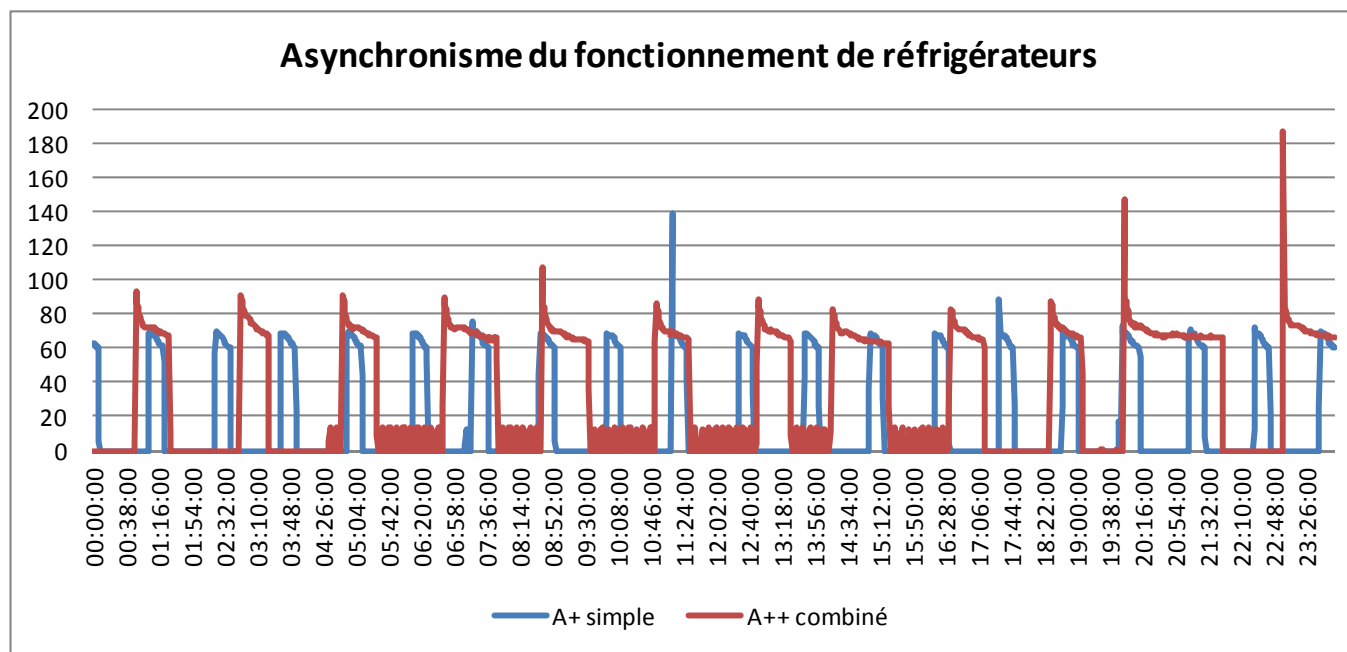
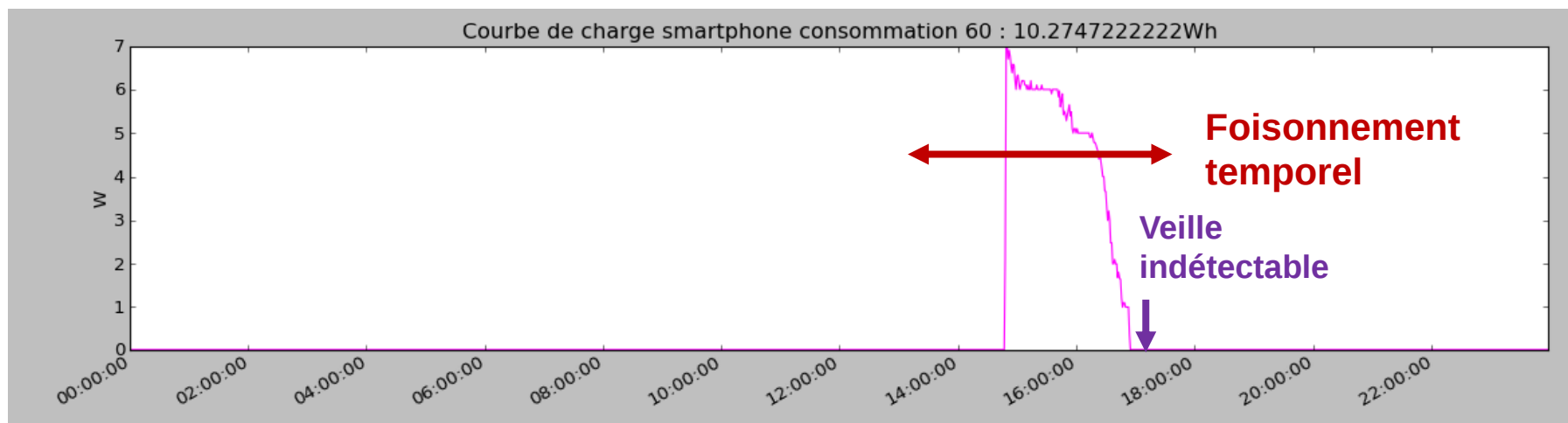
LES FOISONNEMENTS

Foisonnement du parc:



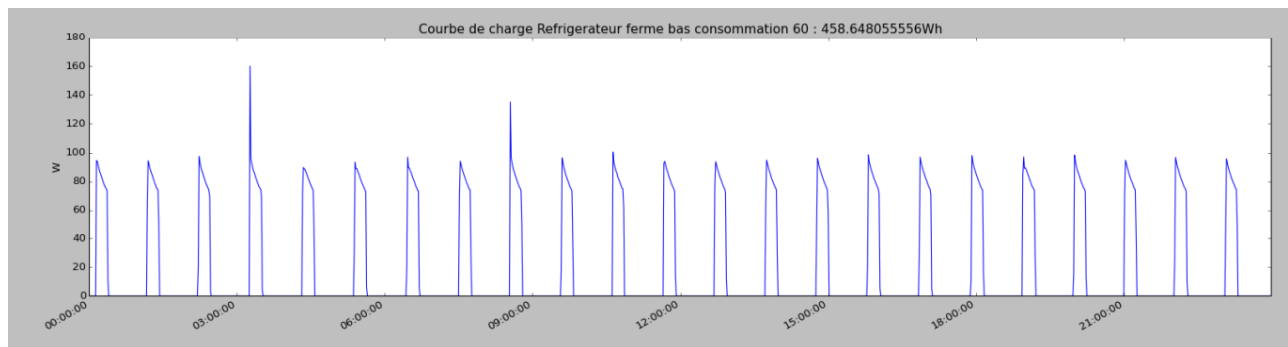
Le foisonnement naturel est ce qui « sauve » le système électrique...mais c'est le point dur des modélisations en puissance car a priori tout foisonne

LES FOISSONNEMENTS

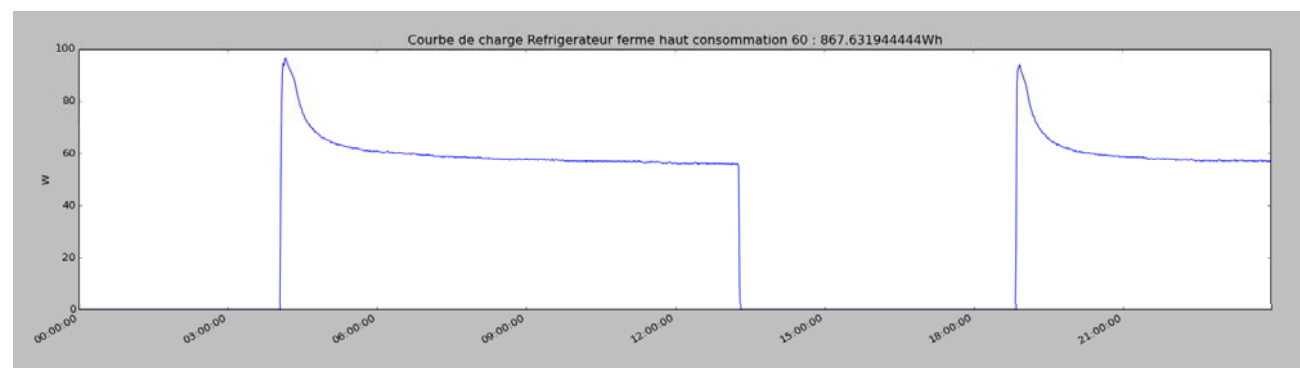
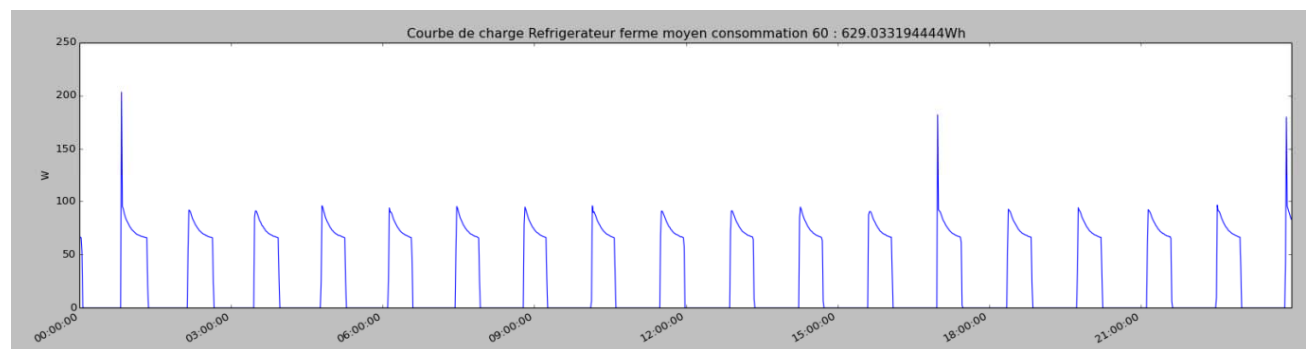


