

CSTB
le futur en construction

Modélisation des parcs de bâtiments

SIMUREX 2015

27.10.2015 – Mathieu RIVALLAIN



... Modélisation
des parcs de bâtiments ?



Quelques enjeux de la gestion de parcs

Un état de l'art des approches de modélisation des parcs

Bâtiments types

Clustering et classification

Dynamiques d'évolution

Transition numérique

Conclusion

Agenda



Quelques enjeux de la gestion de parcs

Un état de l'art des approches de modélisation des parcs

Bâtiments types

Clustering et classification

Dynamiques d'évolution

Transition numérique

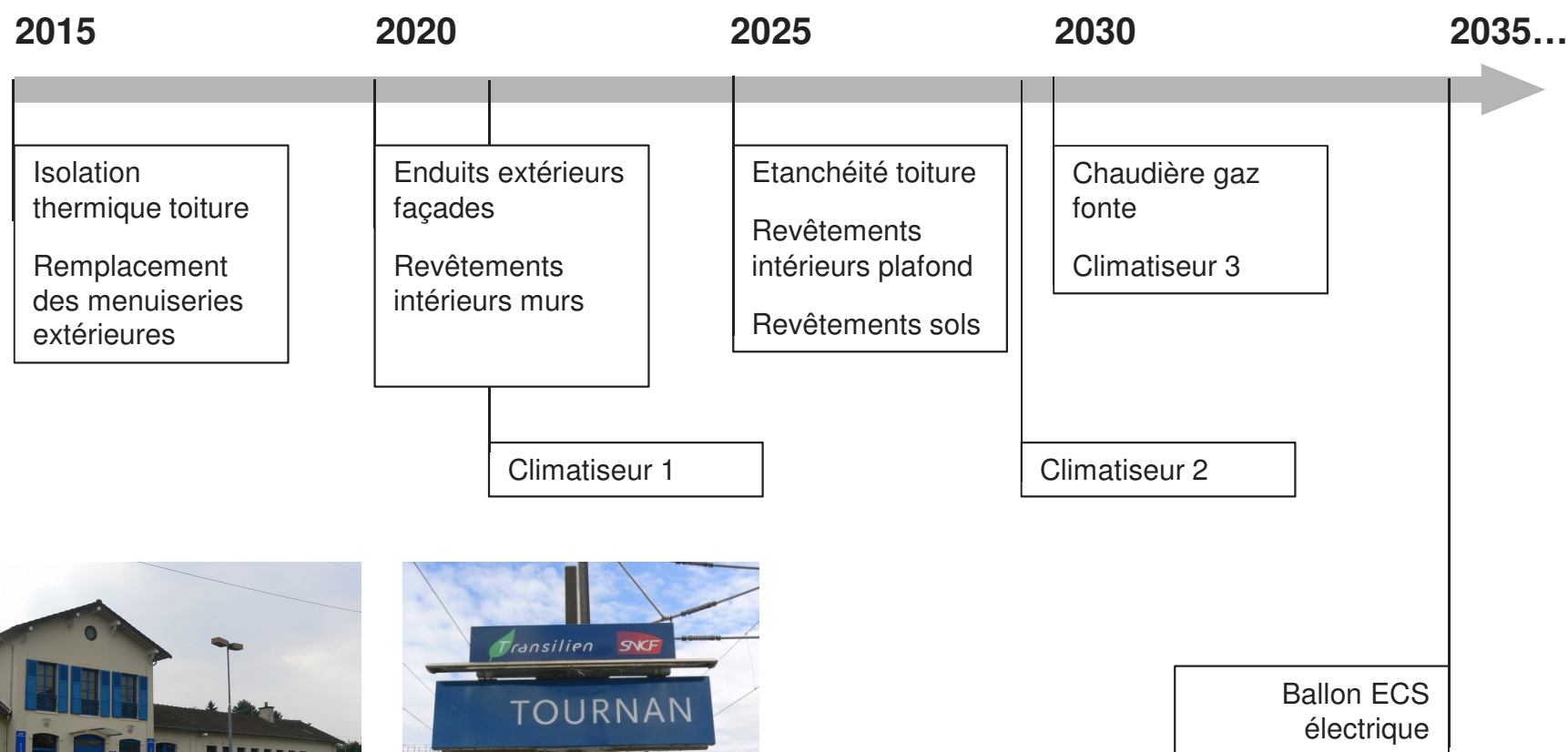
Conclusion

CSTB
le futur en construction

Le Bâtiment, enjeu majeur de la Transition Energétique

- Environ 25% des émissions de GES (FR)
- Environ 45% des consommations d'énergie finale (FR)
- Augmentation des prix des énergies
- Modèles de parcs pour :
 - 1/ Evaluer les niveaux de consommation actuels,
 - 2/ Estimer les gisements d'économie d'énergie.
- Des ambitions très fortes, à atteindre en quelques années ou décennies
- Forte inertie du parc bâti: renouvellement annuel <1%
- Concept de valeur verte
- Réhabilitation lourde, souvent difficile à justifier économiquement

Besoins d'interventions dans le temps, en lien avec « l'état de santé »



La réhabilitation, au long du cycle de vie des bâtiments

- Maintenance, grosses réparations / gros entretien (GR/GE), transformations
- Maintien de la valeur patrimoniale, satisfaction/confort des occupants
- Opportunité majeure pour la Transition énergétique :
Embarquement de la performance énergétique dans les étapes de transformation des bâtiments et logements, inscription dans les processus décisionnels
- Modélisation du parc:
 - Caractéristiques des composants/produits/systèmes
 - et année de mise en œuvre, état de dégradation ou vieillissement

Calcul de coin de table...

[Lgts]
Taille du parc résidentiel français

« Objectifs 500 000 »

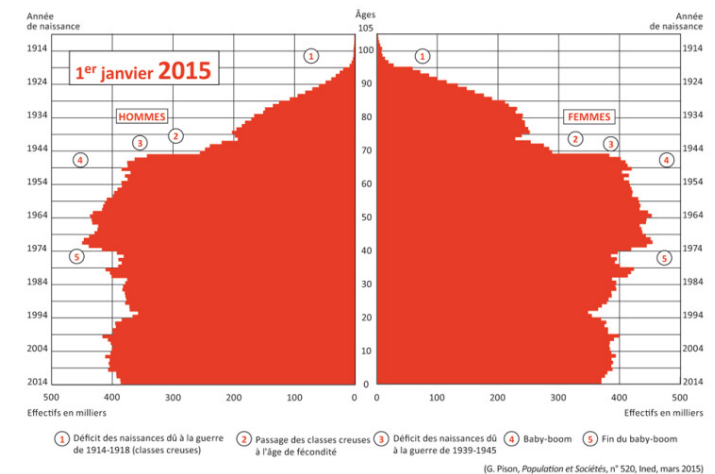
$$\frac{\sim 30\,000\,000}{60} = \sim 500\,000$$

[années]
Durée de vie « optimiste »
de l'ensemble des composants
et équipements des logements
(distribution uniforme sur le parc)

[Lgts/an]
Nombre de logements
concernés par des travaux de
maintenance ou gros entretien,
chaque année

Les populations d'Europe occidentale sont vieillissantes...

- Coût élevé et insuffisance en nombre des structure spécialisées
- Nécessité du maintien à domicile
- Adaptation des logements et bâtiments aux besoins des personnes âgées, à mobilité réduite ou souffrant d'une déficience (auditive, visuelle, cognitive)
- Adaptation à réfléchir et modélisation du parc suivant le triptyque : logement, communs, accès au bâtiment



Source : Insee, Ined

Un enjeu sanitaire majeur pour la gestion de parc

- Risque sanitaire, principalement pour les travailleurs opérant au contact de ce minéral.
70-100 000 décès « attenus », sur 2009-2050 (cancer du poumon, mésothéliome)
- Renforcement de la réglementation (mai 2012): cadre d'action plus clair mais pour partie plus contraignant, i.e. gestion de l'amiante présente dans des matériaux initialement considérés comme non-friables (amiante-ciment, dalles de sol, colles, enduits par exemple)
- **HLM: Surcoût global prévisionnel des sujétions amiantes: environ 2,3 milliards d'€/an**
- Cartographie de la présence d'amiante dans les logements mal connue
Différentes techniques de retrait ou gestion
Bien des matériaux amiantés restent encore à découvrir
- Concerne également les parcs privés, copropriétés, MI ainsi que le tertiaire
- Modélisation de parc: capitalisation des connaissances sur la présence d'amiante dans le parc et l'élaboration de méthodes prédictives destinées à faciliter la programmation des travaux et à améliorer la fiabilité des opérations de repérage ; optimisation technico-économique des stratégies de désamiantage du parc

10-15% de la population en situation de précarité énergétique

- Observatoire National de la Précarité Energétique (ONPE)
- Evaluation complexe, fonction des prix de l'énergie, des ressources du ménage, de la qualité de l'habitat, et de la mobilité
- Actuellement, un ensemble de 3 indicateurs principaux : taux d'effort énergétique (TEE), niveau de confort dans leur habitat, indicateur bas revenus dépenses élevées (BRDE)
- Au-delà de l'objectif de lutte contre la précarité énergétique, introduction dans la loi du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte de « CEE Précarité énergétique » (Article 30)
- Modélisation du parc en termes de couple : « occupants + logement »

Grandes entreprises et consommations du Bâtiment

- 26 novembre 2014: décret prévoyant la réalisation d'un audit énergétique pour les grandes entreprises de plus de 250 salariés, afin qu'elles mettent en place une stratégie d'efficacité énergétique de leurs activités
- Entreprises : > 250 pers. ou CA annuel > 50 millions €
ou total de bilan > 43 millions €
- Audits à réaliser tous les 4 ans
- L'audit couvre au moins 80 % du montant des factures énergétiques
- Sous réserve d'en justifier la pertinence, une entreprise qui réalise ses activités de façon similaire dans différents bâtiments peut réaliser l'audit énergétique sur un échantillon de ces bâtiments suivant les modalités définies en annexe I (Arrêté du 24 novembre 2014).

Procédure d'échantillonnage

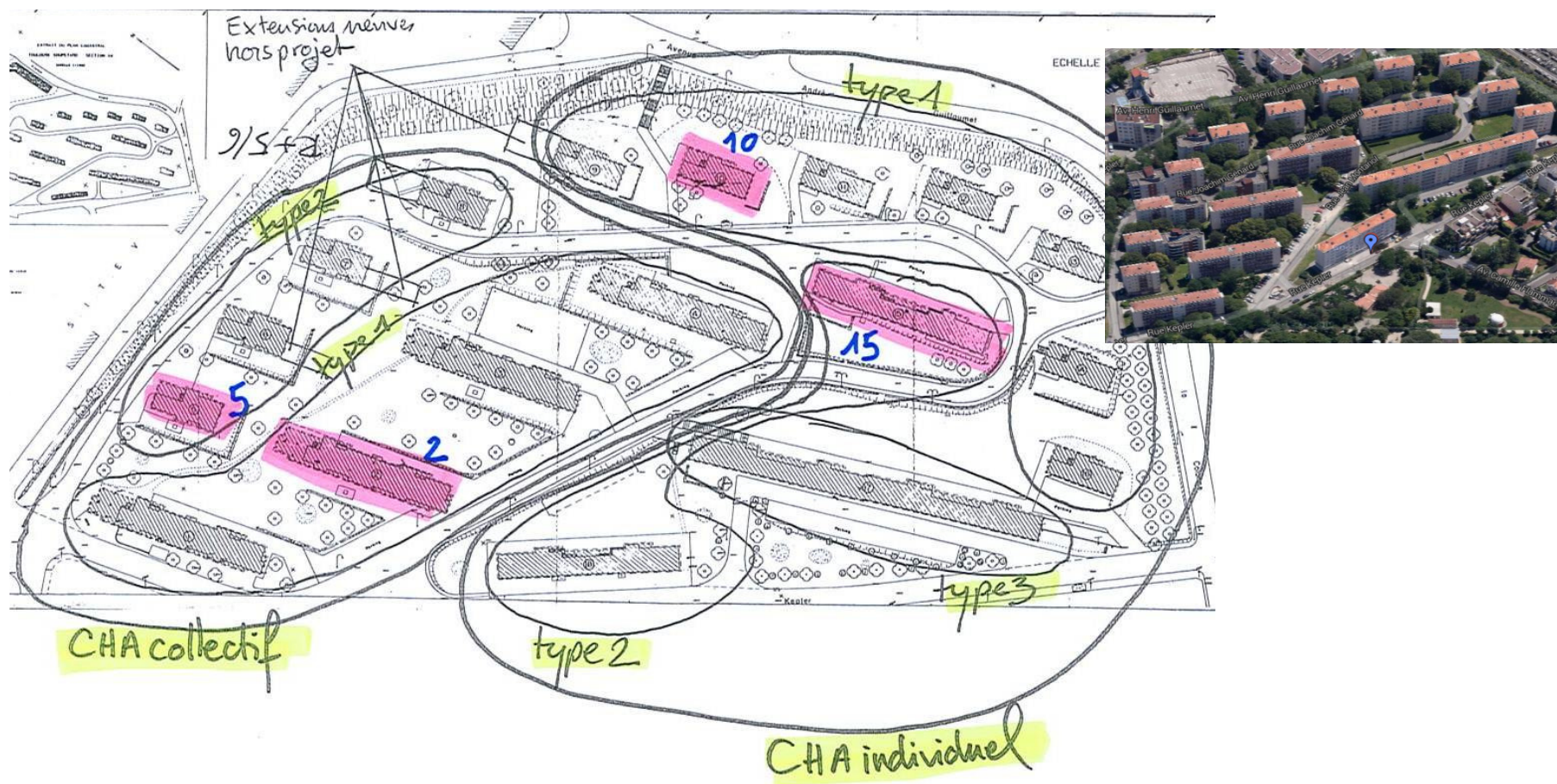
Arrêté du 24 novembre 2014 : ANNEXE I

- L'auditeur recueille et analyse les usages énergétiques de tous les bâtiments concernés afin de vérifier qu'ils sont similaires ou susceptibles d'être organisés en sous-ensembles similaires.
- Dans chaque sous-ensemble, la taille de l'échantillon y est au moins égale à la racine carrée du nombre de sites x : ($y = \sqrt{x}$), arrondie au nombre entier supérieur.
- Au moins 25 % de l'échantillon est sélectionné de manière aléatoire.
- L'audit énergétique de chaque bâtiment de l'échantillon ou des sous-ensembles est établi conformément à la méthode prévue par l'article 1er.
- Le rapport d'audit justifie les usages énergétiques similaires dans le ou les sous-ensembles susmentionnés et l'extrapolation à l'ensemble des bâtiments des résultats des audits réalisés sur le ou les échantillons.

Projet REPERE : Habitat Toulouse

- Rénovation énergétique de 1300 logements
- Accord collectif signé avec les associations de locataires
 - Revalorisation du loyer
 - Engagement de vérifier les gains énergétiques pendant 3 ans

Projet REPERE : Habitat Toulouse, échantillonnage



A vous

Vos expériences personnelles,

Vos idées

- Dimensionnement des moyens de production d'énergie à moyen-long terme
- Des réseaux énergétiques
- Impact du changement climatique sur le confort d'été
- Valorisation immobilière
- Préservation de la valeur historique et culturelle
- Etc.

