

## **Efficacité énergétique : coûts et bénéfices économiques des investissements dans le secteur résidentiel et immobilier de bureaux en France**

Angelos Souriadakis, Fabrice Catala, Catherine L'Hostis

*La loi sur la transition énergétique met en place des mesures destinées à favoriser l'efficacité énergétique auprès des particuliers, collectivités et entreprises : promotion des bâtiments à énergie positive, incitations fiscales favorisant les opérations de rénovation énergétique, prêts à taux zéro... Une analyse comparative de 23 de ces mesures dans le secteur du bâtiment permet d'établir un classement par ordre de mérite. Pour le tertiaire de bureaux les dispositions les plus efficaces ont trait au changement d'équipement (pompes à chaleur air/eau et air/air, pose de robinets thermostatiques).<sup>1</sup>*

Dans un contexte de prise de conscience générale de la nécessité de réduire les consommations énergétiques et de protéger l'environnement, a été placé sur le devant de la scène le thème de l'efficacité énergétique. On retrouve ainsi dans les principales mesures de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (titre II) la rénovation des bâtiments, premier poste de consommation énergétique du pays (44 % en 2012).

Dans cet esprit, la loi sur la transition énergétique met en place une série de mesures destinées à favoriser l'efficacité énergétique auprès des particuliers, collectivités et entreprises : la promotion des bâtiments à énergie positive, incitations fiscales favorisant les opérations de rénovation énergétique, prêts à taux zéro...

---

1. Ce projet a été financé par la Caisse des Dépôts et Consignations, ENGIE, l'Union Française de l'Electricité et l'ADEME. Les auteurs, Ylios et Frontier Economics sont seuls responsables du contenu de cette publication, qui ne reflète pas nécessairement l'opinion des financeurs. Les financeurs ne sont pas responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations qui y sont contenues. La synthèse de cette étude a été publiée dans son intégralité par la revue Enerpresse.

L'étude que nous avons menée propose une comparaison de 23 mesures d'efficacité énergétique<sup>2</sup> (qu'elles soient actives, passives ou de changement d'équipement), pour un objectif de politique énergétique et écologique donné (5 objectifs politiques ont été retenus : la réduction de la consommation énergétique en énergie primaire, la réduction de la consommation énergétique en énergie finale, la réduction de l'émission de gaz à effet de serre, la réduction de la facture énergétique et la maîtrise de la dépendance énergétique) sur la base du rapport coût-bénéfice de la mesure, le bénéfice étant mesuré en termes de niveau de contribution à l'atteinte de cet objectif.

Ces éléments ont ainsi permis l'établissement d'un ordre de mérite ou « Merit Order » des mesures d'efficacité énergétique.

L'étude, dont le périmètre a volontairement été limité au bâtiment, a ainsi analysé de manière détaillée trois parcs : les maisons individuelles, les logements collectifs et le tertiaire de bureaux, représentant quelques 2 500 millions

---

2. Voir annexe.

de m<sup>2</sup> et près de 25,2 % de la consommation énergétique française.

L'étude démontre que le déploiement des mesures d'efficacité énergétique est toujours dépendant de quatre facteurs :

- Deux facteurs connus et d'ores et déjà pris en compte par les politiques actuelles : les caractéristiques climatiques de la zone géographique d'une part, et la vétusté des bâtiments d'autre part.
- Deux autres facteurs que l'étude met en exergue : la nature de l'objectif visé en priorité, et la non-linéarité de l'efficacité des mesures prises individuellement et/ou de manière combinée.

Ainsi, il apparaît nécessaire dans chaque région, et pour chaque type de parc de clarifier l'objectif prioritaire en regard de la stratégie énergétique du territoire concerné, puis de constituer un bouquet spécifique de mesures permettant de maximiser l'atteinte de l'objectif politique choisi, avec arrêt des investissements au moment où le coût marginal devient et reste supérieur au bénéfice attendu en termes d'impact économique (effet « falaise d'investissement »).

Les résultats de l'étude montrent qu'il n'existe pas de politique d'efficacité énergétique unique mais, pour un objectif recherché et un parc donné, une somme de bouquets d'efficacité

énergétique dont il conviendra de mesurer les résultats effectifs au travers d'un système dynamique de reporting. Cette approche est la seule susceptible de garantir le niveau d'agilité et d'adaptabilité que le sujet complexe de l'efficacité énergétique requiert.