Foisonnement temporel et technique

LES FOISONNEMENTS

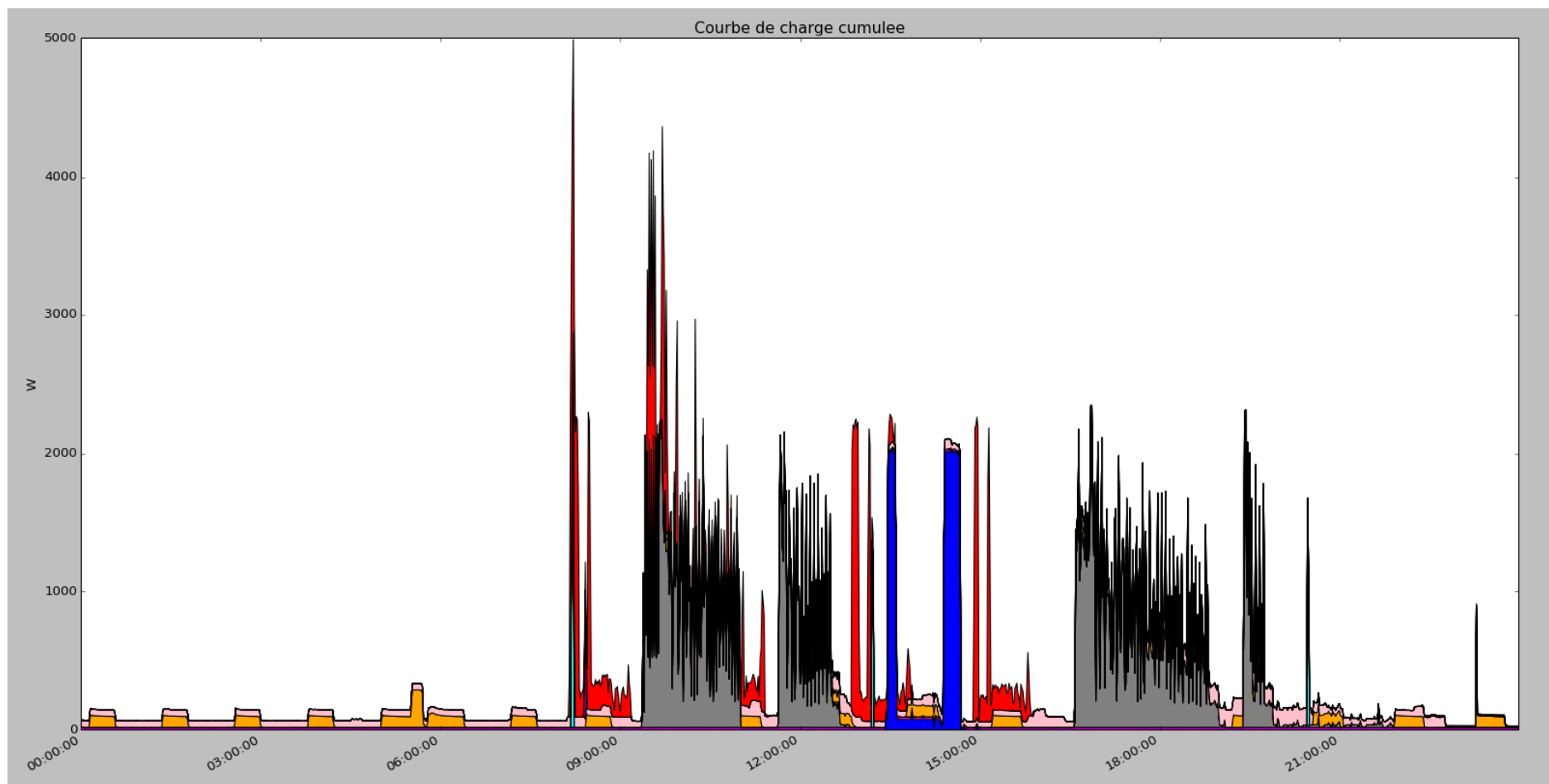


**Foisonnement
Comportemental**



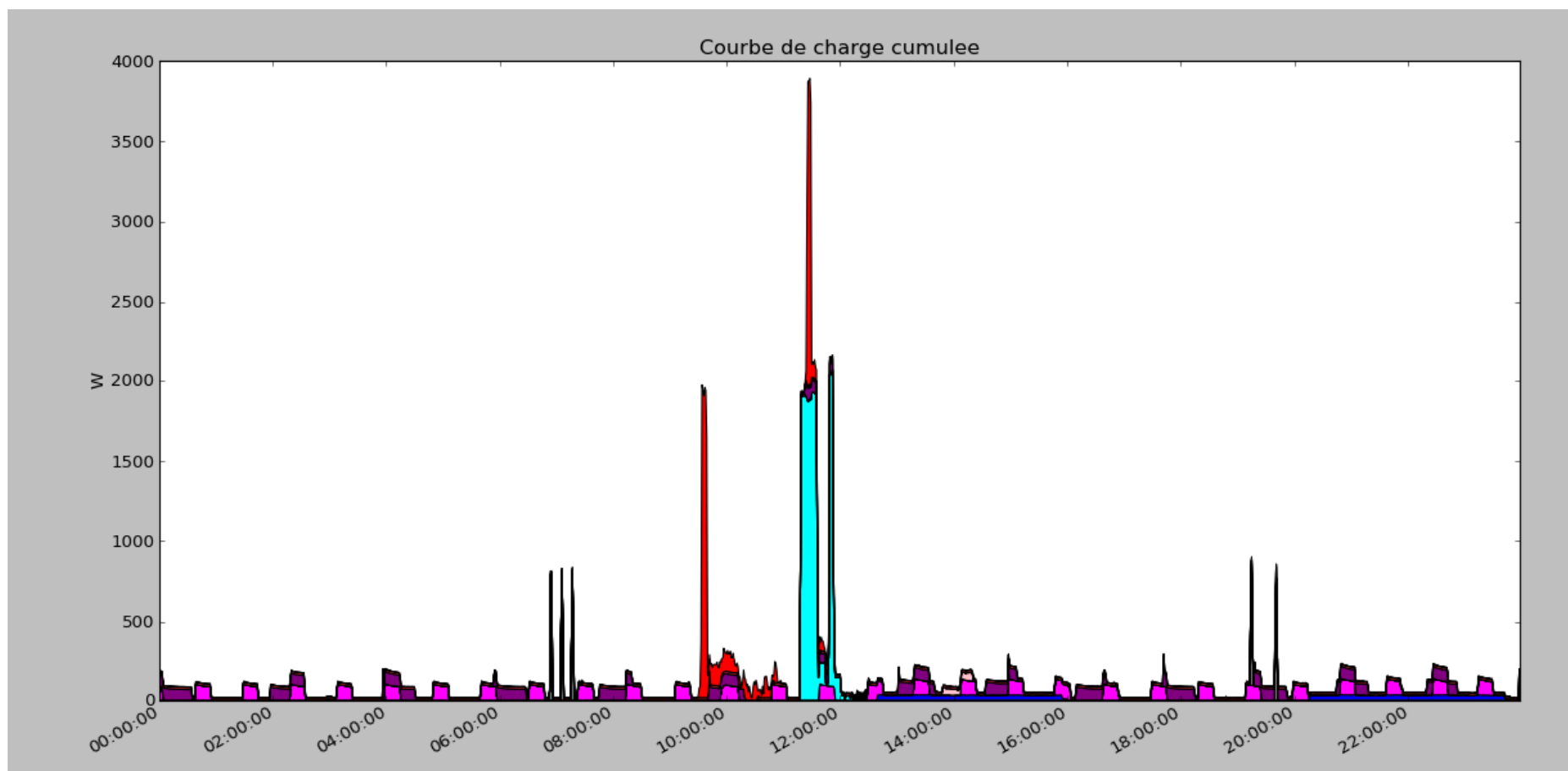
LES FOISONNEMENTS

Dans la vraie vie, il n'y a pas deux journées identiques...au sein d'un même ménage...et encore moins entre 2 ménages!