ModélisationS des parcs de bâtiments

Nombreux enjeux associés de la gestion de parcs :

- Aide à la décision à l'échelle des parcs de bâtiments ou des territoires
- Orientation et évaluation des politiques publiques
- Contrôle de l'atteinte d'objectifs
- Dimensionnement d'un réseau de chaleur

Modèles de parcs intrinsèquement liés à la problématique considérée:

- Attributs à caractériser (données d'entrées)
- Segmentation
- Pas de temps pour la simulation



Quelques enjeux de la gestion de parcs

Un état de l'art des approches de modélisation des parcs

Bâtiments types

Clustering et classification

Dynamiques d'évolution

Transition numérique

Conclusion

CSTB
le futur en construction

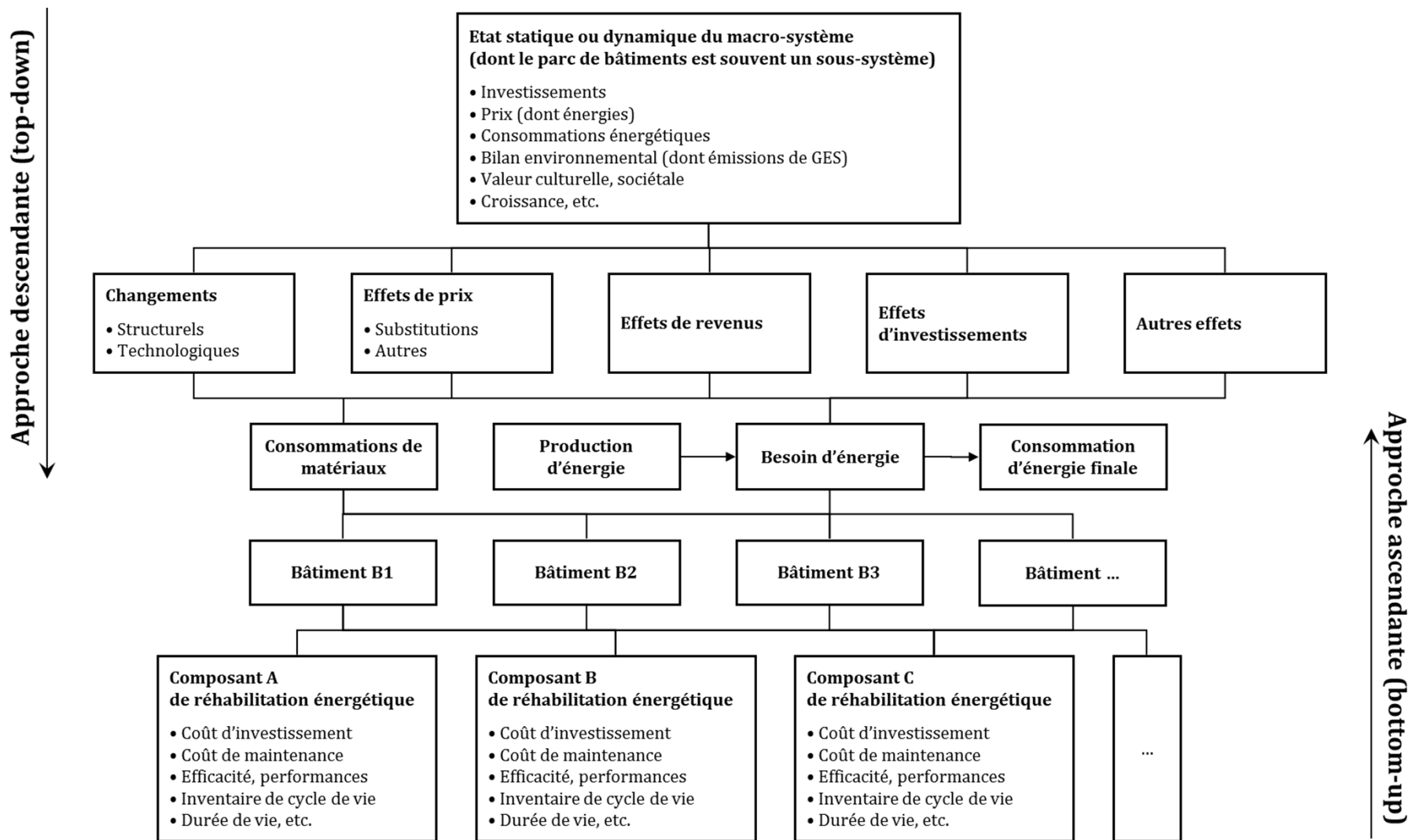
Approches descendantes (« top-down »)

- **Modèles économétriques**
- **Modèles technologiques**

Approches ascendantes (« bottom-up »)

- **Approches statistiques**
- **Approches de physique du bâtiment**

Source: (Kavgic et al., 2010)



Modèles économétriques

- Pas de détail sur les options technologiques
- Hypothèses sur des données macroéconomiques et leur évolution : évolution des prix des énergies et élasticité, croissance du PIB, revenu moyen, etc. (paramètres du modèle)
- Tendances macro-économiques, corrélations avec les données historiques et équations économétriques entre les paramètres du modèle
- Traduction de ces hypothèses sur l'évolution de la demande en énergie, pour différents secteurs de l'Economie
- Influence sur le mix-énergétique et la production
- Déduction des consommations et émissions GES pour différents secteurs

Exemple du modèle ADEPT

- Annual Delivered Energy Price and Temperature
- Grande Bretagne, Summerfield et al. 2010
- Modélisation de la consommation énergétique annuelle des ménages depuis 1970
- Objectif: Analyser les consommations énergétiques en termes d'amélioration des constructions, indépendamment des fluctuations climatiques annuelles et de celle des prix de l'énergie.
- Établissement d'une corrélation entre les consommations énergétiques de chauffage des ménages et deux facteurs macro: l'évolution des températures extérieures pendant la saison de chauffe et les prix de l'énergie (ajustés de l'inflation)

Modèles technologiques

- Paramètres: taux de pénétration des technologies, changements structurels sur la production d'énergie, effet de saturation
- Modélisation par équations économétriques plutôt que physiques

Avantages

- Modélisation des **interactions entre les secteurs de l'Economie et de l'Energie**
- Données économiques agrégées
- **Capacité à modéliser l'influence de stratégies ou politiques socio-économiques sur les consommations d'énergie ou les impacts environnementaux (émissions GES)**
- Pas de description détaillée des technologies

Inconvénients

- **Construction de projections à partir des évolutions statistiques passées**
- **Peu adapté à l'analyse de stratégies reposant sur des technologies**; pas ou peu de lien entre les tendances macro-économiques et les facteurs physiques
- Hypothèse d'efficacité des marchés

Approche statistique, à l'échelle bâtiment

- Modélisation à l'échelle bâtiment (ou logement)
- Régulièrement fondés sur des techniques de régression

Exemple:

- Exploitent – par exemple – des données de factures pour construire des modèles statistiques de consommation énergétique des bâtiments, en fonction de données sur les conditions météorologiques moyennes mensuelles (Méthode PRISM: Princeton scorekeeping method, Fels, 1986; longtemps exploitée par le gouvernement US, les fournisseurs d'énergie pour analyser les mesures de réhabilitation dans les bâtiments)

Avantages

- **Intégration d'effets macroéconomiques et socioéconomiques**
- Capacité à évaluer les consommations d'énergie finale, par exemple
- Simple à développer et utiliser
- Ne nécessite pas de données détaillées mais uniquement des factures (par exemple) et informations statistiques

Inconvénients

- Réponses limitées, flexibilité limitée
- Faible capacité de modélisation de l'influence de mesures portant sur les économies d'énergie
- Requiert un échantillonnage statistique relativement large et représentatif
- **Basées sur des statistiques passées, limitant la robustesse des prédictions**

Approches à l'échelle bâtiment (ou logement), (très) consommatrices de données

Basées sur 3 constituant principaux:

- Modélisation du parc par un échantillon de bâtiments jugés représentatifs (concept de bâtiments types, typologies, templates)
- Données sur la représentativité statistique des différents types
- Méthode d'évaluation des consommations énergétiques ou impacts environnementaux

Un exemple, années 1990 à l'étranger

- Snakin (2000) : Modèle sur le parc immobilier de la Carélie du Nord, Finlande
- Contribution aux réflexions des autorités publiques locales: stratégies de réhabilitation.
- Modélisation du parc immobilier à partir de quelques « typologies » de bâtiments:
 - 1/ Type d'activité et mitoyenneté : pavillons individuel, mitoyen, appartements, locaux commerciaux, établissements scolaires, bureaux, hôpitaux, entrepôts, bâtiments industriels, etc.
 - 2/ Type de chauffage : eau chaude, air chaud, électricité, etc.
 - 3/ Type d'énergie primaire : électricité, charbon, bois, gaz naturel, fioul, RCU, etc.
 - 4/ Période de construction et de rénovation : avant 1920, 1921-39, 1940-59, 1960-69, 1970-79, 1980-89, après 1990, etc.
- Evaluation et simulation (suivant différents scénarios) des consommations énergétiques et des émissions de GES du parc.
- Principales limitations de ces travaux: accès et l'exploitation de données fiables (bois de chauffage)

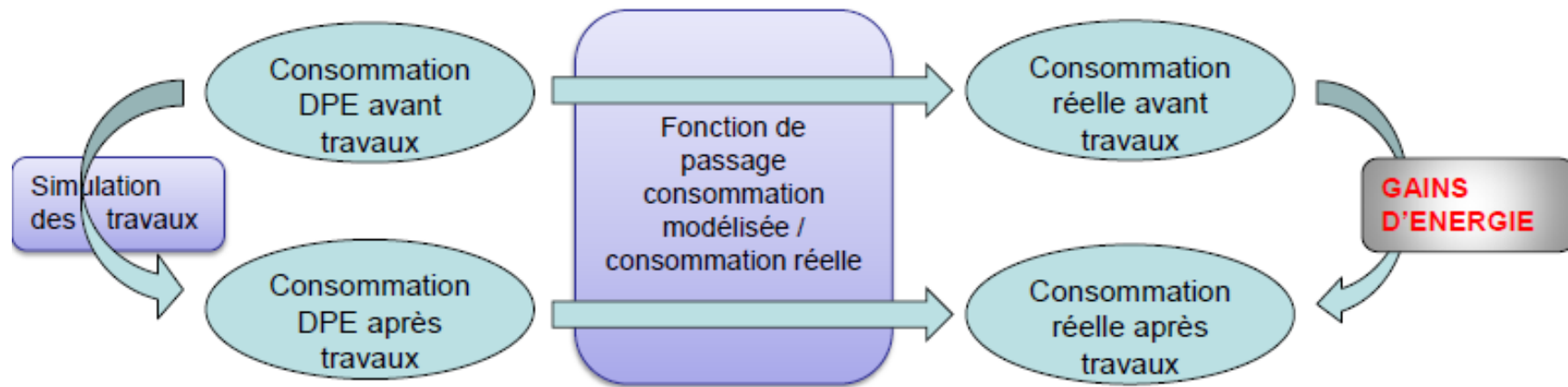
Avantages

- Description physique, détaillée des bâtiments et composants, équipements, systèmes, technologies (actuelles et prospectives)
- Données mesurables
- **Évaluation quantitatives, support potentiel pour l'aide à la décision, l'orientation et l'évaluation de politiques publiques**

Inconvénients

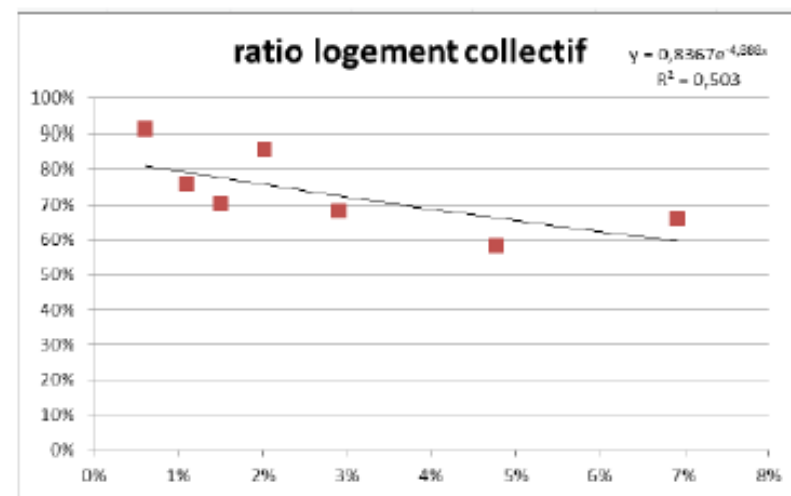
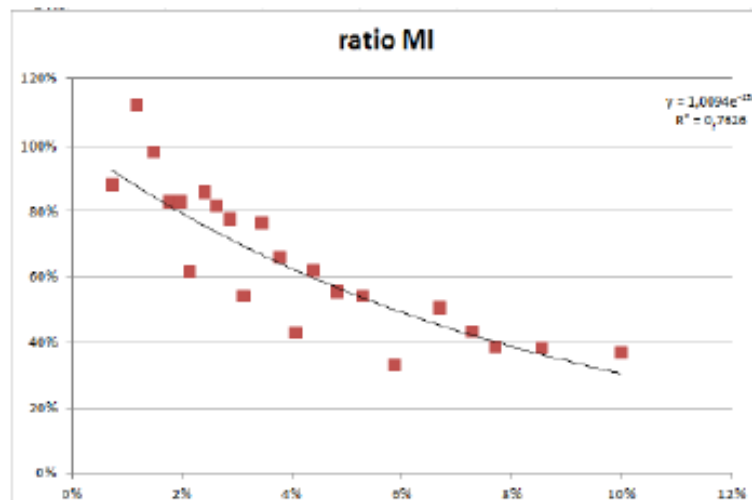
- Focus quasi-exclusif sur l'Énergie; pauvreté de la description des interactions économiques (interactions entre les consommations d'énergie et l'Économie?)
- **Nécessite des volumes conséquents de données physiques**
- Pas de détermination des comportements sur la base des modèles, mais introduction d'hypothèses externes sous la forme de scénarios

Estimation des gains énergétiques,
liés aux actions de rénovation



Relation entre consommation réelle et consommation DPE

- Fonction de la part budgétaire théorique consacrée au chauffage (Phebus)
- Différenciée selon le type de logement (individuel ou collectif)

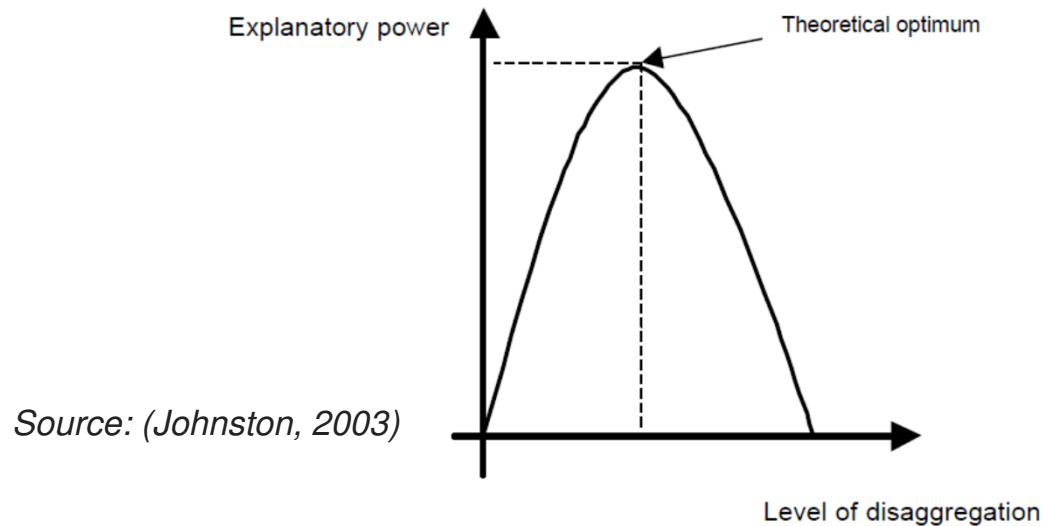


Bottom-up vs Top-down, statistique vs physique

- Différentes approches, non équivalentes
- Complémentarité
- Choix d'une approche en fonction d'un questionnement spécifique
- Croisement & validation de l'une et de l'autre?