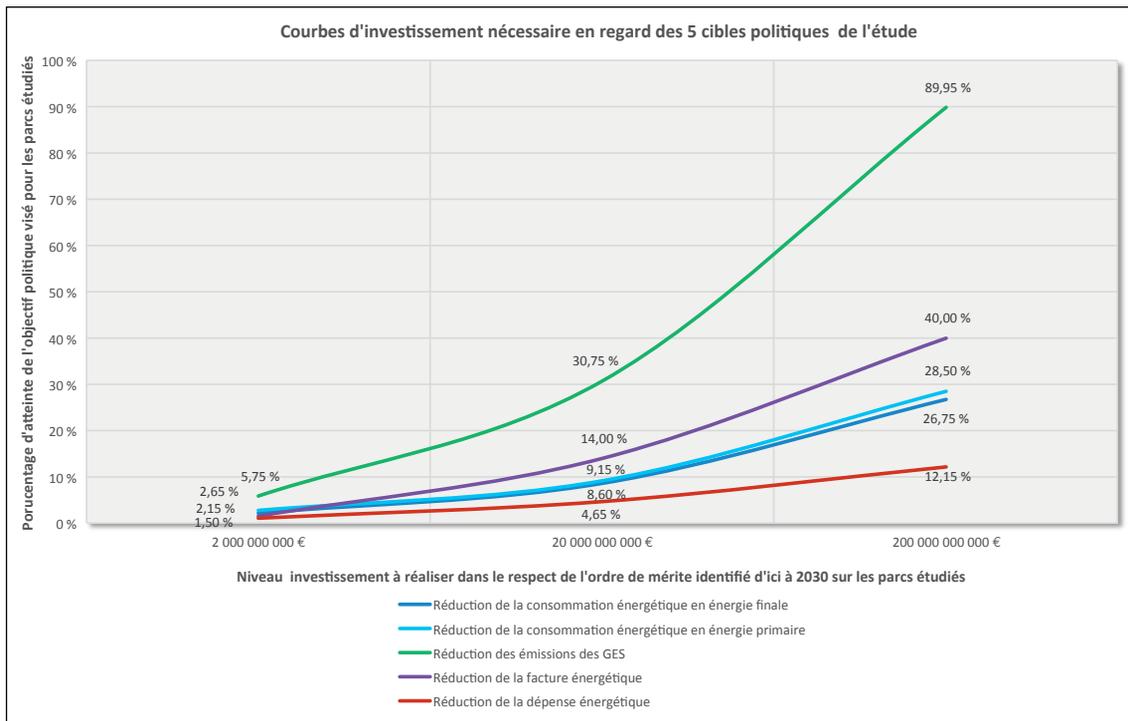
#### En matière d'investissement :

- **Les courbes d'investissement relatives au déploiement des mesures** suivent une évolution exponentielle, et ce, quel que soit l'objectif visé. Ainsi, les premiers gains sont réalisés à moindre coût, alors que le rapport coût / bénéfice sur les derniers gains supposent des investissements très élevés voire inatteignables (voir Figure 1) :
- L'évolution de ces courbes d'investissement confirme deux tendances : la nécessité de renforcer la recherche et développement dans les cleantechs pour abaisser leurs coûts (les investissements identifiés dans l'étude ne tiennent pas compte des progrès technologiques susceptibles d'être réalisés) ; le besoin d'évolution de la fiscalité (taxes, obligations, incitations) pour rentabiliser plus rapidement les mesures vertueuses au regard des objectifs fixés, en veillant à une acceptabilité sociale et économique.

#### Articulation de l'étude avec les enjeux de la COP 21

La réduction des émissions de gaz à effet de serre, dans la lignée des objectifs de la COP21, est une priorité des politiques publiques. L'étude invite à réfléchir au coût de ces politiques publiques, notamment pour les ménages et les entreprises. De fait, cela impose de mener des réflexions à différents niveaux et en particulier :