LES FOISONNEMENTS

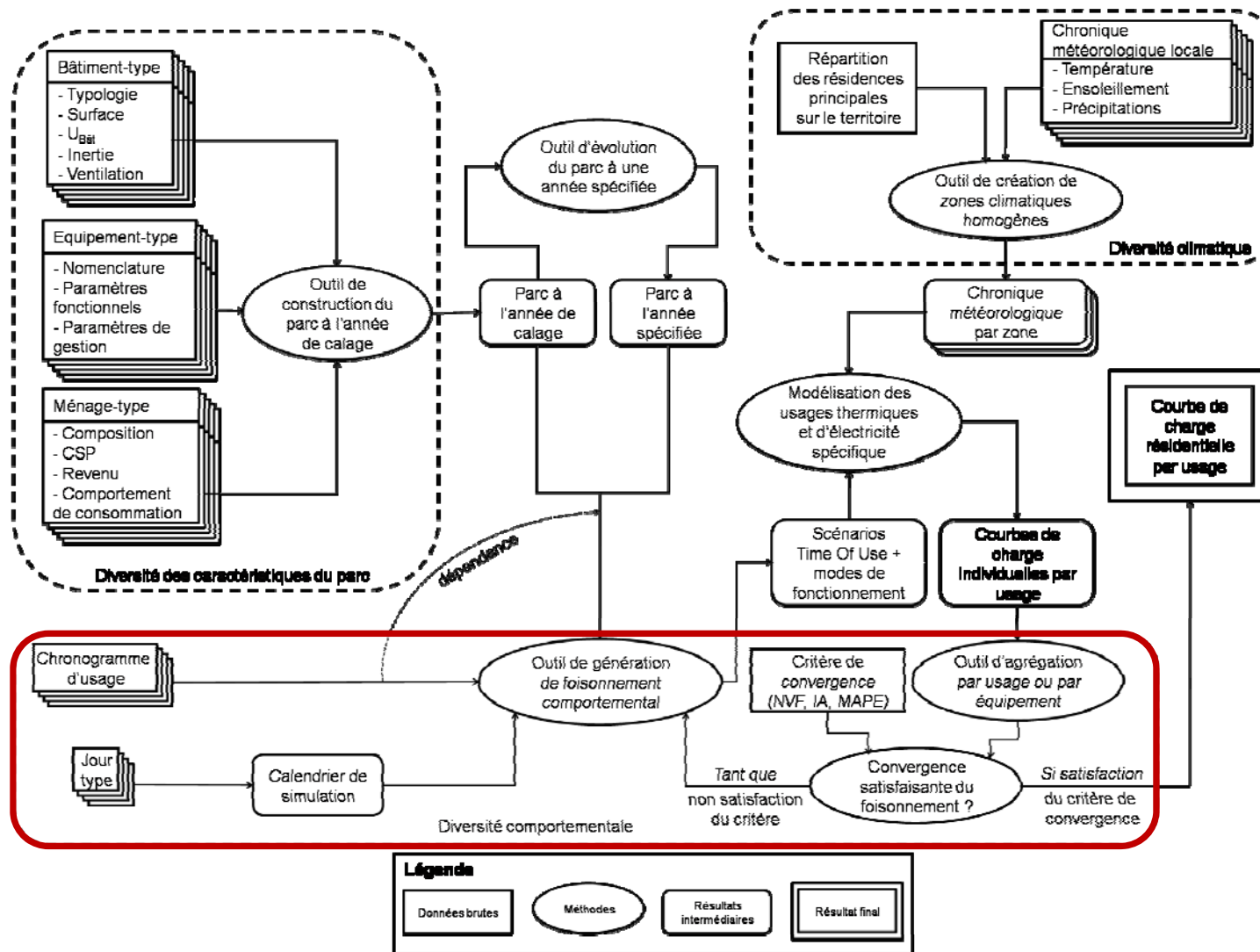
Dans la vraie vie, il n'y a pas deux journées identiques...au sein d'un même ménage...et encore moins entre 2 ménages!



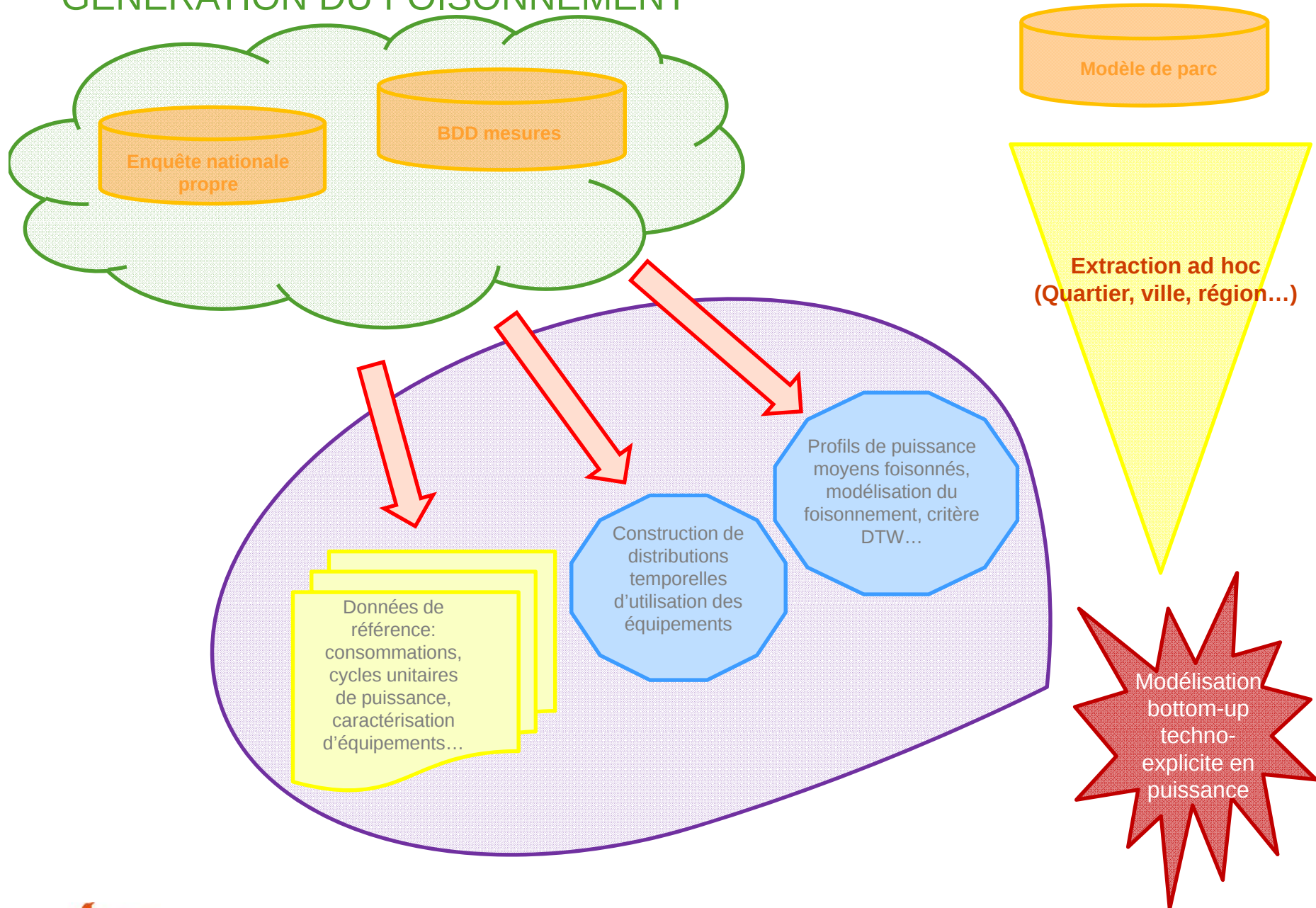
TOUT FOISONNE!