- Relation entre Energie et Economie?
- Construction prospectiviste?
- Données disponibles?
- Comparaison de technologies?

Jusqu'où aller dans la désagrégation...



*“At the limit of very high disaggregation,
one describes everything... and understands nothing”
(Leach, Jarass, Obermair & Hoffmann, 1986)*



Quelques enjeux de la gestion de parcs
Un état de l'art des modélisation des parcs

Bâtiments types !?

Clustering et classification
Dynamiques d'évolution
Transition numérique
Conclusion

CSTB
le futur en construction

Une approche opérationnelle, largement répandue

- 2003: Communauté d'agglomération de Grenoble
- Opération de réhabilitation énergétique du quartier des Grands Boulevards (OPATB: Opération Programmée d'Amélioration Thermique et Énergétique des Bâtiments)
- Diagnostics énergétiques de 45 copropriétés, 1300 logements
- Définition de bouquets de travaux de réhabilitation énergétique
- Campagne Isolation (26 700 logements) : extrapolation des conclusions au parc, à partir d'études typologiques, établies à partir de 9 paramètres techniques et architecturaux, et menées par audit détaillé sur 4 copropriétés jugées représentatives.

... Bâtiments types ...

Par groupe, et sur un enjeu choisi,
Proposer un ensemble d'attributs destinés à
caractériser un bâtiment type

Réflexion : 15'

Restitution: 5'

NB. Attributs = caractéristiques/paramètres/propriétés

2 approches traditionnelles principales, 1 opérationnelle

- **Typologie descriptive, a priori**
- **Typologie statistique, a posteriori**

Source: N. Kohler

Bâtiments types réels ou virtuels?

	Réels	Virtuels, basés sur des données	Virtuels, définis par expertise
Description	Bâtiments réels jugés représentatifs d'une catégorie ou typologie donnée	Bâtiments virtuels dont les attributs sont définis à partir de valeurs statistiques connues pour la typologie considérée	Bâtiments virtuels dont les valeurs prises par les attributs sont déterminées par expertise
Avantages	Sélection de bâtiments existants	Statistiquement représentatif	Caractérisation globalement cohérente
Inconvénients	Quantité significative d'information détaillée	Données statistiques nécessaires	Subjectif

Source : McKenna et al. (2013)

Attributs techniques et architecturaux

Régulièrement considérés:

- Type de programme : résidentiel ou tertiaire (bureaux, locaux commerciaux, établissements scolaires, bureaux, hôpitaux, entrepôts, bâtiments industriels) ;
- Aspects morphologiques : taille (nombre d'étages, surface habitable, etc.), forme (barre, tour, etc.), mitoyenneté ;
- Type de chauffage ;
- Type d'énergie primaire pour le chauffage ;
- Année de construction et/ou de rénovation ;
- Contexte climatique ;
- Type d'occupant : propriétaire ou locataire.

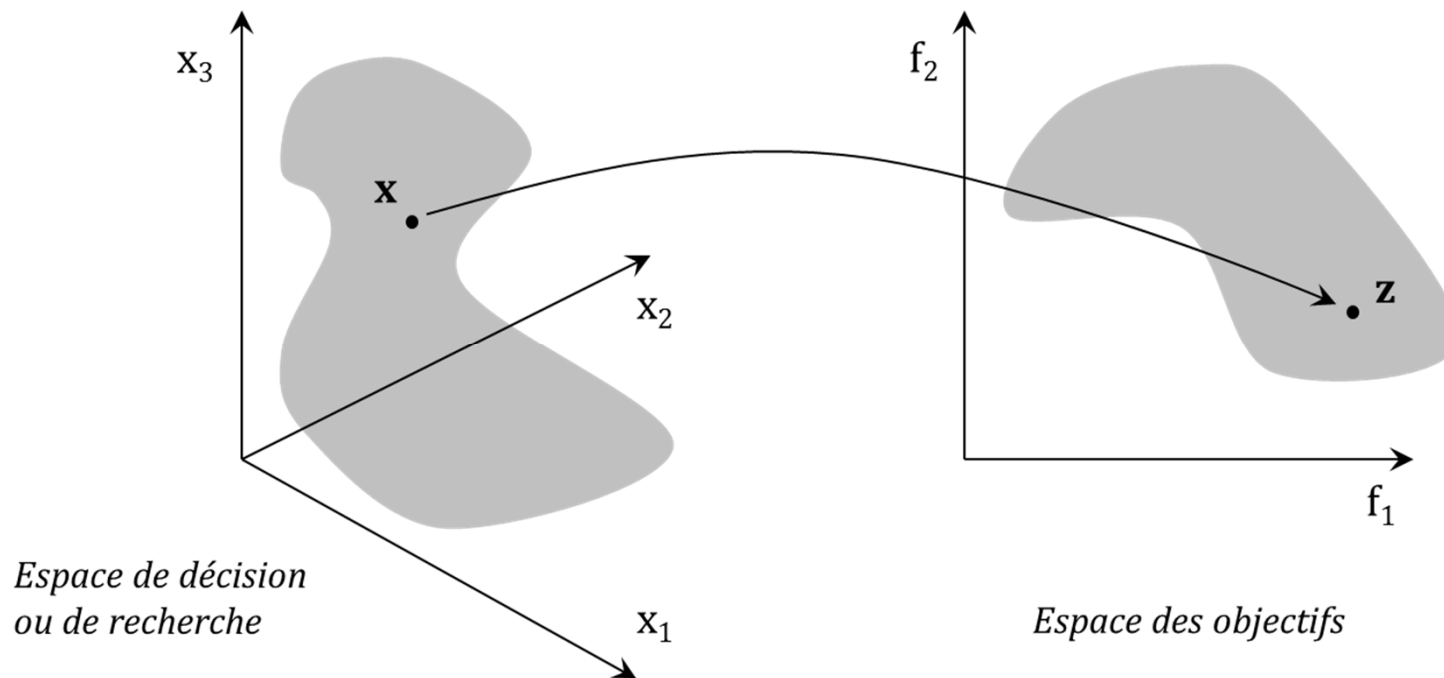
*Source: Shorrocks et al. (1997),
Farahbakhsh et al. (1998),
Snakin (2000),
Huang et Brodrick (2000),
Hens et al. (2001),
Johnston (2003),
Boardman et al. (2005),
Natarajan et Levermore (2007),
Firth et al. (2010)*

Sont plus rarement considérés :

- Caractérisation des façades : présence de loggias ou balcons ;
- Distribution des surfaces vitrées suivant les orientations ;
- Systèmes d'aération préexistants.

Les typologies descriptives sont définies dans l'espace de décision

- Problématique de différenciation dans l'espace des objectifs.



Les classes d'âge, importantes et insuffisantes

	Nombre	Médiane	Moyenne	Ecart-Type	Minimum	Maximum
Avant 1919	27	436	453	140	190	817
1920-45	59	426	441	146	130	991
1946-60	15	461	474	114	294	724
1961-70	12	440	450	131	256	782
1971-80	8	449	443	59	354	545
1981-90	0	-	-	-	-	-
1991-2000	2	241	241	35	217	266
Après 2000	0	-	-	-	-	-
Toutes périodes	123	433	445	136	130	991

Consommations énergétiques de chauffage, en fonction des périodes de construction, pour différents bâtiments collectifs résidentiels de la ville de Bâle [MJ/m2.an]

Source: Wallbaum et Jakob (2009).

Projets TABULA EPISCOPE

- Attributs base de la définition des bâtiments types

	Region	Construction Year Class	Additional Classification	SFH	TH	MFH	AB
				Single-Family House	Terraced House	Multi-Family House	Apartment Block
1	National	... 1914	generic	 FR.N.SFH.01.Gen	 FR.N.TH.01.Gen	 FR.N.MFH.01.Gen	 FR.N.AB.01.Gen
2	National	1915 ... 1948	generic	 FR.N.SFH.02.Gen	 FR.N.TH.02.Gen	 FR.N.MFH.02.Gen	 FR.N.AB.02.Gen
3	National	1949 ... 1967	generic	 FR.N.SFH.03.Gen	 FR.N.TH.03.Gen	 FR.N.MFH.03.Gen	 FR.N.AB.03.Gen
4	National	1968 ... 1974	generic	 FR.N.SFH.04.Gen	 FR.N.TH.04.Gen	 FR.N.MFH.04.Gen	 FR.N.AB.04.Gen

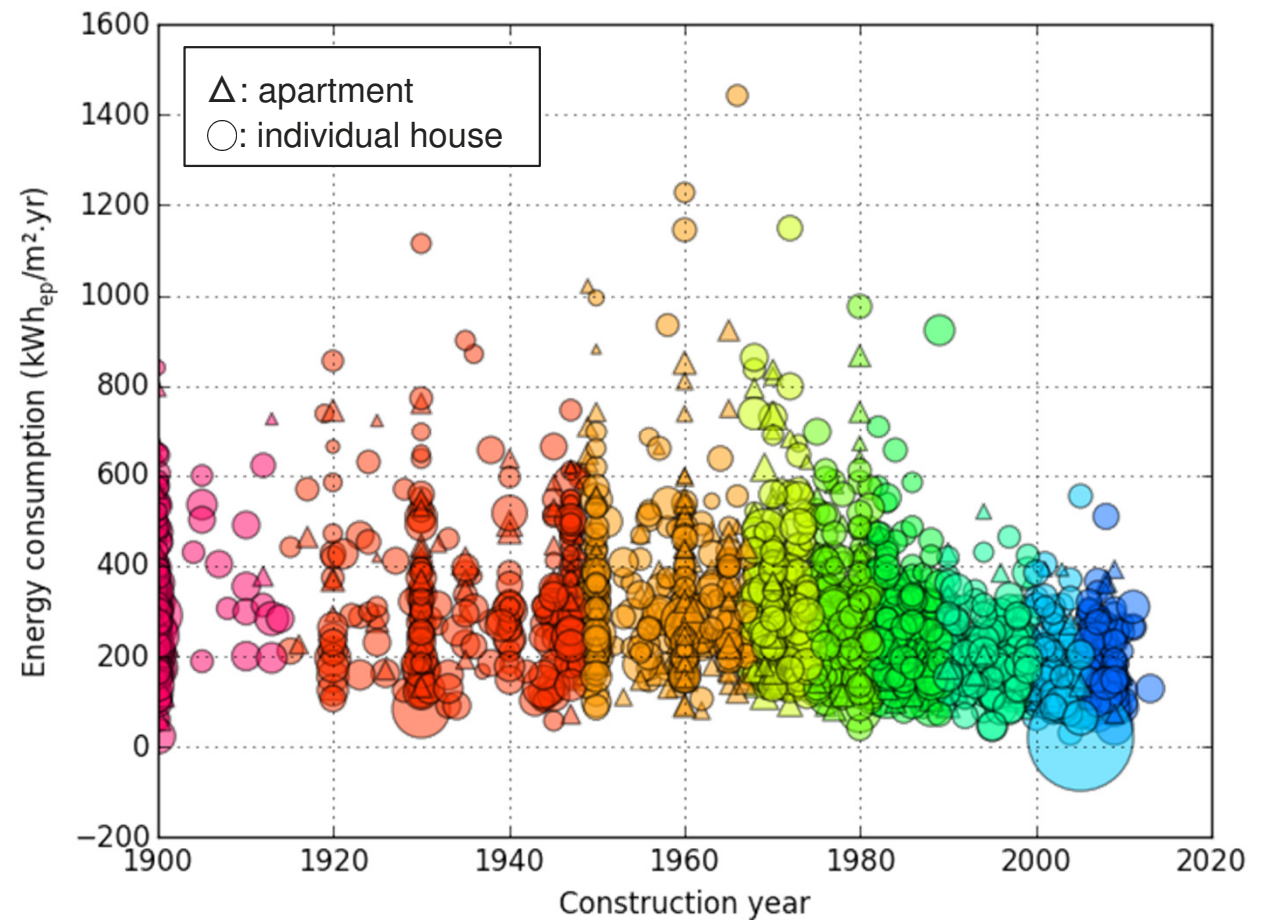
Building type
Single-Family House
Terraced House
Multi-Family House
Apartment Block

Construction year
-1914
1915-1948
1949-1967
1968-1974
1975-1981
1982-1989
1990-1999
2000-2005
2006-2012
2013-

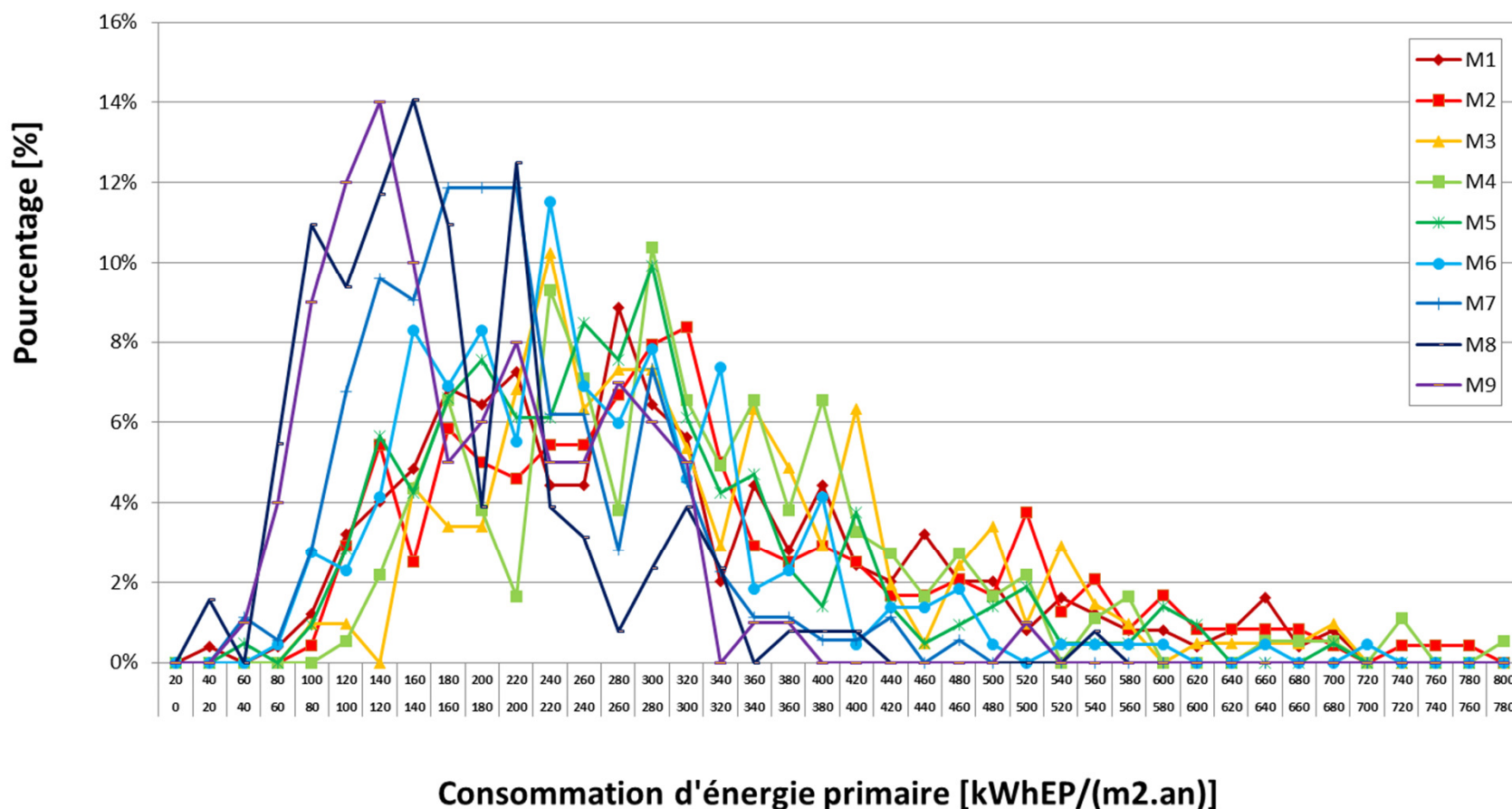
Périodes de construction et consommations énergétiques

- Maison individuelles et appartements
- Segmentation sur les périodes de construction
TABULA
- Résultats de l'enquête Phebus

Source : Enquête Phebus



Large recouvrement des distributions associées aux périodes de construction



Comment reconnaître un bâtiment type?