- Renforcer le dialogue au niveau européen pour bâtir une union de l'énergie : si les politiques d'efficacité énergétique ne peuvent être menées efficacement qu'à un échelon régional / local, il reste néanmoins important de bâtir des politiques cohérentes à un niveau supranational (et donc européen) afin de disposer d'un cadre d'action commun ;
- Renforcer la R&D pour accroître la compétitivité à long terme des solutions vertueuses ;
- Renforcer la fiscalité sur le carbone pour réduire l'attrait à court terme de solutions moins onéreuses et moins vertueuses : la baisse des prix du pétrole, qui constitue une menace pour des politiques d'efficacité énergétique tournées vers le carbone (baisse des prix du fioul, du gaz, etc.), rappelle la nécessité de développer une fiscalité écologique fondée sur un prix du carbone (taxe ; échange de quotas d'émission) avec une évolution selon les prix de marché de manière à garantir une hausse tendancielle, même à court terme ;
- Identifier les mécanismes permettant d'éviter qu'une politique tournée vers le carbone ne se traduise pas par un accroissement des inégalités.



Note de lecture : Les pourcentages figurant sur le graphique représentent uniquement l'objectif visé. Les objectifs politiques sont à considérer indépendamment les uns des autres.

**Figure 1. Courbes d'investissement nécessaire au regard des objectifs politiques poursuivis**

Source : Construction Ylios – Frontier Economics

En ce qui concerne les parcs pris individuellement :

- Pour chacun des objectifs politiques, l'étude a permis de **réaliser un ordre de mérite des mesures par parc**.
  - Illustration de « merit order » relatif à l'objectif de réduction de la consommation énergétique en énergie primaire<sup>3</sup> :
  - Ces « merit order » permettent l'élaboration de politiques ciblées, répondant à des objectifs précis et différenciés qui peuvent être déclinés parc par parc. A cet égard, une approche ciblée sur des niveaux régionaux ou infra-régionaux apporterait, en complément de notre étude, un éclairage utile sur des plans d'action plus précis.

Le tableau de synthèse (figure 3) reprend les principaux résultats de l'étude en fonction du

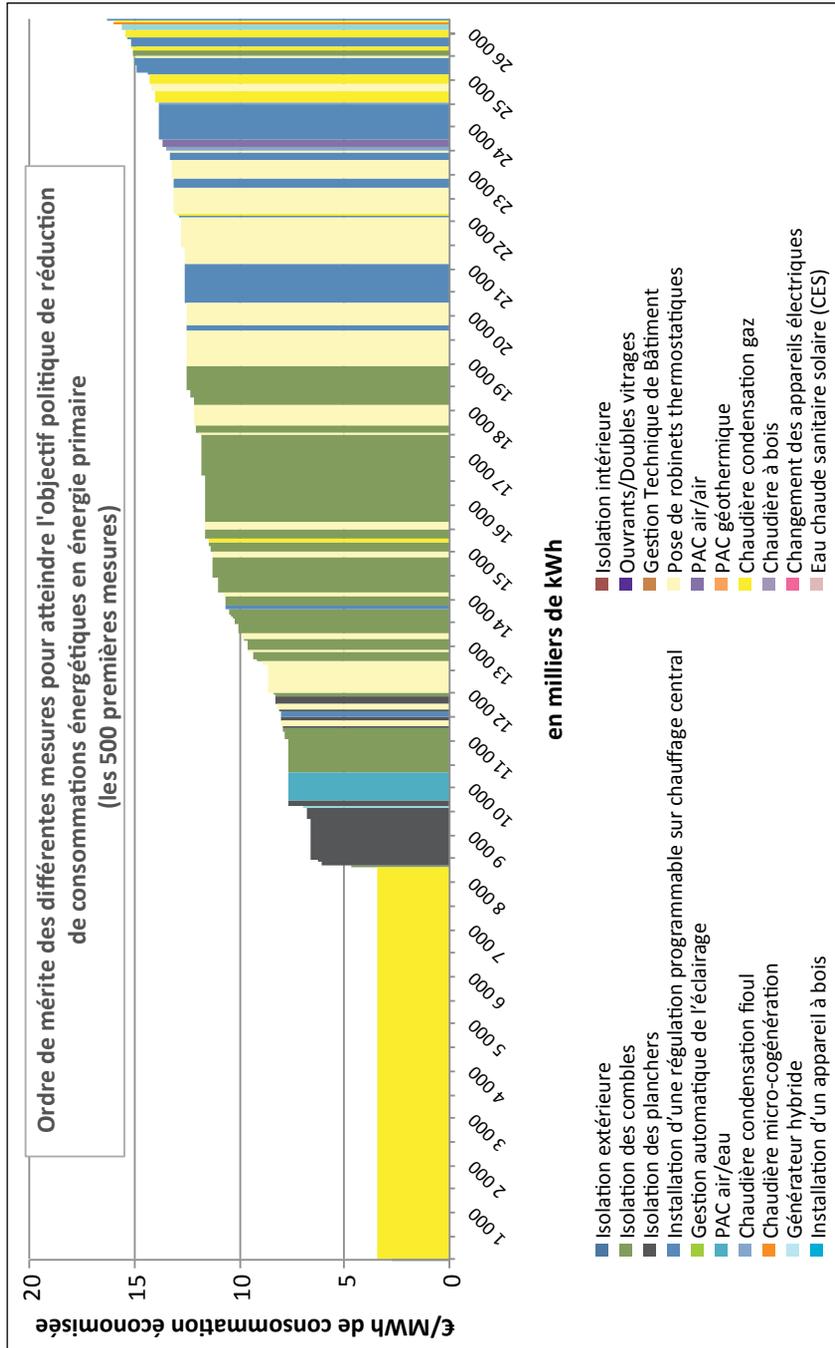
3. Le graphique d'ordre de mérite ci-dessus est présenté à titre illustratif dans la mesure où il ne concerne qu'un cas particulier, celui relatif à l'objectif « Réduction des consommations en énergie primaire ».