Technique	Comportemental	Socio-économique	Météorologie
Type d'équipement	Scénarios d'occupation	Composition du foyer	Température
Type de bâtiment	Scénarios d'activité	Revenu	Nébulosité

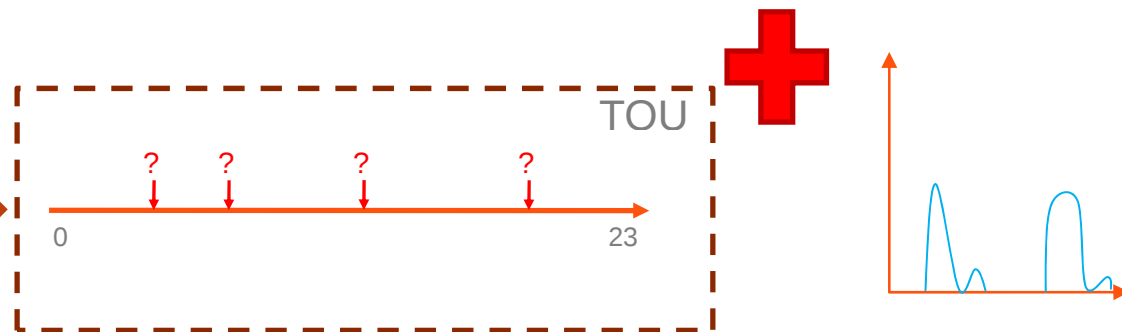
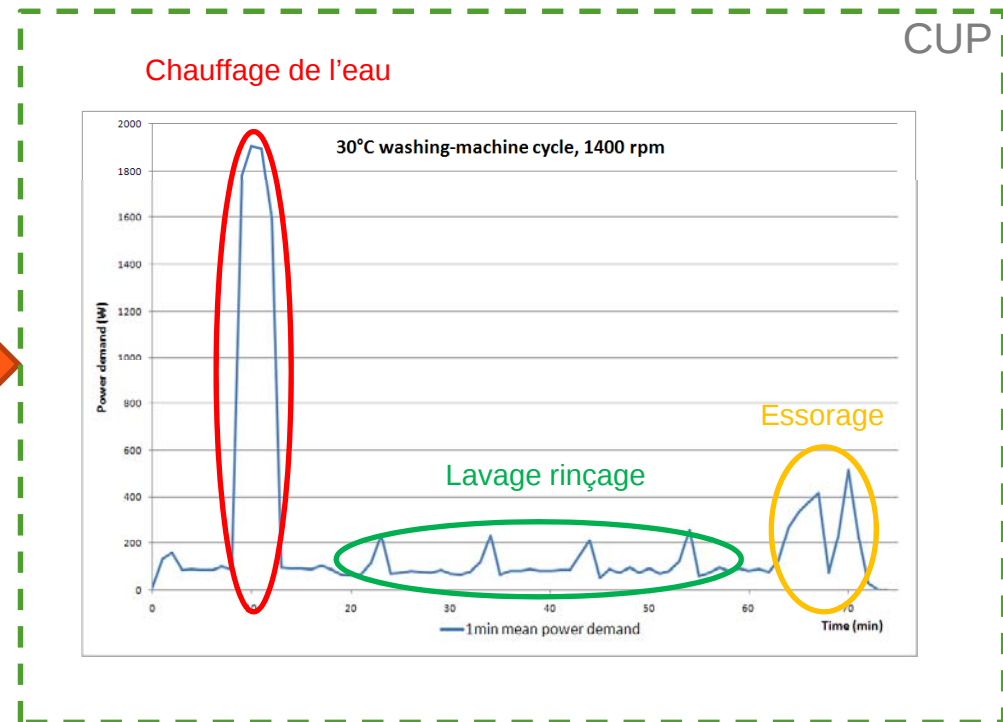
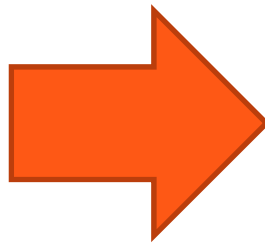
MÉTHODE DE RECONSTITUTION DE LA COURBE DE CHARGE