- Bibliothèque de bâtiments types?
- Bibliothèques de composants types?

Façades (sur rue, sur cour)

Toitures

Planchers

Ouvertures

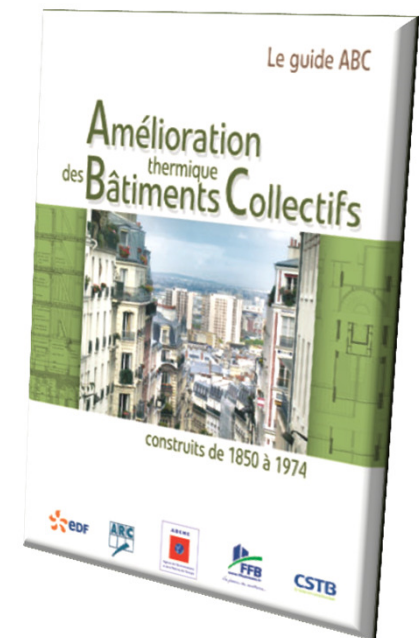
Système de chauffage

Système de production d'ECS

Système de régulation.

Le guide ABC - Amélioration Thermique des Bâtiments, construits de 1850 à 1974 (2011)

- Typologie sur le parc des bâtiments collectifs résidentiels français, selon les grandes époques de construction, caractérisant les bâtis existants.
- Dispositions et caractéristiques urbaines, spatiales et d'usage, constructives et assurant le clos et le couvert
- Bâtiments post-haussmanniens, construits entre 1850 et 1914.
- Connaissance des bâtis existants pour mieux comprendre les objets à traiter et appréhender les choix d'amélioration de leur performance énergétique.
- **De l'avis des auteurs, cette typologie ne peut servir à établir des « recettes toutes-faites ». Il s'agit davantage d'un outil d'aide à la réflexion.**



TYPE 3 : POST-HAUSSMANNIEN – PERIODE : 1870 – 1914

A / Dispositions urbaines – environnement

Datation	Vers 1906
Superficie de la parcelle et densité de la construction (COS)	394 m ² – COS = 6
Position du bâtiment sur la parcelle	A l'alignement sur rue entre mitoyen – Bâtiment d'angle
Epaisseur des corps de bâtiment	10 m
Gabarits	R+5+C – H = 22m à l'alignement – 1 ^{er} étage en retrait et 2 étages de combles habitables

B / Dispositions spatiales – usage

Mixité (résidentiel / commercial)	Logements en étages – Commerces au RDC
Séquences d'entrée / distributions verticales	Passage cochier – Vestibule donnant accès à la cage d'escalier – Loge de concierge – Escalier de service accessible depuis la cour
Position et éclairage des pièces de service	Sur cour, éclairées et ventilées naturellement
Niveau de confort initial / rapporté	Immeuble bourgeois – Salle d'eau + WC
Rapport plein / vide en façade	
Hauteur sous-plafond	RDC : 3,50 m – Etage courant : 3,00 à 3,50 m
Caractère du bâtiment (décoration intérieure et extérieure)	Façade rue peu ouvragée mais de caractère, en pierres de taille (ou mixte pierre et briques) avec saillies toute hauteur à partir du R+2 (consoles balcons en pierre sculptée – Garde-corps serrurerie ouvragée) – Parquets et plafonds plâtre ornementés

C / Dispositions constructives – équarrissages – matériaux

Parois verticales	Façade rue en pierres de taille ou mixtes pierres et briques épaisseur 50 à 35 cm – Façade sur cour en briques 44 à 22 cm – Murs mitoyens en pierre 50 cm
Planchers	Poutrelles métalliques + hourdis plâtre 15 à 20 cm, hors revêtements
Combles ou terrasses	Charpente bois à fermes et pannes, Brisis + terrasson
Escaliers	Escalier bois balancé 2 quarts tournants à jour central
Sous-sol	Poutrelles métalliques + voutains briques pleines 15 à 25 cm hors revêtements

D / Dispositions assurant le clos et le couvert – second œuvre

Revêtement de façade	Pierres de taille + briques apparentes sur rue – Enduit plâtre sur cour 2 à 3 cm
Menuiseries extérieures	Bois simple vitrage – Pose en feuillure à mi-mur avec ébrasements
Occultation (intérieure ou extérieure)	Persiennes métalliques extérieures
Couverture	Ardoises ou zinc sur brisis – Zinc sur terrasson
Cloisons et contre-cloisons	Briques ou carreaux de machefer épaisseur 5 à 7 cm
Plafonds	Plâtre épaisseur 2 à 5 cm avec corniches et moulures
Revêtements de sol	Parquet chêne sur lambourdes scellées au plâtre dans les pièces sèches, épaisseur 6 à 7 cm – Carreaux de terre cuite + mortier de pose sur aire de sable dans les pièces humides, épaisseur 6 à 10 cm

Bâtiments types, pour faire quoi?

- Approche opérationnelle
- Forte variabilité au sein même d'une classe donnée
- Limitations liées à l'histoire de chaque bâtiment (ex. cycle de rénovation et de maintenance),
- Exploitation des bâtiments types comme
 - Unité élémentaire de modèles de parcs?
 - Assemblage de composants types?



Quelques enjeux de la gestion de parcs
Un état de l'art des modélisation des parcs
Bâtiments types

Clustering et classification

Dynamiques d'évolution
Transition numérique
Conclusion

Perspectives ouvertes par les techniques de Machine Learning

- Segmentation d'un ensemble de bâtiments en typologies, issue de l'analyse des données de caractérisation (attributs) du parc considéré
- Attributs relatifs à l'espace de décision et des objectifs
- Pour être opérante, cette approche nécessite des « volumes » de données importants.
- 2 Bases de données potentielles:
 - A - Données de l'enquête Phebus
 - B - Ou approche de parc virtuel (variations paramétriques sur les attributs de l'espace de décision)

Apprentissage supervisé (\ni classification)

APPRENTISSAGE D'UNE FONCTION D'ASSOCIATION D'ÉTIQUETTES À UN ENSEMBLE D'OBJETS, A PARTIR D'UN JEU D'APPRENTISSAGE

$$f: x \rightarrow y$$

Ex. Classification de messages spam

Apprentissage non-supervisé (\ni clustering)

IDENTIFICATION DE STRUCTURES INTRINSÈQUES PRÉSENTES AU SEIN DES DONNÉES

$$f: x \rightarrow y$$

Ex. Regroupement d'informations (actualités)

HAC (Hierarchical Agglomerate Clustering, before 1950's)

- Connectivity-based / Requirement : Metric and Linkage

k-means (1957)

- Centroid-based / Requirement : Number of clusters

AP (Affinity Propagation, 2007)

- Based on "message passing" / Requirement : Preference

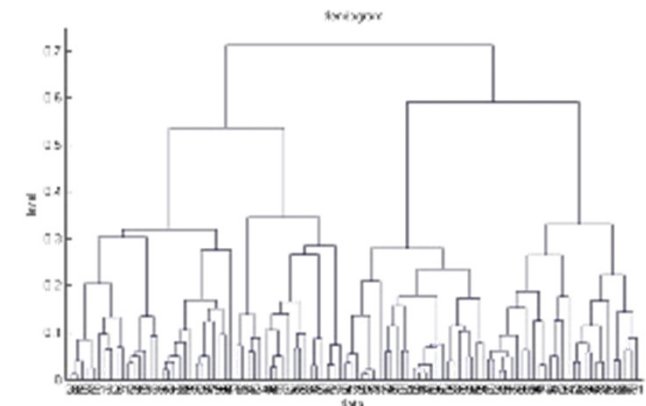
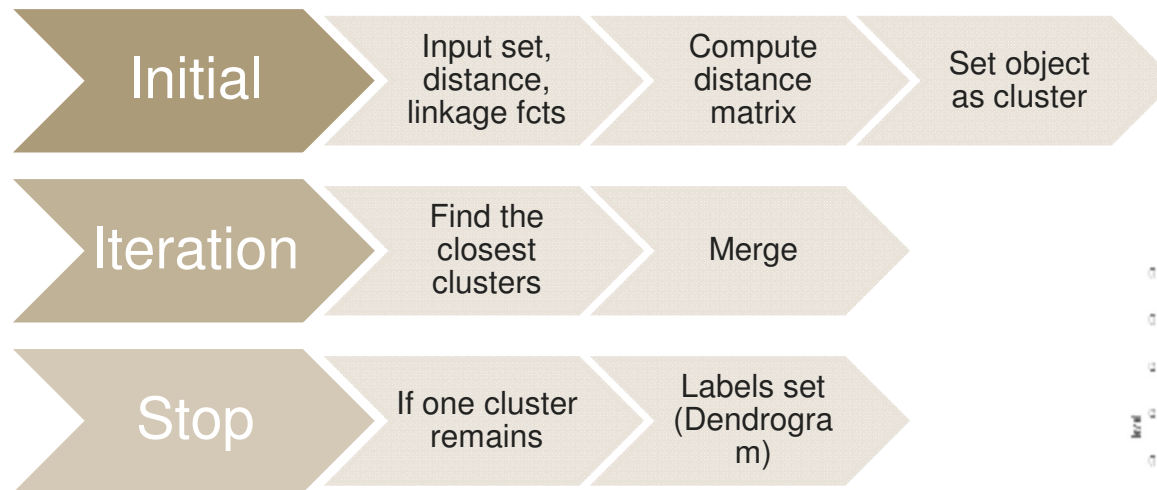
DBSCAN (1996)

- Density-based / Requirement : Eps and MinPts

BIRCH (1996)

- Variant of hierarchical clustering

Connectivity-based



<https://sites.google.com/site/dataclusteringalgorithms/hierarchical-clustering-algorithm>

Dissimilarity

- Metric (distance) : Euclidean, Manhattan, etc.
- Linkage : Complete linkage, single linkage, mean linkage, etc.

Euclidean distance

$$\|a - b\|_2 = \sqrt{\sum_i (a_i - b_i)^2}$$

Squared Euclidean distance

$$\|a - b\|^2 = \sum_i (a_i - b_i)^2$$

Manhattan distance

$$\|a - b\|_1 = \sum_i |a_i - b_i|$$

Maximum distance

$$\|a - b\|_\infty = \max_i |a_i - b_i|$$

Mahalanobis distance

$$\sqrt{(a - b)^T S^{-1} (a - b)}$$

where S is the covariance matrix

Maximum

$$\max_{a \in A; b \in B} \{d(a, b)\}$$

Minimum

$$\min_{a \in A; b \in B} \{d(a, b)\}$$

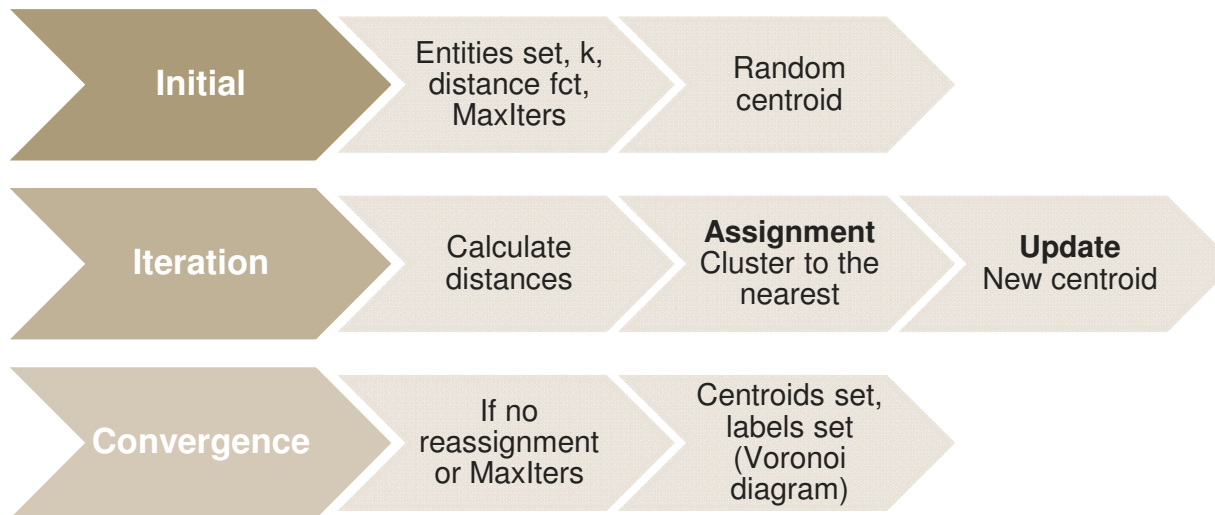
Mean

$$\frac{1}{|A||B|} \sum_{a \in A} \sum_{b \in B} d(a, b)$$

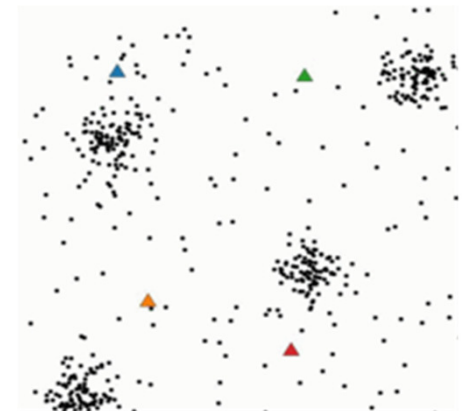
centroid

$$\|c_t - c_s\|$$

Centroid-based

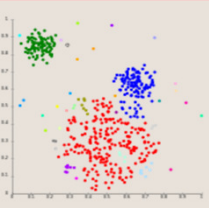
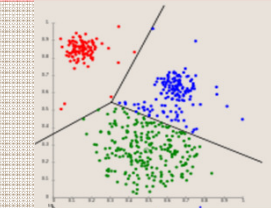
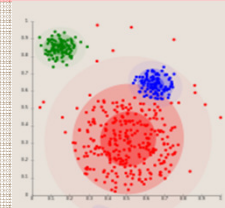
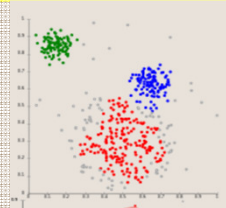
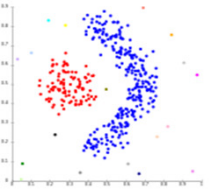
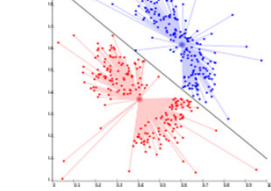
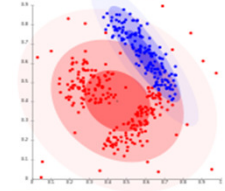
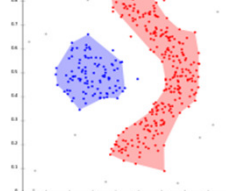


http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/7/7b/Kmeans_animation_withoutWatermark.gif/220px-Kmeans_animation_withoutWatermark.gif



Distance : Euclidean, Manhattan

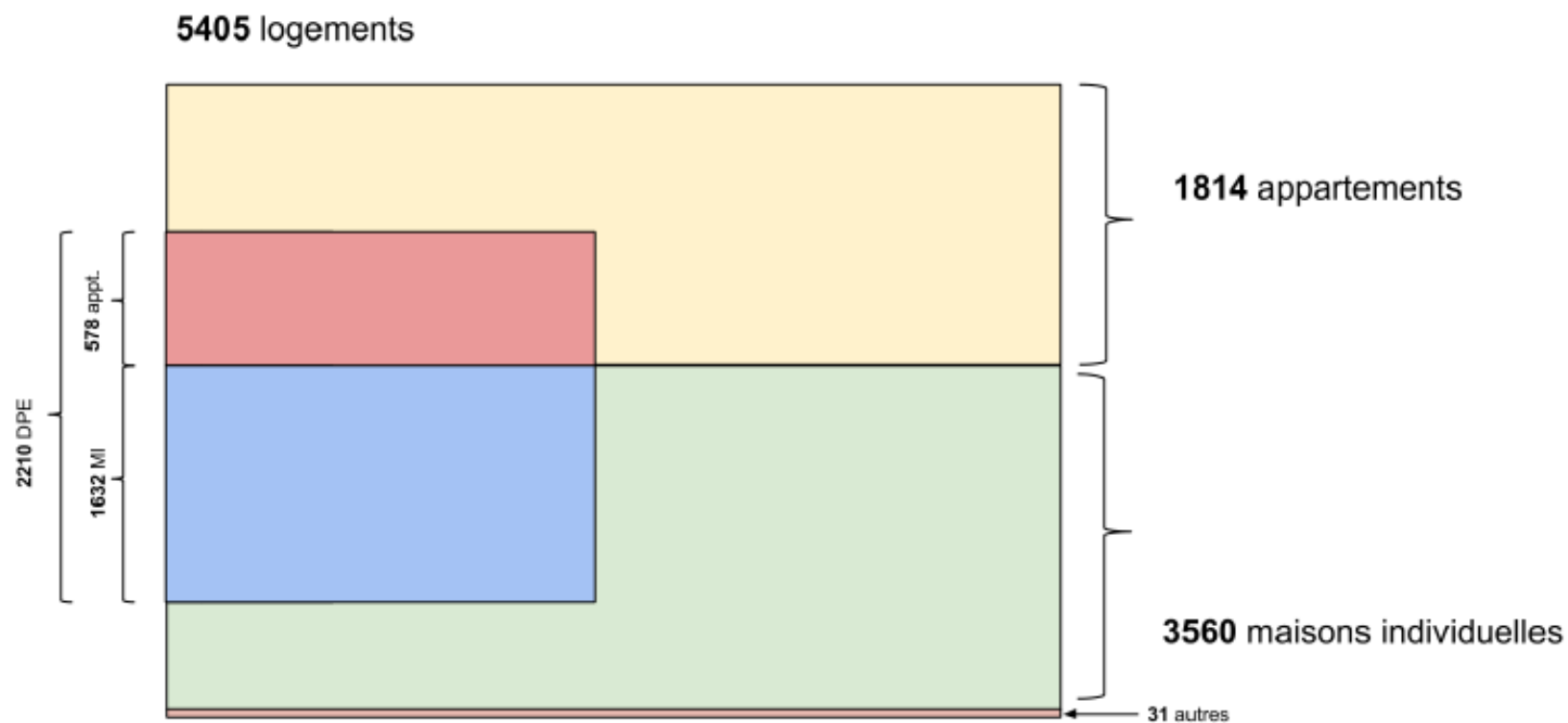
Number of clusters : k

	HAC	k-means	EM	AP	DBSCAN	BIRCH
Parameter requirement	Distance, linkage (number of clusters)	Distance, Number of clusters	Number of clusters	Damping, preference	Neighborhood distance and size	Branching factor, threshold, optional global clusterer
Attributes	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric and categorical	Numeric	Numeric
Cluster shape	Arbitrary	Regular	Regular	Regular	Arbitrary	Regular
Noise robustness	Weak	Weak	Weak	Strong	Rather weak	Strong
Risk of local minimum	High	High	High	Low	High	No
Run-time complexity	$n^3 \rightarrow n^2$	nki	nki	n^3	$n^2 \rightarrow n \log n$	n
Gaussian-distributed						
Density-based data						

Enquête Performance de l'Habitat, Équipements, Besoins et Usages de l'énergie (SOeS)

- Enquête menée en France métropolitaine, en 2013
- 5405 Bâtiments ou logements caractérisés
- Première base de données à coupler données de consommation (réelle et estimée) et conditions d'occupation
- 2 Volets indépendants :
- Questionnaire face à face (équipement, consommation, usage...)
- Diagnostic de Performance Energétique
- Représentative du parc de logements français

5 405 Logements caractérisés



Dans le cadre de cette application

- Exploitation des données sur 2354 logements
- Focus sur les logements : maisons individuelles ou appartements
- Performances « DPE » calculées sur la base de la méthode conventionnelle (3CL)
- Exclusion des données incomplètes ou incohérentes
- Standardisation des valeurs des attributs
- Élimination des valeurs extrêmes (outliers)

Premières études sur la base de 7 attributs (PHEBUS : 124+ attributs)

Espace des objectifs

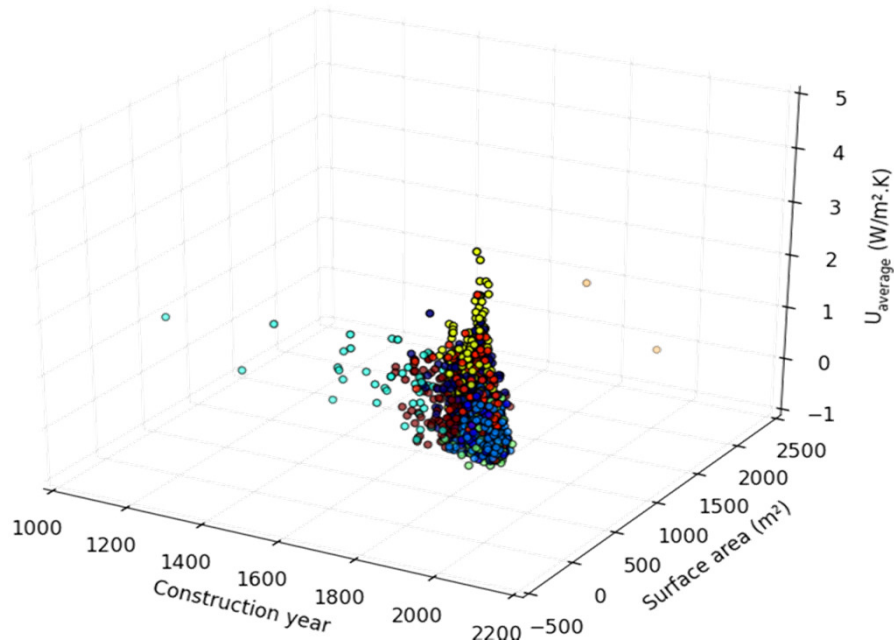
- Consommations énergétiques EP [kWh/(m².an)]
- Potentiel de changement climatique [kg CO₂ eq./(m².an)]

Espace de décision

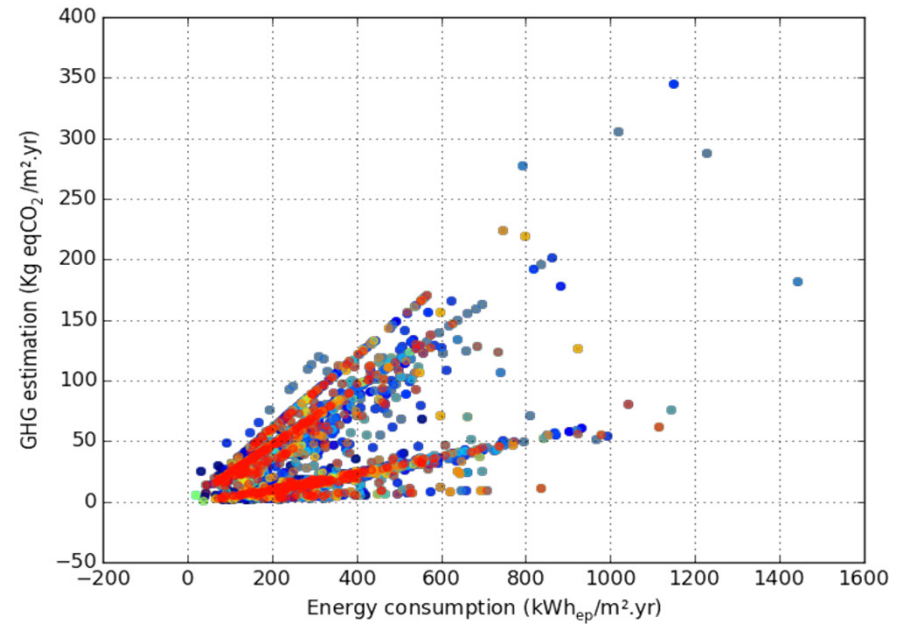
- Année de construction
- Surface [m²]
- Coefficient de transfert thermique de l'enveloppe [W/(m².K)]
- Type de logement (maison individuelle ou appartement)
- Zone climatique (H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d and H3)

Source: Lee, Boisson, Rivallain (2015)

Application : k-Means (k=9), sur l'espace de décision

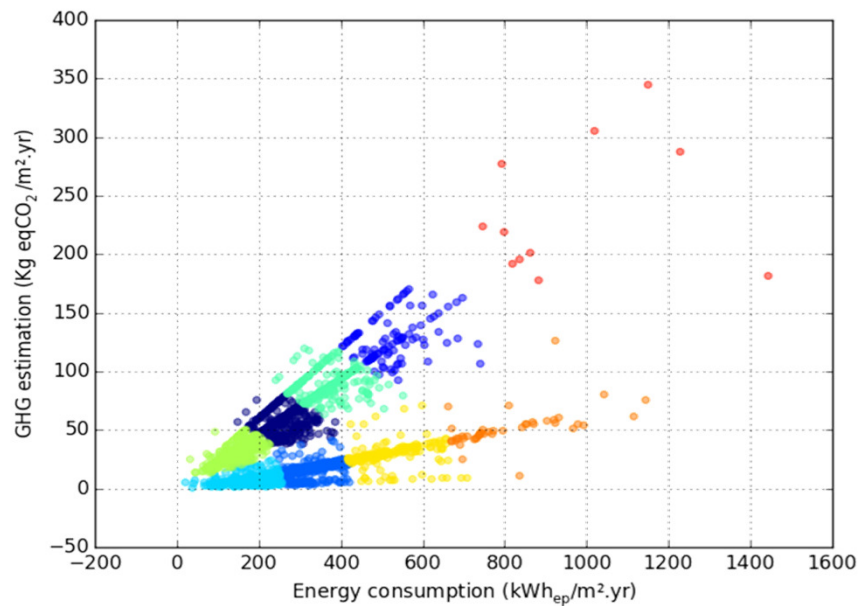


**Représentation dans
l'espace de décision**

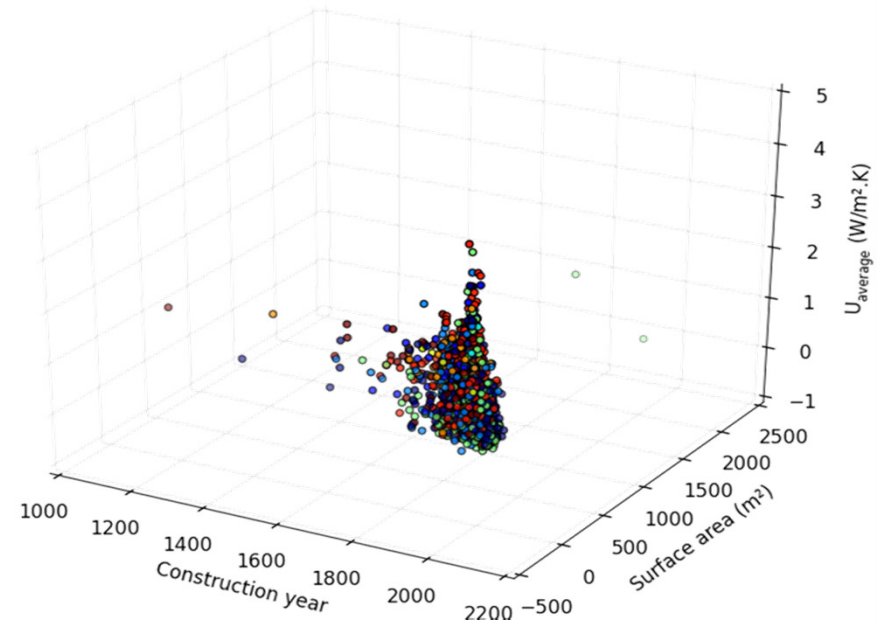


**Représentation dans
l'espace des objectifs**

Application : k-Means (k=9), sur l'espace des objectifs



Représentation sur l'espace des objectifs

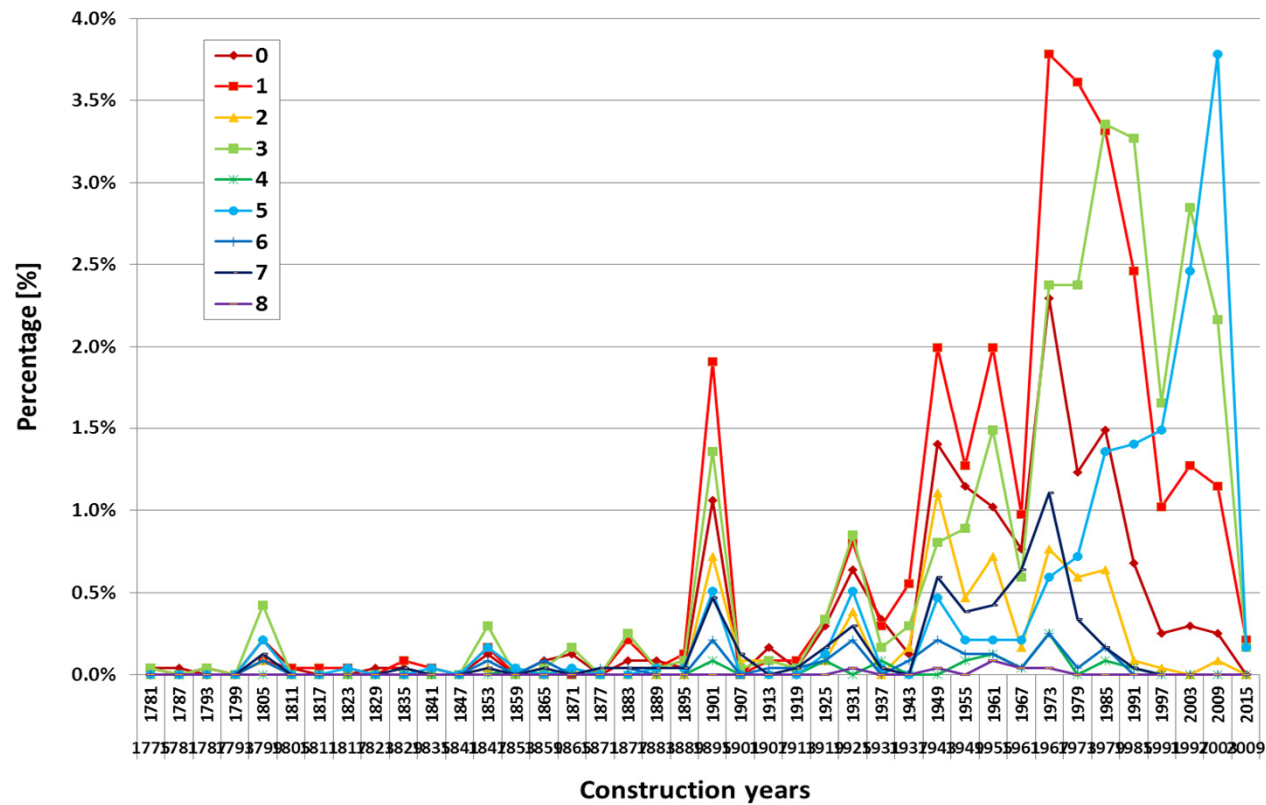


Représentation sur l'espace de décision

Cluster number (size)	Objective attributes		Average description of decision attributes
	Energy consumption kWh/(m ² ·y)	Greenhouse gas emission kg CO ₂ -eq/(m ² ·y)	
0 (345)	368	52	Built in 1947, average area, average U
1 (669)	275	38	Built in 1959, large area and average-low U
2 (154)	544	69	Built in 1942, small area and high U
3 (631)	191	27	Built in 1964, large area and low U
4 (022)	884	108	Built in 1949, small area and high U
5 (353)	118	20	Built in 1977, large area, the lowest U, mainly in H2
6 (048)	693	42	Built in 1925, small area, high U
7 (126)	440	102	Built in 1940, average area, and high U
8 (006)	1184	209	Built in 1956, the smallest area, and the highest U