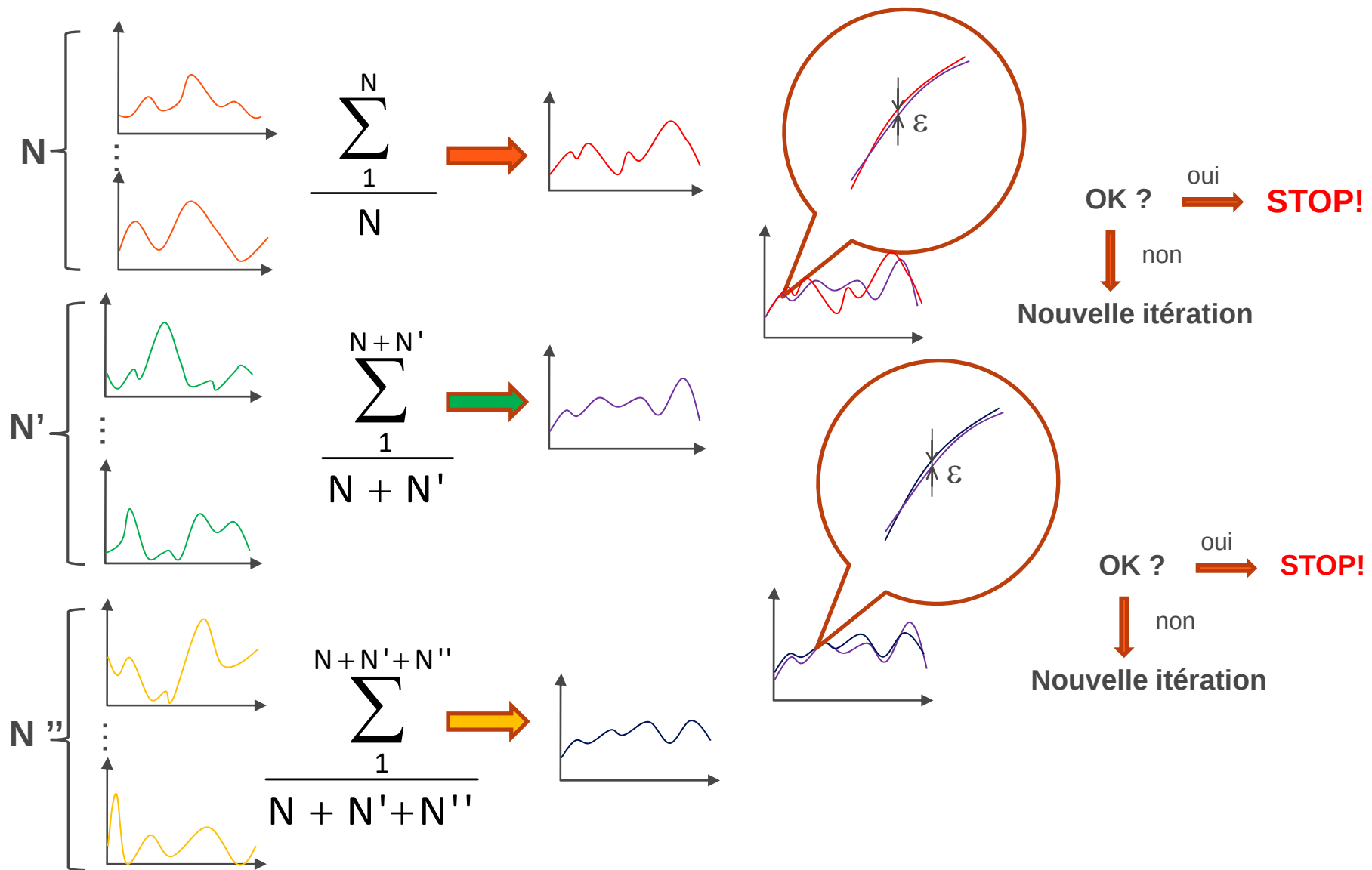
GÉNÉRATION DU FOISONNEMENT



RECONSTITUTION UNITAIRE PAR CYCLES UNITAIRES DE PUISSANCE (CUP): EXEMPLE DU LAVE-LINGE



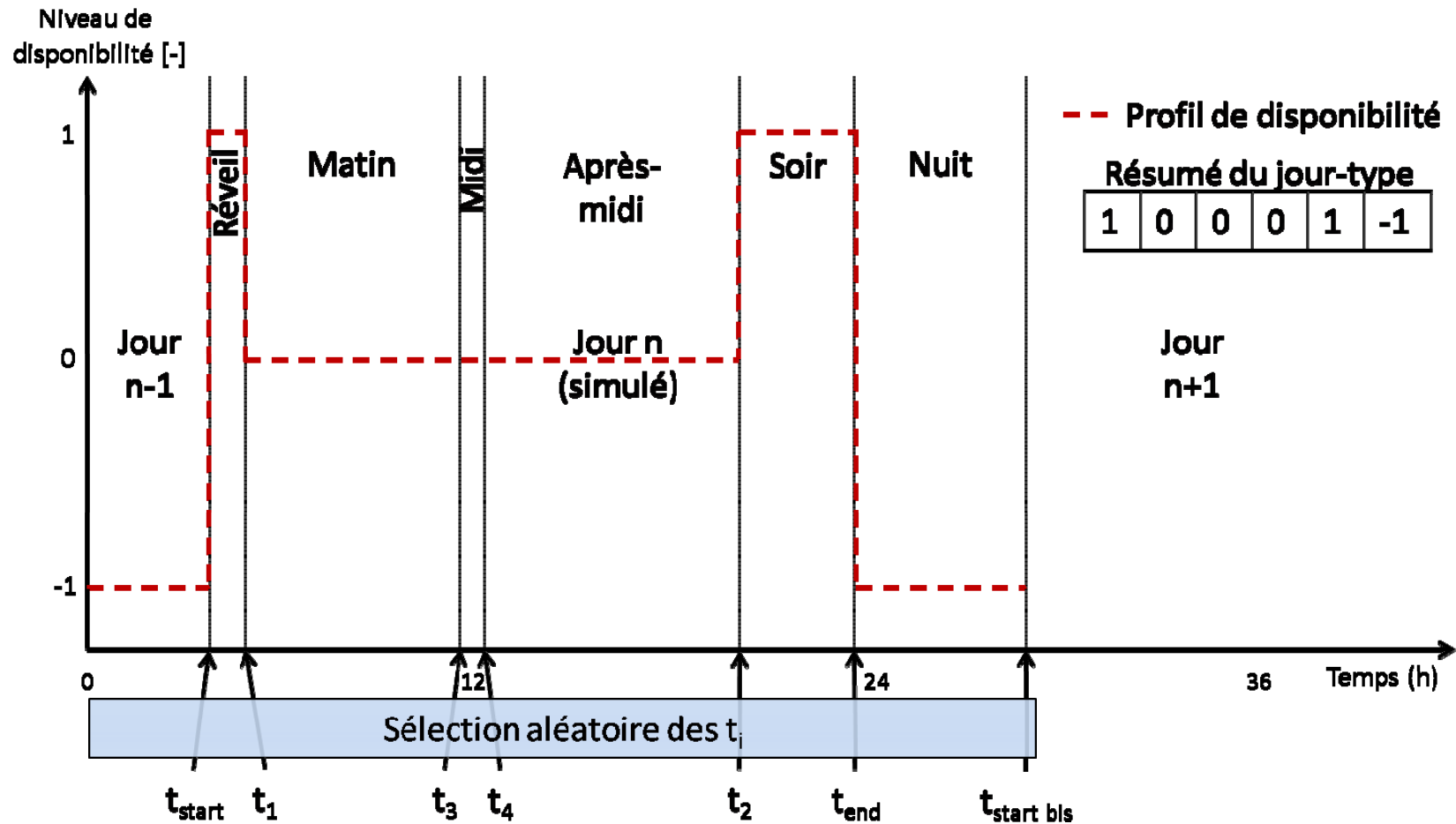
QUAND A-T-ON (SUFFISAMMENT) FOISONNÉ? CRITÈRE DE CONVERGENCE





DEUX EXEMPLES:
USAGES SPÉCIFIQUES
USAGES THERMIQUES

USAGES SPÉCIFIQUES - EXEMPLE DE GÉNÉRATION DE DIVERSITÉ COMPORTEMENTALE: STOCHASTIQUE CONTRAINT



USAGES SPÉCIFIQUES - EXEMPLE DE GÉNÉRATION DE DIVERSITÉ COMPORTEMENTALE: STOCHASTIQUE CONTRAINT

	PCR	HC	SO	LA	ED	TAD	LDRCM
Réveil	1	1	0	1	1	1	1
Matin	0	0	0	1	1	1	1
Midi	1	0	0	0	0	0	1
Après-midi	0	0	0	1	1	1	1
Soir	1	1	0	1	1	1	1
Nuit	0	0	1	0	0	0	0

PCR : Préparation culinaire et repas; **HC** :Hygiène Corporelle; **SO** : Sommeil; **LA** : Lavage; **ED** : Entretien Domestique; **TAD** : Travail A Domicile; **LDRCM** : Loisirs Détente Repos Communications Mobilité

USAGES SPÉCIFIQUES - EXEMPLE DE GÉNÉRATION DE DIVERSITÉ COMPORTEMENTALE: STOCHASTIQUE CONTRAINT

Pour chaque usage ou activité domestique

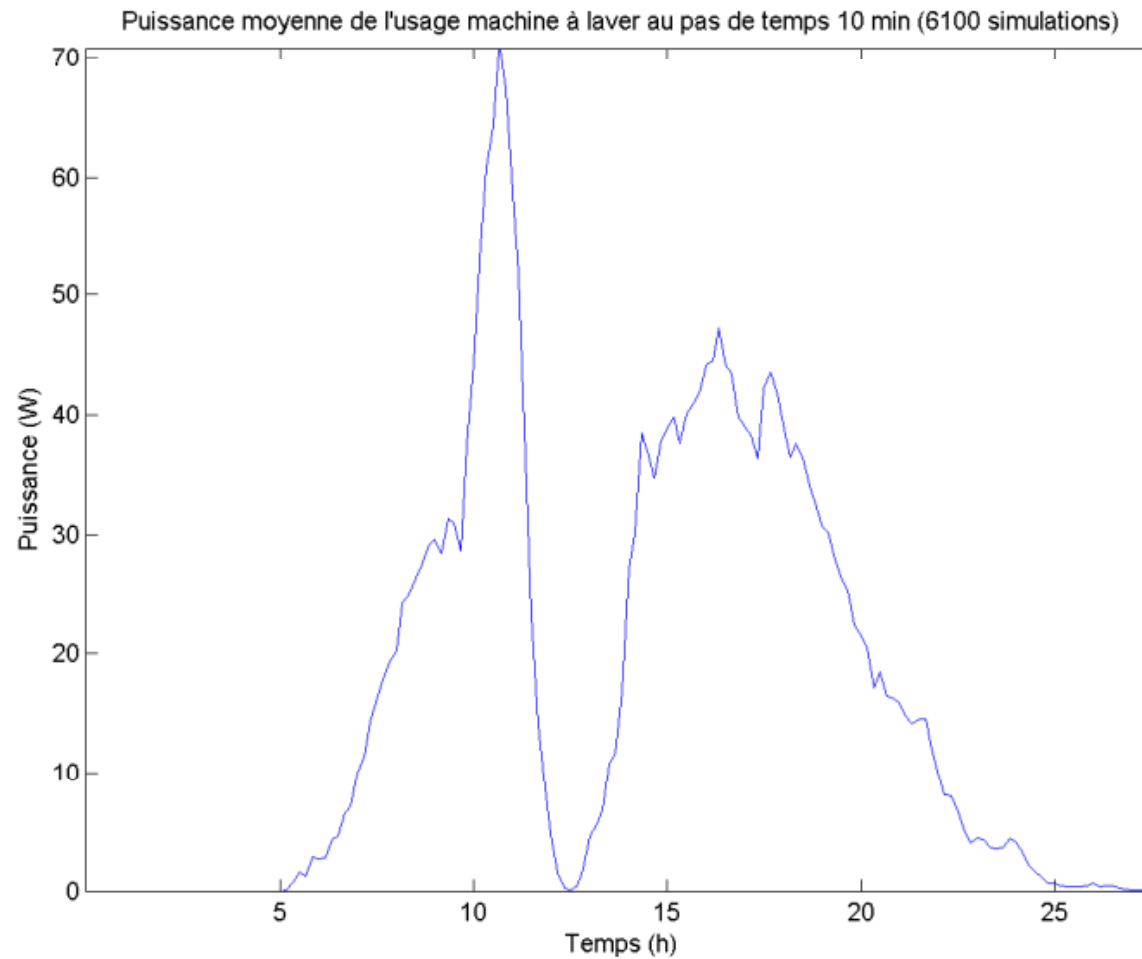
- Choix de l'intervalle infra-journalier le plus probable
- Choix d'un instant de déclenchement pour l'usage/activité dans cet intervalle

Prise en compte des autres usages/activités

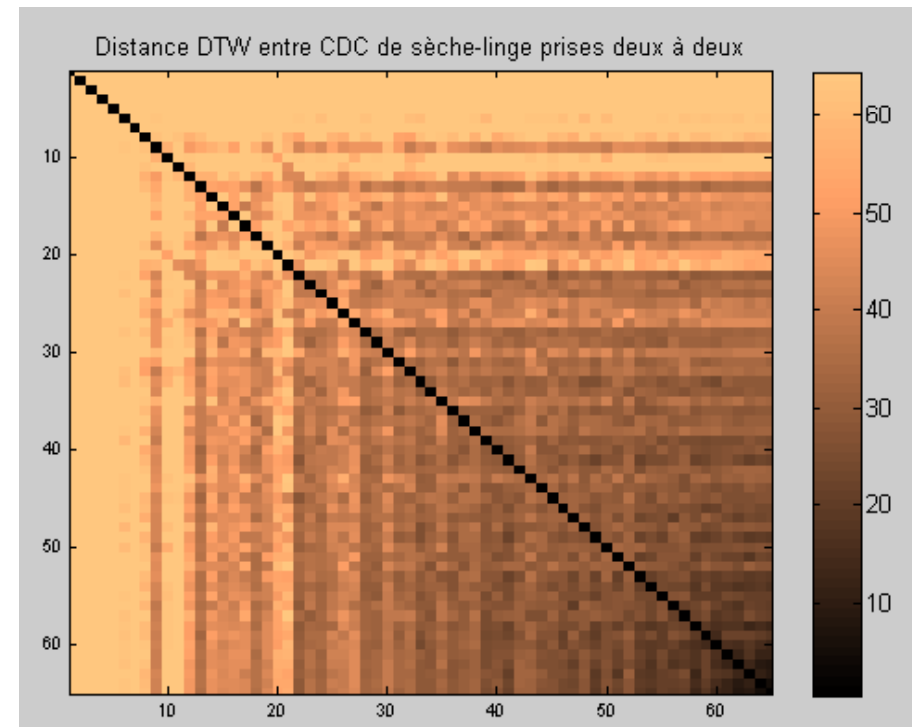
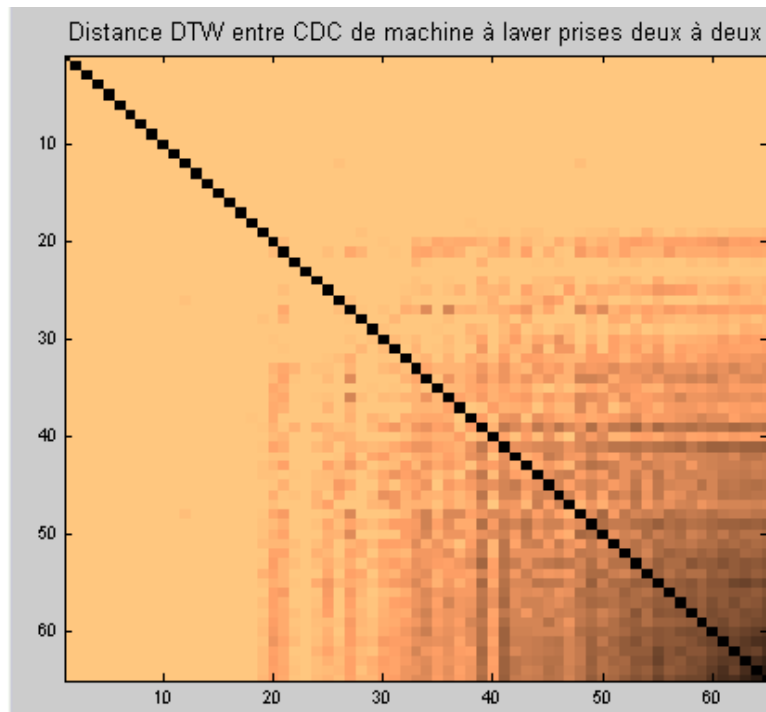
Prise en compte du scénario de présence des occupants à leur domicile

Calcul de la courbe de charge de chaque équipement modélisé tout au long de la simulation

USAGES SPÉCIFIQUES - OBSERVATION DE L'OBTENTION DU FOISONNEMENT



USAGES SPÉCIFIQUES - CRITÈRE D'OBTENTION DU FOISONNEMENT: DYNAMIC TIME WARPING (DTW)

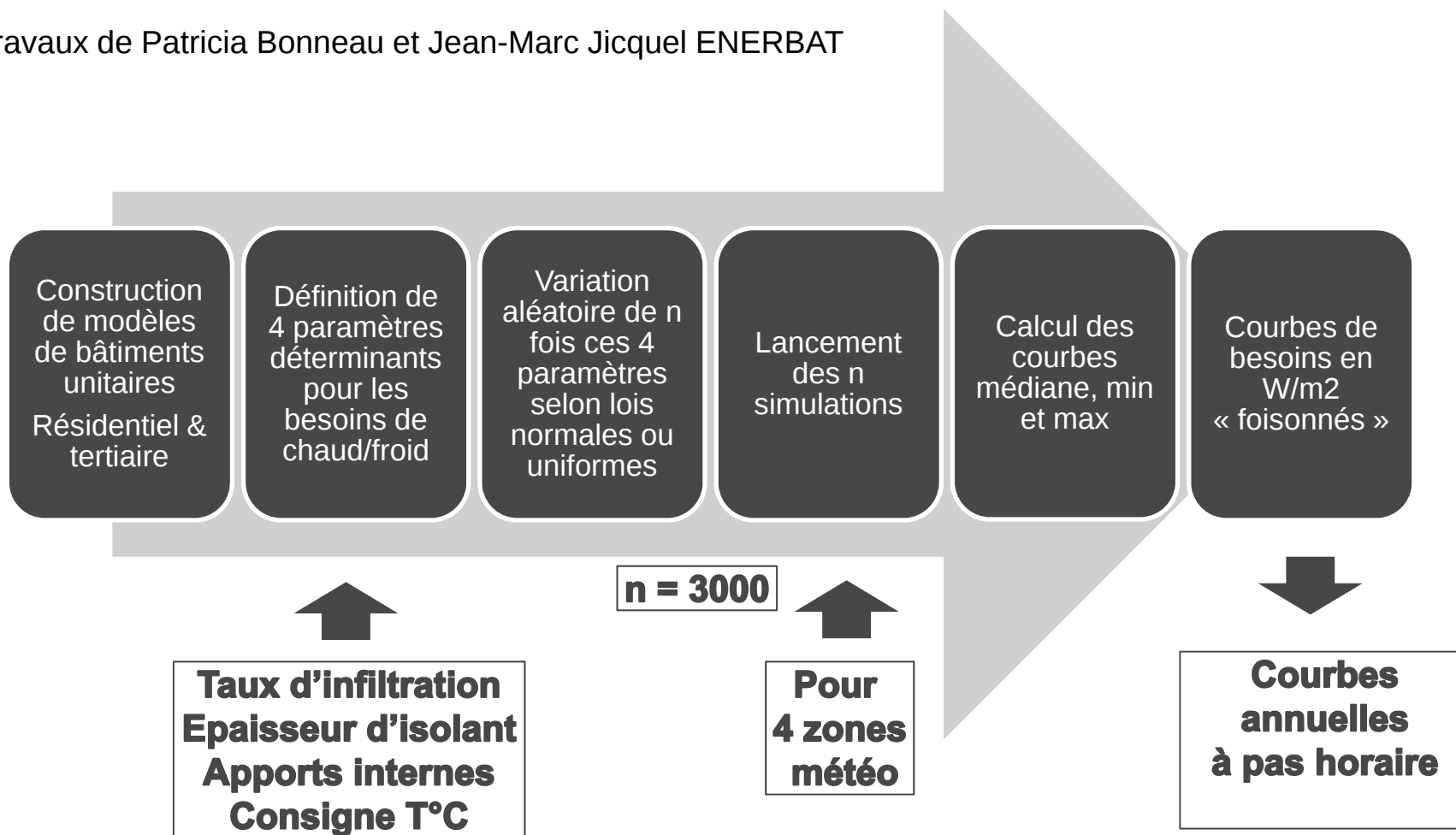


Thèse EDF/Mines Paris Arnaud Grandjean « ***Introduction de non linéarités et de non stationnarités dans les modèles de représentation de la demande électrique résidentielle*** »