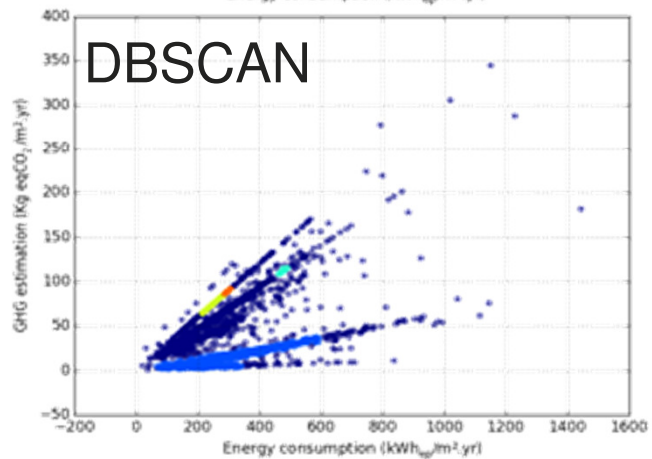
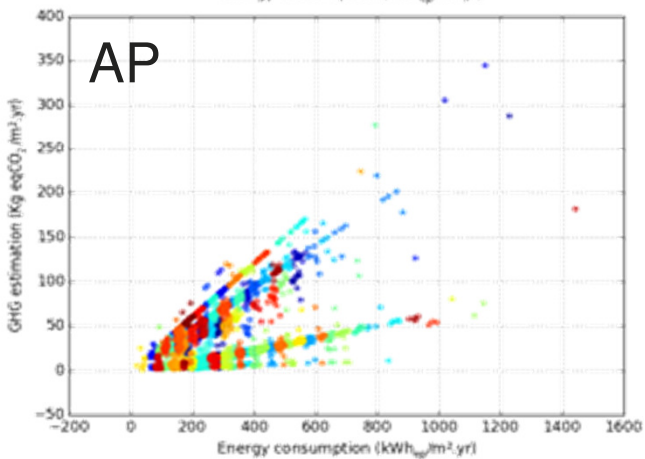
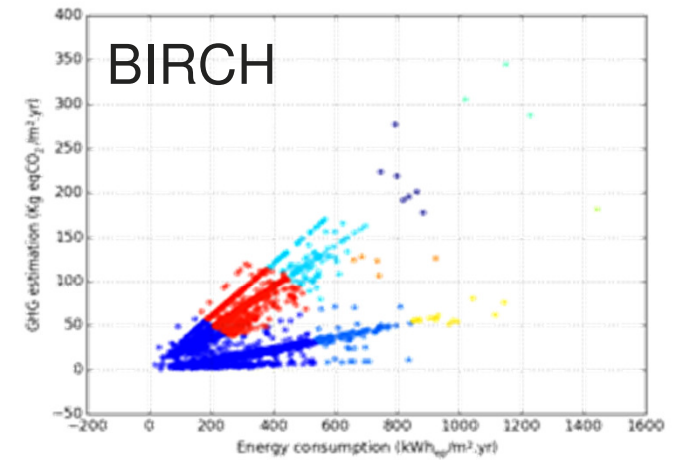
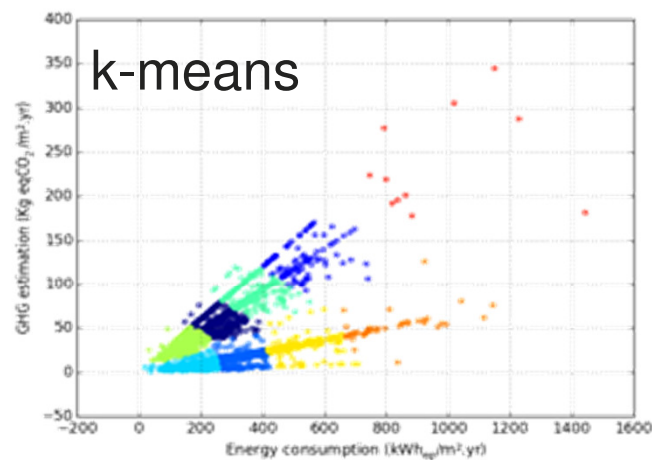
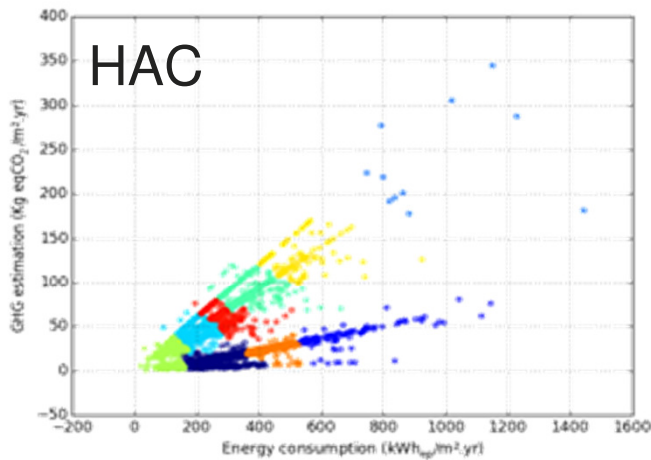
Source: Lee, Boisson, Rivallain (2015)

Faible différenciation en termes d'années de construction



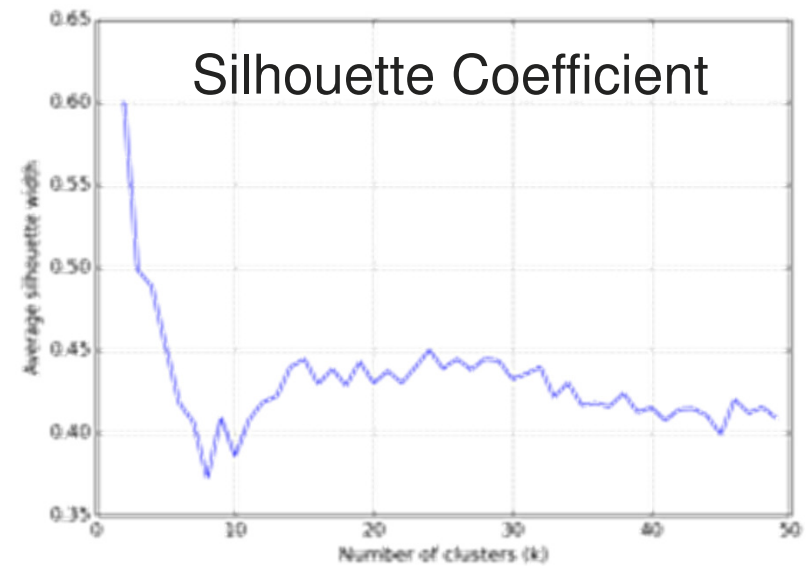
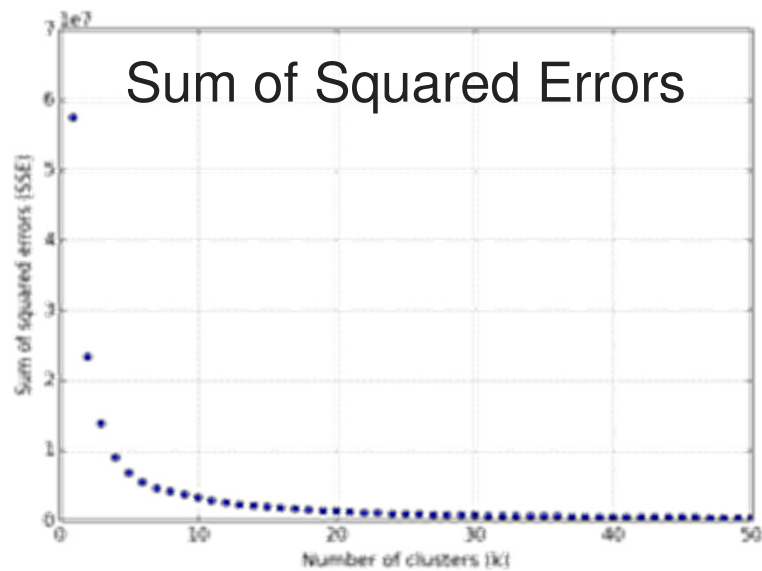
Source: Lee, Boisson, Rivallain (2015)

Approches HAC et k-Means, efficaces



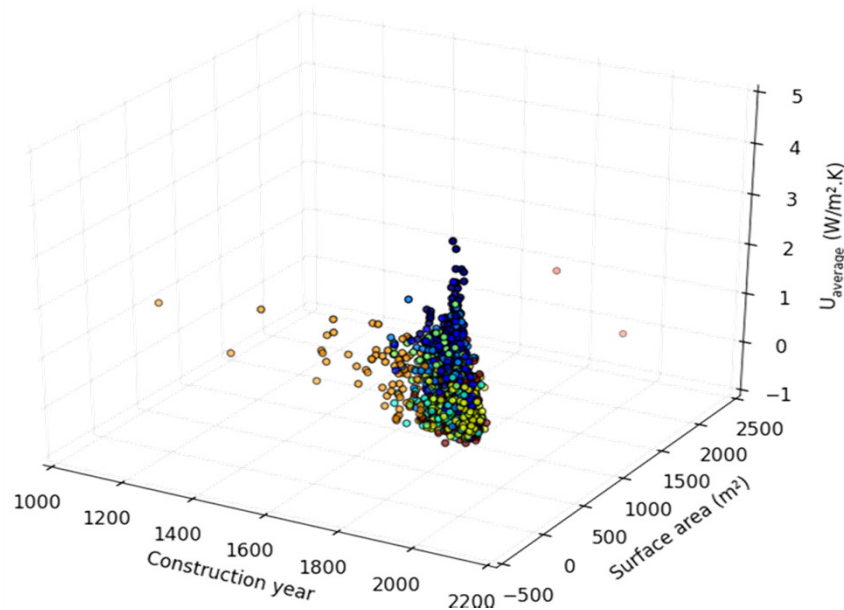
Source: Lee, Boisson, Rivallain (2015)

Example : Application of k-means with different numbers of clusters

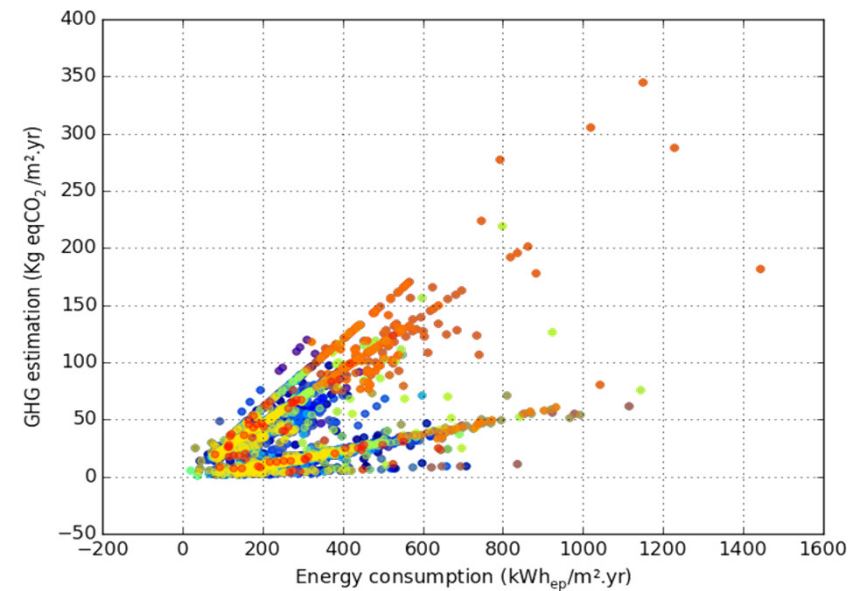


Perspective : application séquentielle (objectifs puis décision)

Application k-Means (k = 9)



**Représentation dans
l'espace de décision**



**Représentation dans
l'espace des objectifs**

Machine learning, approches innovantes pour la segmentation

Clustering et premières applications

- Choix des algorithmes en fonction du problème et des données
- Prétraitement nécessaire (normalisation, outliers, etc.)
- Réglage des paramètres (k, définition des distances, etc.)

Perspectives

- Complémentarité entre mathématiques appliquées et connaissance experte
- Application à un parc virtuel
- Espace des objectifs: économies d'énergie, coûts d'investissement
- Contribution potentielle des techniques de classification
- Modélisation d'un parc à partir d'un ensemble de bâtiments types donné



Quelques enjeux de la gestion de parcs
Un état de l'art des modélisation des parcs
Bâtiments types
Clustering et classification

Dynamiques d'évolution

Transition numérique
Conclusion

D'une vision statique à une vision dynamique

- Les parcs de bâtiments sont en perpétuelle évolution, fonction du contexte
 - Economique,
 - Social
 - Technique
 - Culturel
- Evolution en nombre, en termes de nature, composition
- Evolution en lien avec les technologies: performances et coûts...
- On ne s'intéressera pas ici à la question suivante :
Pourquoi les bâtiments sont-ils démolis ou transformés?
Largement fonction de l'histoire du bâtiment et du contexte local

Généralités

- La plupart des modèles de parc sont des modèles Input-output
- Ils sont notamment exploités pour l'analyse de flux de masse
- Principales phases du cycle de vie
 - a) Construction neuve (input), largement dépendant du parc, contexte
 - b) Exploitation, maintenance, rénovation, réhabilitation
 - c) Démolitions (output)

Modèles analytiques : Leaching models

Exemple :

$$\begin{aligned}\frac{dS(t)}{dt} &= \textit{inflow}(t) - \textit{outflow}(t) \\ &= \textit{inflow}(t) - c \times S(t)\end{aligned}$$

Source : Van der Voet, Kleijn, Huele, Ishikawa, & Verkuijden (2002)

Modèles analytiques : Delay models

Exemple (en particulier pour des matériaux ou produits de construction):

$$\textit{outflow}(t) = \textit{inflow}(t-L)$$

Modèles dynamiques

Construction neuve (input)

Elle dépend notamment de:

- L'évolution démographique
- Remplacement des surfaces démolies
- La demande de surface par activité (économique)

Des données statistiques sont généralement disponibles.

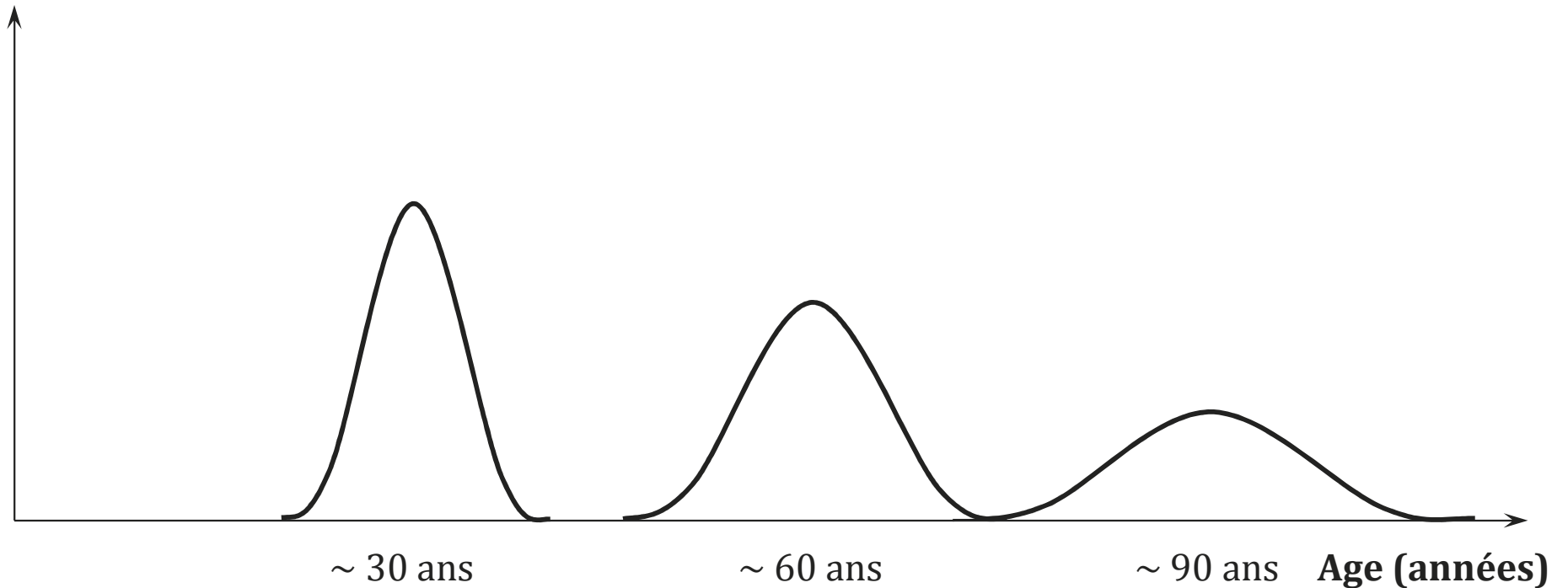
NB. Grande différenciation entre les stocks dits matures et ceux des pays émergents

Exploitation, maintenance, rénovation, réhabilitation

- Impact considérable de la fréquence et de l'intensité des opérations de rénovation et réhabilitation sur l'évolution de la valeur économique, social et culturelle
- Durée de vie (de service) fonction de la qualité de la construction neuve, de la maintenance et rénovation
- Généralement, peu d'information sur ces points, en particulier pour les parcs « territoriaux ».
- Les gestionnaires de parc disposent généralement de données de coûts annuels, permettant une estimation de l'évolution à moyen terme.

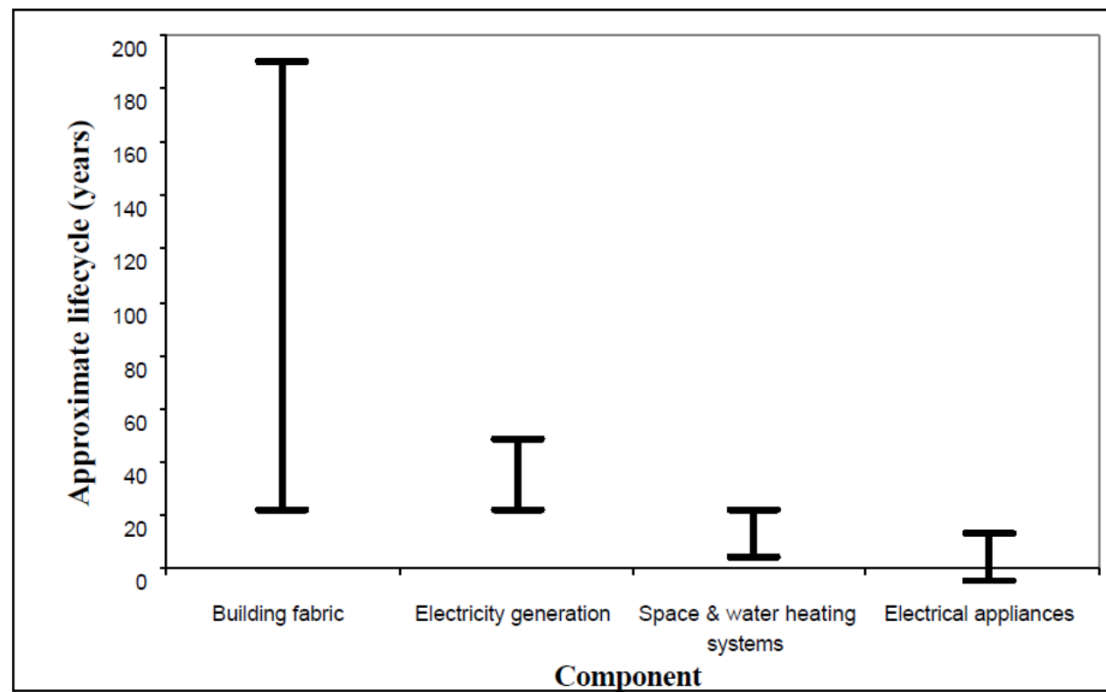
Application de cycles de maintenance-rénovation à un modèle de cohortes

Exemple: 30 ans entre deux phases de maintenance



Source: BBSR (2011)

Très forte variabilité des temps caractéristiques associés aux cycles de vie des différents composants



Source: (Johnston, 2003)

Démolitions (output)

- Taux de démolition très faibles en Europe occidentale: entre 0,05 et 0,1%/an
- Peu de données et de modèles explicites (Thomsen & van der Flier, 2011)
- Introduction des modèles de mortalité par Gleeson (1986) et Johnstone (1994, 2001, 2004), fonction des taux annuels de démolition, de la distribution de classe d'âge des « survivants », des « disparus »
- En l'absence de données, recours à des approches par distributions
- Les démolitions sont le fruit d'un contexte décisionnel complexe, qui ne saurait se résumer à leur âge

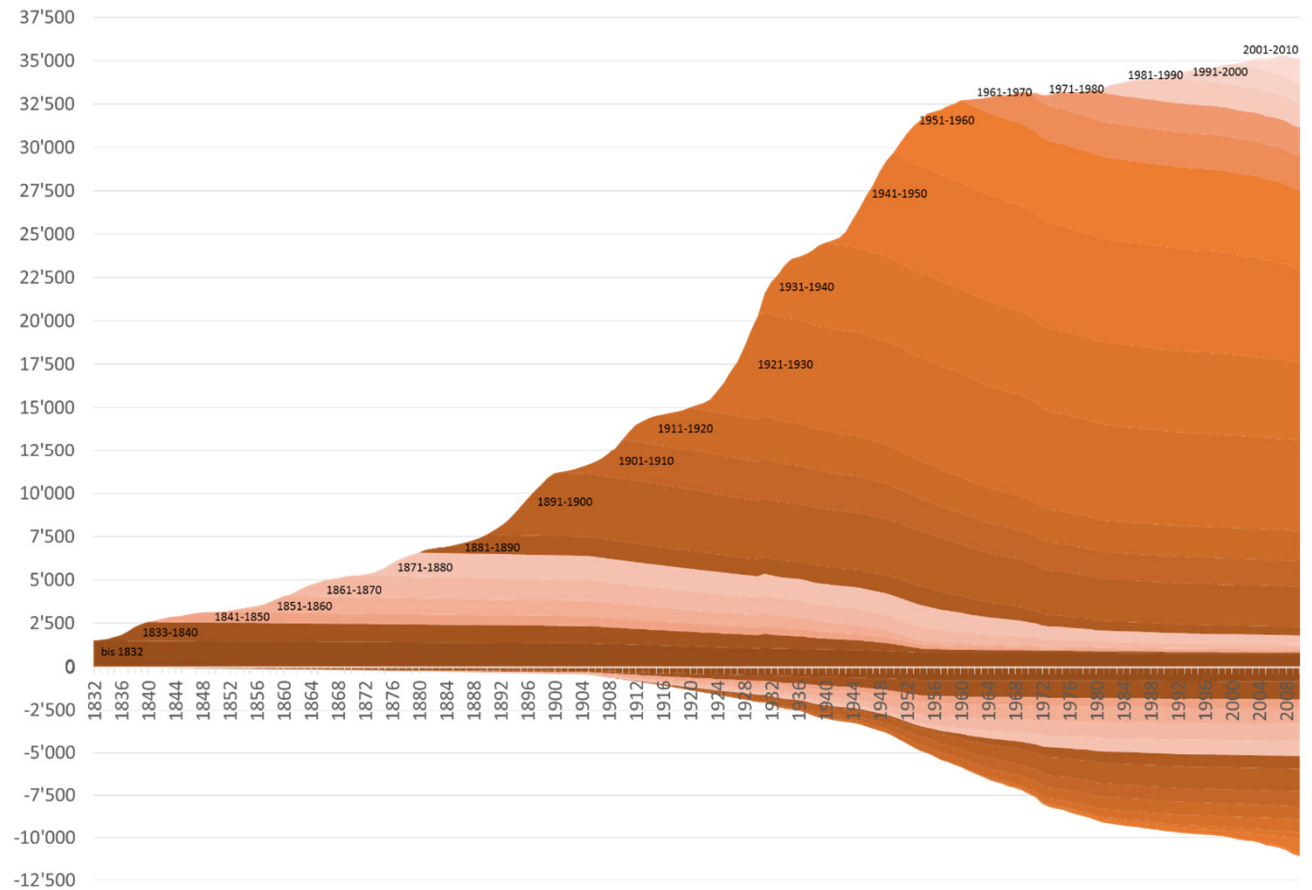
- Démolit on parce que les bâtiments sont en mauvais état?
Ou sont-ils en mauvais état parce qu'il y a volonté de les démolir?

Durées de demi-vie, quelques exemples

- Japon (Komatsu, Kato, Yashiro, 1994)
 - Construction résidentielle en bois : 38.2 ans (1987)
 - Bâtiments de bureaux en béton armé : 34.8 ans
 - Bâtiments « anciens »: 50.6 ans
- Ettlingen, Allemagne (Bradley & Kohler, 2007)
 - Bâtiments résidentiels : > 300 ans
 - Tertiaire : 140 ans
 - Industrie (production): environ 50 ans
- Salford, UK (Tanikawa & Hashimoto, 2009)
 - Centre urbain : 81 ans (durée de vie)
 - Moyenne nationale : 128 ans
- Sources d'information: registre des « transactions » (Japon); assurance incendie (Allemagne)

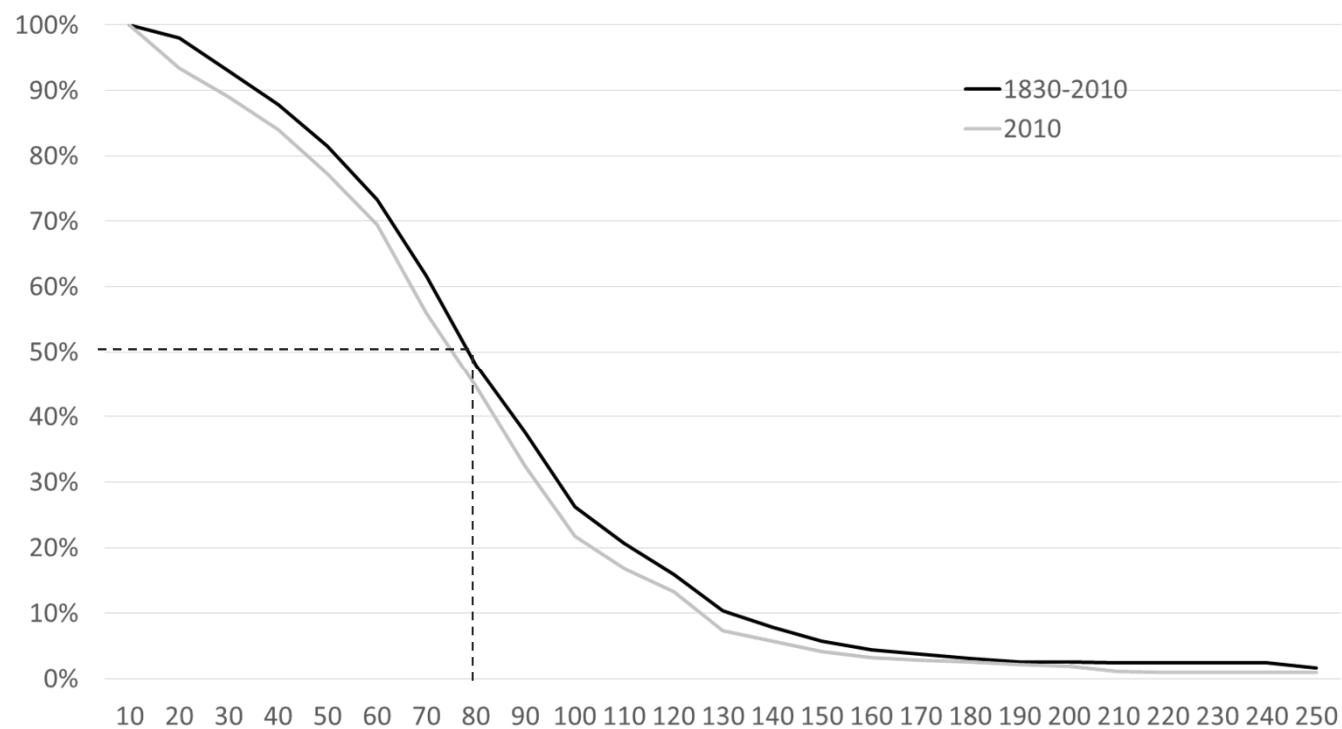
Reconstruction
à partir d'un
ensemble de
sources
hétérogènes

Reconstitution
of the stock of Zurich
1832 to 2010
(number of residential
buildings per year)



Source: Aksozen, Hassler, Kohler, Rivallain (2015)

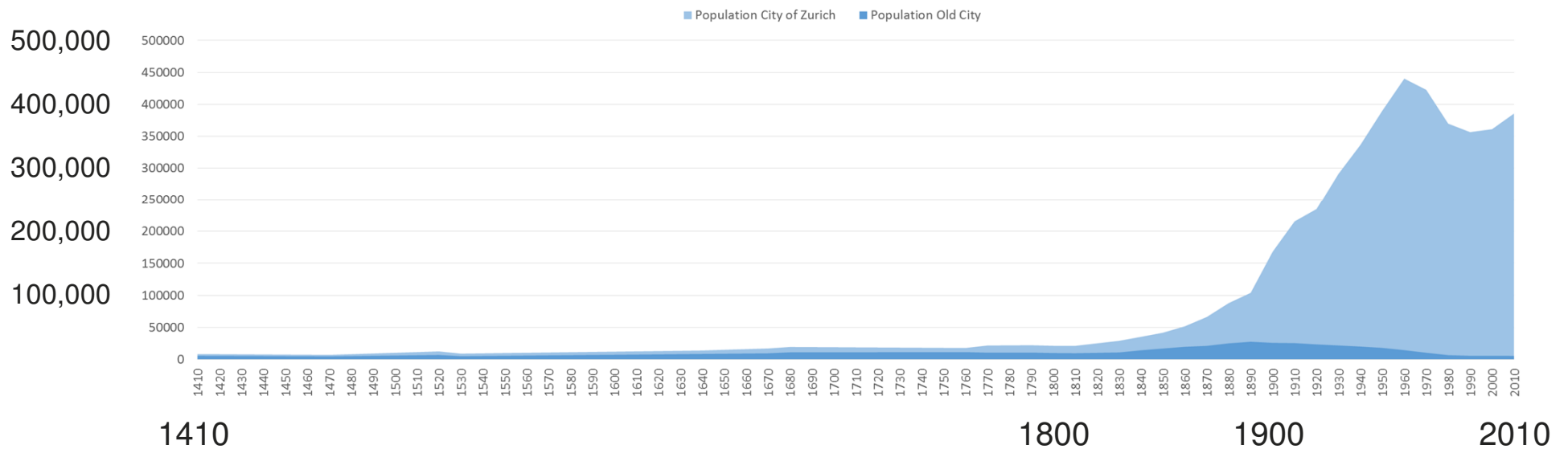
Durée de demi-vie comprise entre 70 et 80 ans