<https://tel.archives-ouvertes.fr/pastel-00817969/document>

USAGES THERMIQUES – DÉMARCHE DE MODÉLISATION

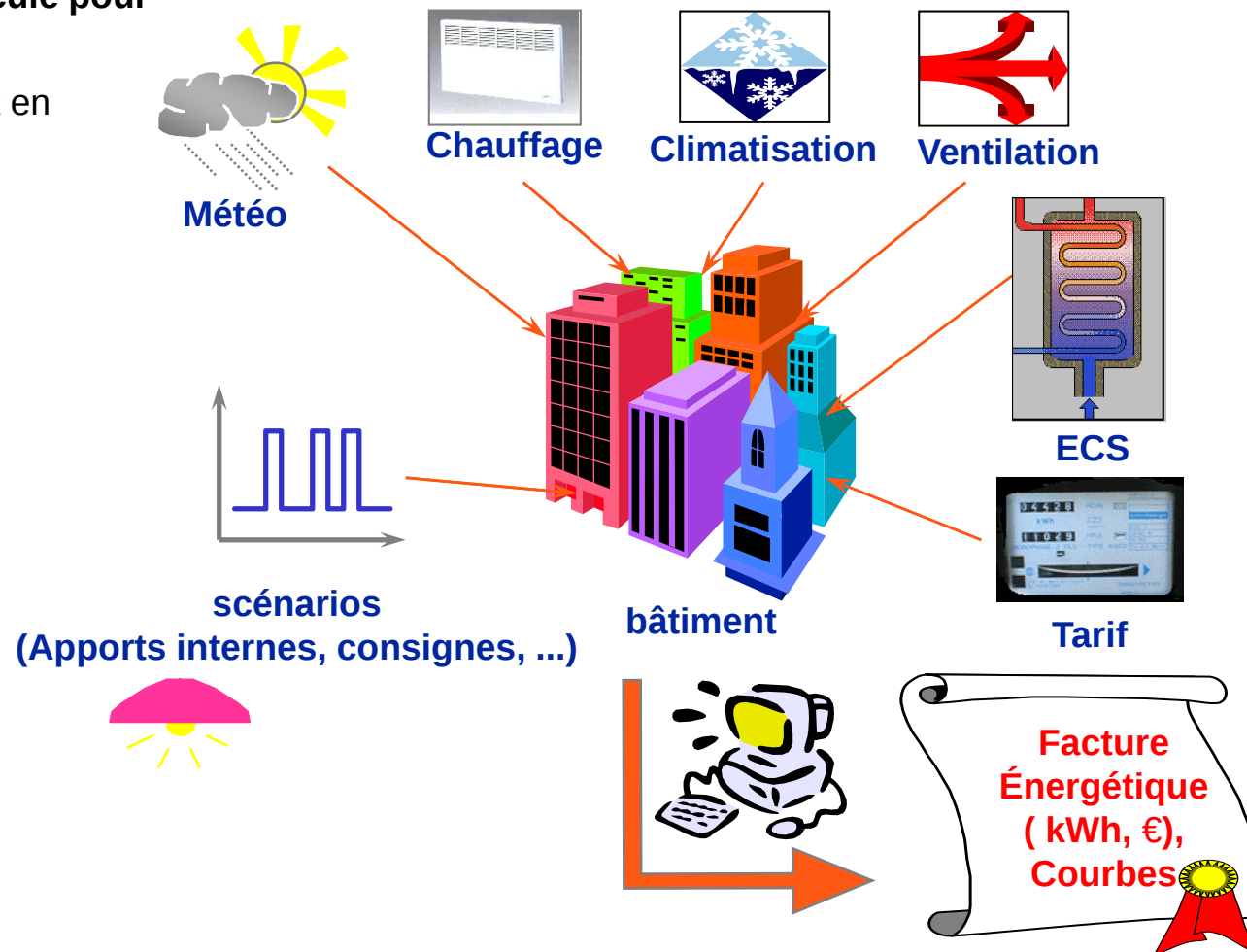
Travaux de Patricia Bonneau et Jean-Marc Jicquel ENERBAT



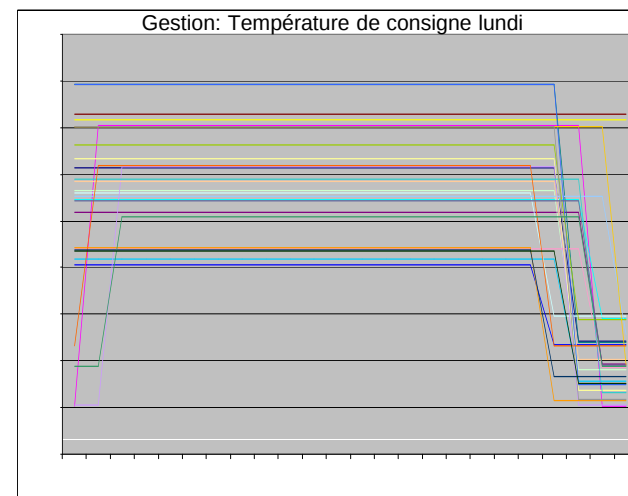
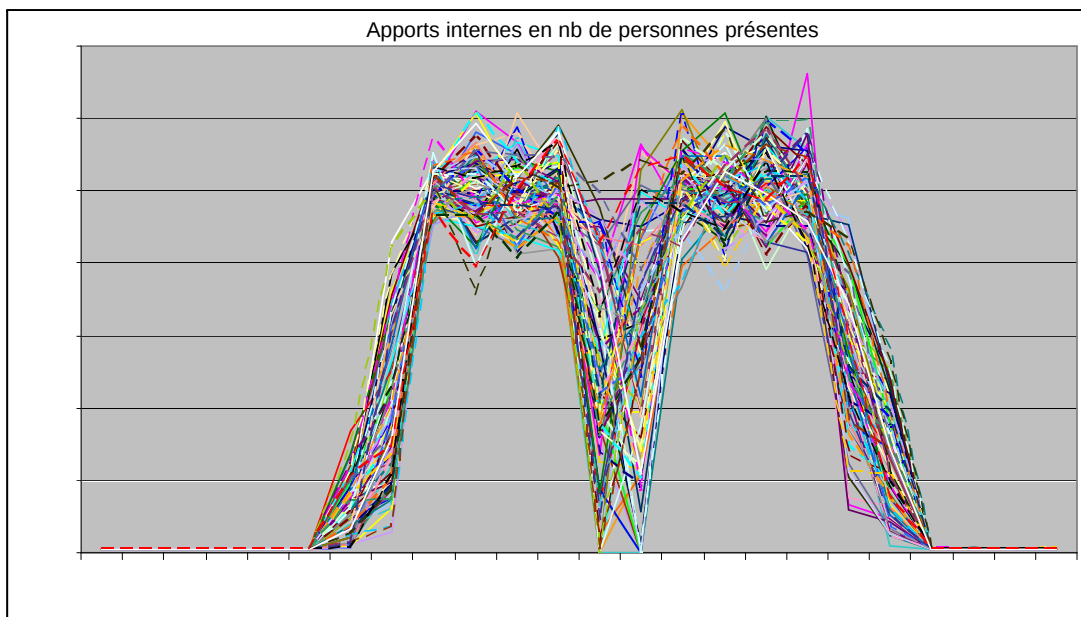
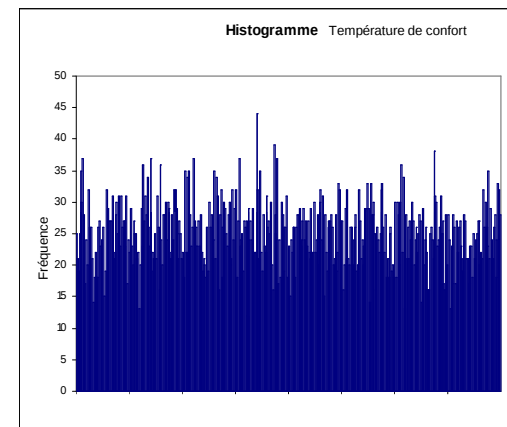
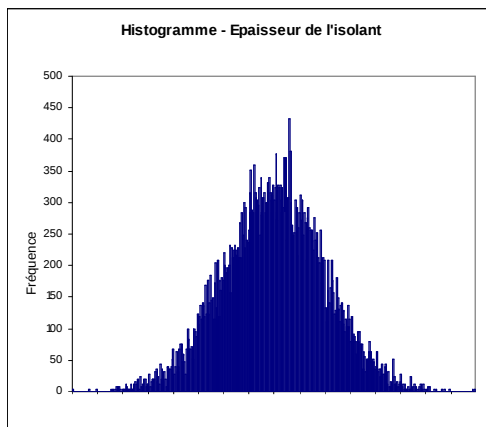
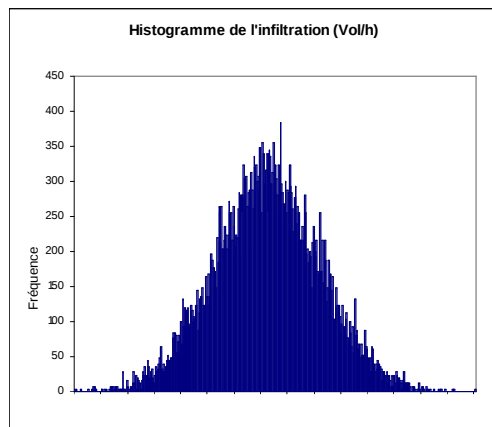
USAGES THERMIQUES – DÉMARCHE DE MODÉLISATION

Un modèle thermique calcule pour une année à pas horaire:

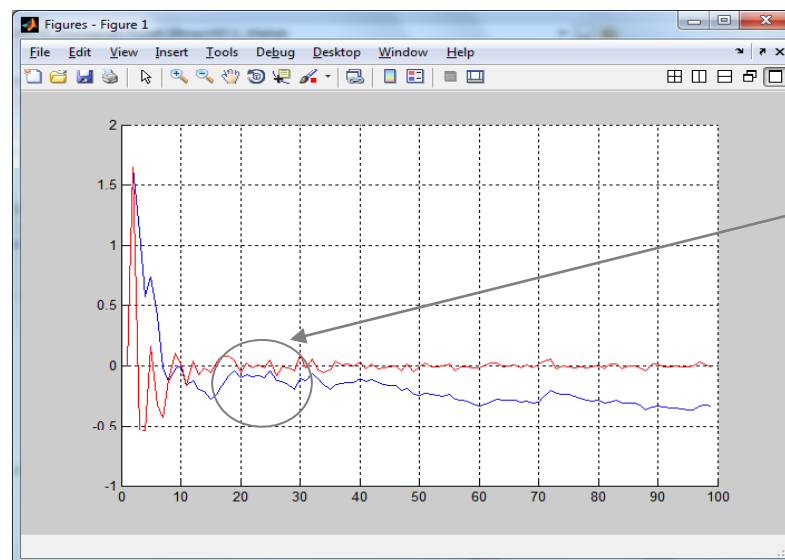
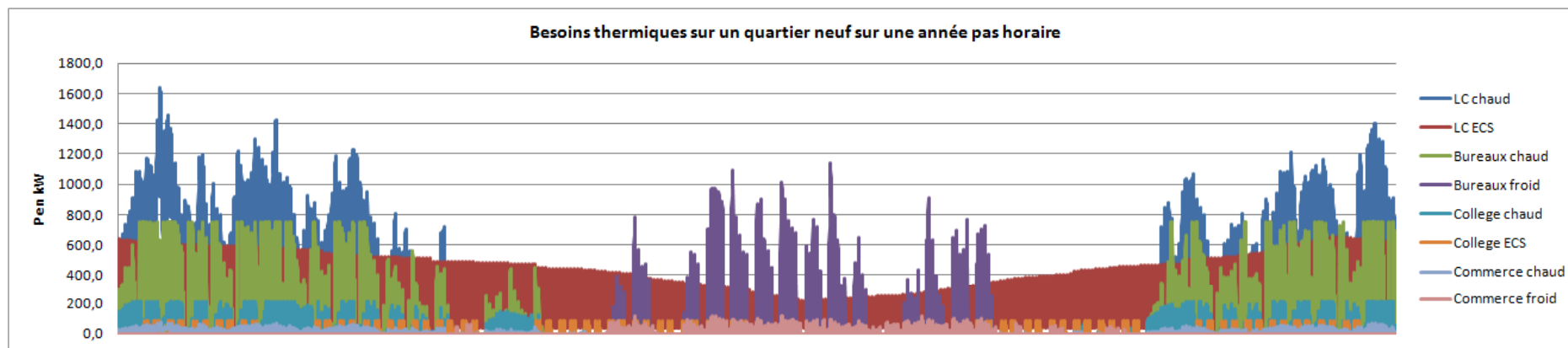
- ✓ les besoins en chaud et en froid du bâtiment
- ✓ les consommations des systèmes et du bâtiment
- ✓ par usage et par zone
- ✓ pour une station météo donnée



USAGES THERMIQUES – DÉMARCHE DE MODÉLISATION



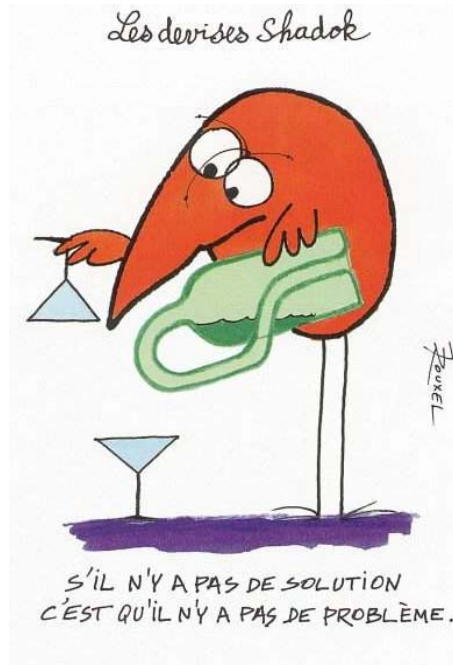
USAGES THERMIQUES – RÉSULTATS



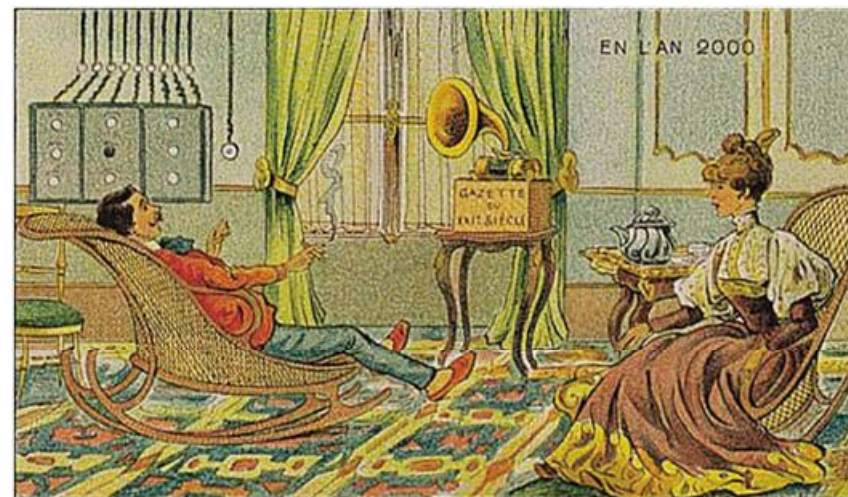
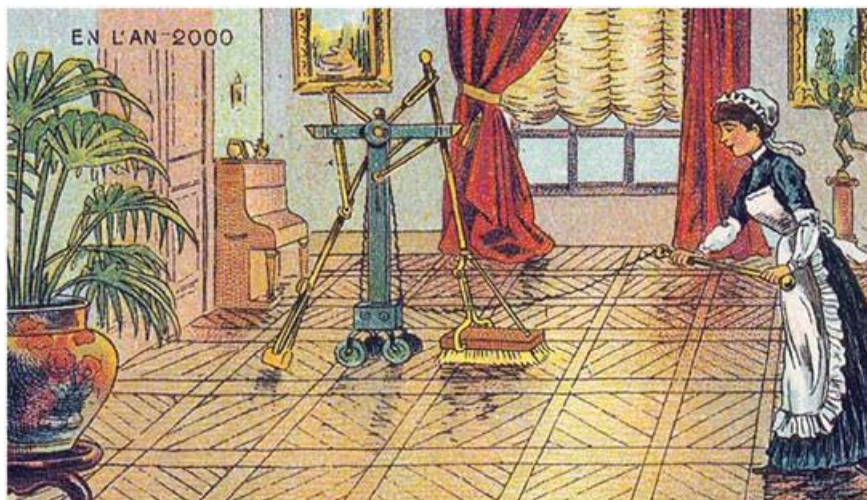


POINTS DURS ET VERROUS

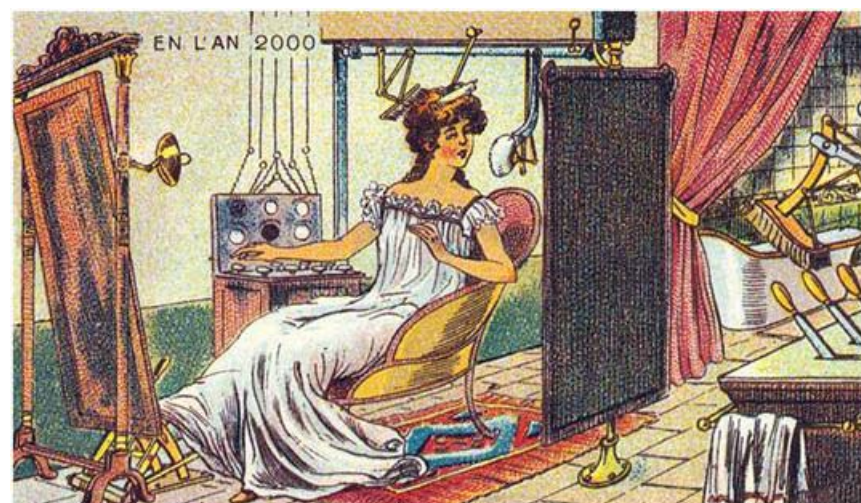
POINTS DURS ET VERROUS IDENTIFIÉS (NON EXHAUSTIF)



- Modélisation du foisonnement:
 - grande diversité des approches possibles et non exclusives: empirique, statistique, mathématique...
 - étude de sensibilité, grandeurs influentes versus négligeables
 - différenciation en fonction de la taille de l'ensemble observé (quartier, ville, national)
 - Trouver les bons indicateurs
 - ...
- Trouver la/les bonne(s) résolution(s) temporelles: de la minute...à la demi-heure voire plus
- Calage et validation du modèle
- Manque de données (mesures), d'études (sociologiques) à potentiel généralisable
- Volume de données, temps de calculs



MERCI



guillaume.binet@edf.fr

1 kWh

$$1\text{kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{J} = 859,8 \text{kcal}$$

$$E_p = mgh \text{ en J } m \text{ en kg, } h \text{ en m, } g = 9,81 \text{ N/kg}$$

$$E_p \text{ vache} = 1000 \times 9,81 \times 357,5 = 3,5 \times 10^6 \text{J}$$

$$1 \text{ cuiller} = 17 \text{ml}$$

$$100 \text{g huile} = 900 \text{kcal}$$

$$\text{Densité} = 0,92 \text{ } 1000 \text{ml} = 920 \text{g}$$

$$102 \text{ml} = 845 \text{kcal}$$