Source: Aksozen, Hassler, Kohler, Rivallain (2015)

Faible recul sur l'appréciation des durées de vie

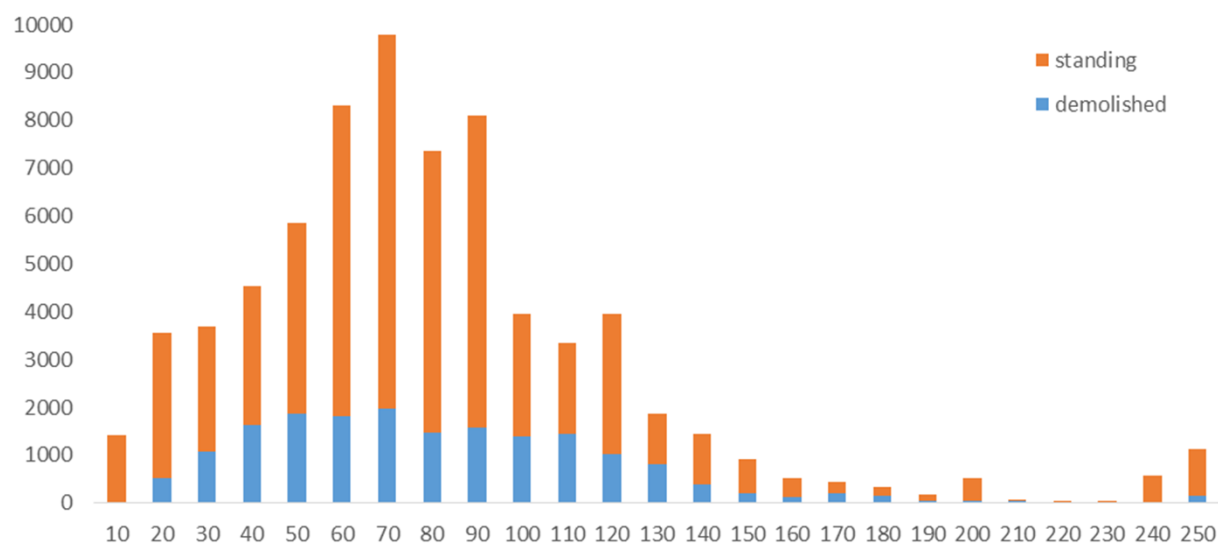
Growth of the population 1410-2010 of the whole City of Zurich (light) and of the historic district of Zurich (dark)



Source: Aksozen, Hassler, Kohler, Rivallain (2015)

Faible dépendance de la démolition à l'âge

Distribution of the still standing and demolished buildings, in function of age classes

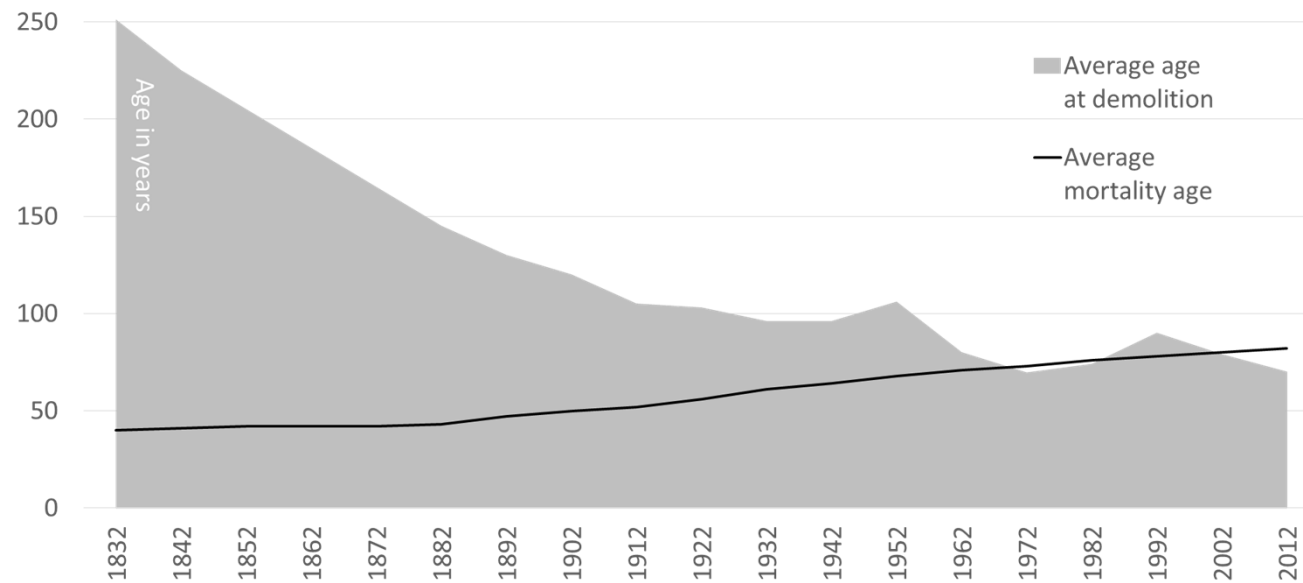


Source: Aksozen, Hassler, Kohler, Rivallain (2015)

Modèles prospectifs et données

- La difficulté n'est pas dans la construction mathématique mais bien dans l'accès à des données pertinentes, complètes, sur des temps longs
- La segmentation du parc en termes de réhabilitation énergétique n'est pas nécessairement celle qui conviendra du point de vue des dynamiques d'évolution.
- Dépasser les avis d'experts pour l'évaluation des durées de vie des bâtiments
- Les durées de vie estimées sur la base de données statistiques sont souvent bien supérieures aux appréciations expertes
- Il n'existe pas de relation simple entre l'âge et la probabilité de démolition

Évolutions de l'âge moyen des bâtiments démolis (Zurich) et de l'espérance de vie humaine



Source: Aksozen, Hassler, Kohler, Rivallain (2015)



Quelques enjeux de la gestion de parcs
Un état de l'art des modélisation des parcs
Bâtiments types
Clustering et classification
Dynamiques d'évolution

Modélisation des parcs existants & Transition Numérique

Conclusion

Le Numérique pour le Bâtiment c'est...

Des bases de données en croissance

Des objets connectés

Images et analyse d'images

Des maquettes numériques de bâtiment

Du court terme vers le long terme?



Existence de données par bâtiment, à grande échelle

- Évolution majeure
- Données publiques, données privées
- Qualité vérifiée ou non...

- Informations géographiques, cadastrales (OpenStreetMap, IGN)
- Enquêtes Insee, Enl, Phebus, Philocom
- Base de données des consommations énergétiques (fournisseurs d'énergie)
- Base MAJIC
- StreetView
- Etc.

Compléter les données manquantes par inférences statistiques

- Développement d'un modèle statistique permettant de calculer la probabilité jointe :

$$P(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$$

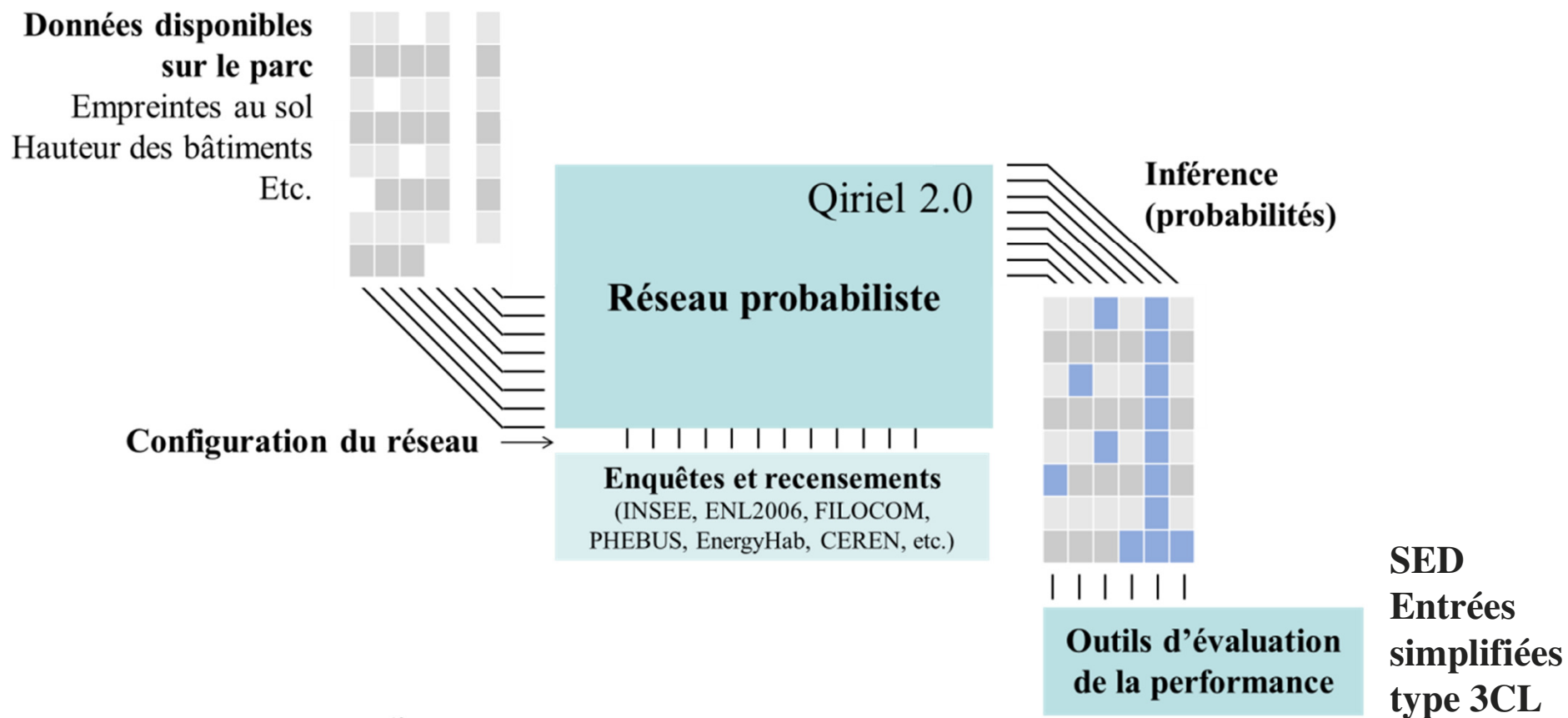
Avec : X_i les attributs d'un bâtiment (paramètres descriptifs).

- Connaître $P(X_1, \dots, X_i, \dots, X_n)$ permet l'estimation de $P(X_j | X_1, \dots, X_i, \dots, X_{n(i \neq j)})$
- Concrètement :

« Quelles est la valeurs la plus probable du niveau d'isolation d'un bâtiment collectif des années 1970 dans le sud de la France? »

$$P(U_{bat} | Achev=1970, Geo=sud)$$

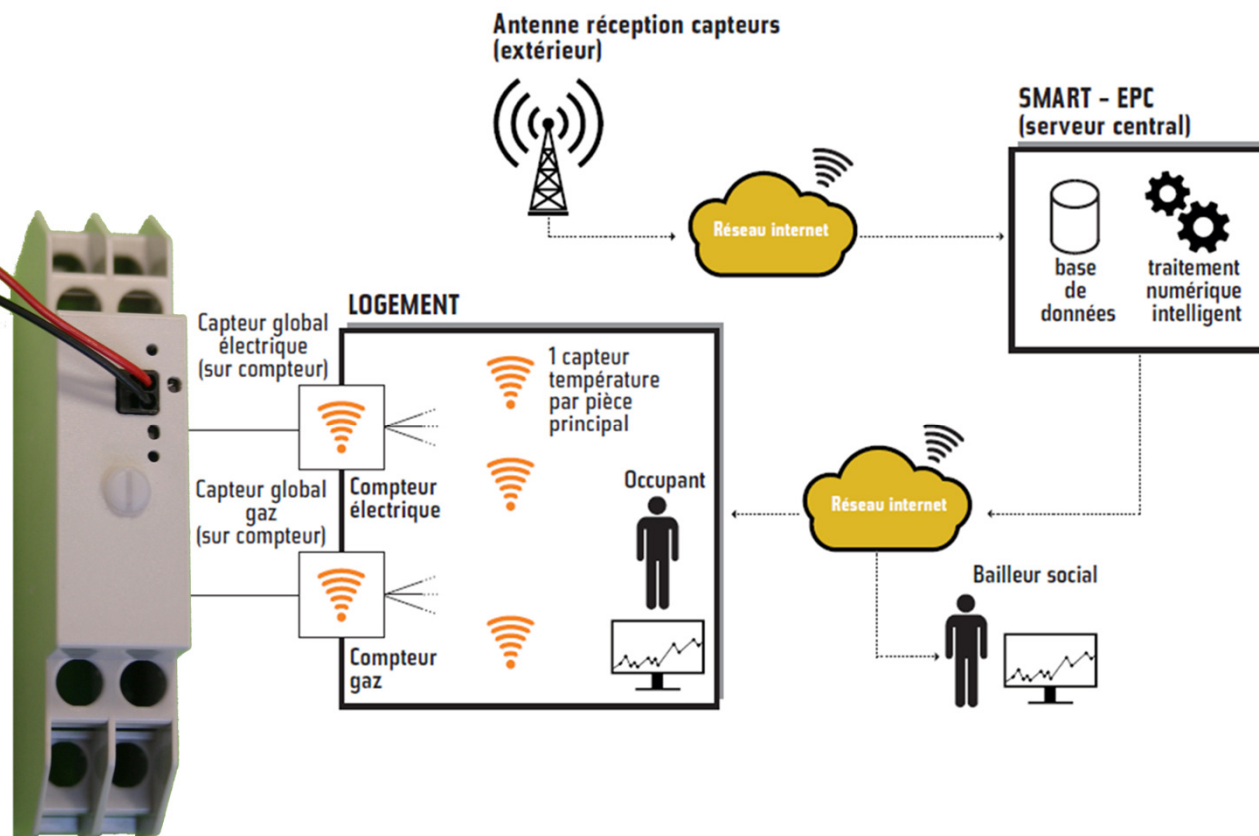
Compléter les données manquantes par inférences statistiques



Ou « carnet numérique de suivi et d'entretien du logement »

- Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (Article 11)
- Ensemble des informations utiles à la bonne utilisation, à l'entretien et à l'amélioration progressive de la performance énergétique du logement et des parties communes
- Obligatoire pour toute construction neuve... à compter du 1er janvier 2017
- Obligatoire pour tous les logements faisant l'objet d'une mutation à compter du 1er janvier 2025
- N'est pas obligatoire pour les logements relevant du service d'intérêt général





Convertir une donnée disponible en paramètre(s) physique(s)

- Exploitation de la connaissance métier pour :
spécifier une valeur probable (voire son incertitude), donnée à un paramètre physique, à partir d'une caractéristique observable
- Catalogues de produits, composants, systèmes
- Base de règle existante : Méthode 3CL, règles Th



Conclusion perspectives

Quelques messages (rappelés)

- Le patrimoine bâti doit répondre à de nombreux enjeux
- La modélisation du parc associée est intrinsèquement liée à la problématique considérée, différentes approches existantes
- Bâtiments types, approche opérationnelle mais peu robuste
- L'enjeu clé de la disponibilité des données pour construire et valider
- Nouvelles opportunités offertes par le développement du Numérique



Merci pour votre attention. mathieu.rivallain@cstb.fr

CSTB
le futur en construction