niveau d'atteinte des objectifs politiques pour chaque parc étudié.

Il met en évidence que les mesures apparaissent comme particulièrement pertinentes :

- pour les maisons individuelles sont relatives au changement d'équipement : la pose de robinets thermostatiques et l'installation de régulation programmable sur chauffage central en priorité.
- pour les logements collectifs relèvent des mesures passives d'efficacité énergétique : l'isolation des planchers et l'isolation des combles en priorité.
- pour le tertiaire de bureaux sont relatives au changement d'équipement : les pompes à chaleur air/eau, les pompes à chaleur air/air et la pose de robinets thermostatiques en priorité.

Enfin, l'étude a permis d'identifier les impacts des mesures d'efficacité énergétique préconisées sur les combustibles de chauffage utilisés dans les différents parcs. ■



Note de lecture : Le graphique ci-dessus représente le déploiement des mesures (bâtons de couleur), par coût en unité d'objectif politique croissant (axe des ordonnées). L'axe des abscisses permet de quantifier le rythme de progression vers l'atteinte des objectifs politiques. Ainsi, par exemple, dans le graphique ci-dessus, une réduction de près de 8 500 000 MWh peut être atteinte en déployant des mesures dont le coût unitaire par MWh économisé est inférieur à 5 €.

**Figure 2. Exemple d'ordre de mérite pour atteindre l'objectif politique de réduction des consommations énergétiques en énergie primaire** - Source : Construction Ylios – Frontier Economics

		Parcs étudiés		
		Maisons Individuelles	Logements collectifs	Tertiaire de bureaux
Objectifs politiques	Réduction de la consommation en énergie primaire	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. Installation d'une régulation programmable</li> <li>3. Isolation des combles</li> <li>4. Chaudière à condensation gaz</li> <li>5. PAC air/air</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolation des planchers</li> <li>2. Isolation des combles</li> <li>3. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>4. Raccordement aux réseaux de chaleur</li> <li>5. Chaudière micro-cogénération</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PAC air/eau</li> <li>2. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>3. Chaudière à condensation gaz</li> <li>4. PAC air/air</li> <li>5. GTB</li> </ol>
	Réduction de la consommation en énergie finale	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. Installation d'une régulation programmable</li> <li>3. Isolation des combles</li> <li>4. PAC air/air</li> <li>5. Chaudière à condensation fioul</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolation des planchers</li> <li>2. Isolation des combles</li> <li>3. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>4. Chaudière micro-cogénération</li> <li>5. Chaudière à condensation fioul</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. PAC air/eau</li> <li>3. Chaudière à condensation gaz</li> <li>4. PAC air/air</li> <li>5. GTB</li> </ol>
	Réduction des émissions de GES	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. Chaudière à bois</li> <li>3. Installation d'une régulation programmable</li> <li>4. PAC air/air</li> <li>5. Installation d'un appareil à bois</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolation des planchers</li> <li>2. Isolation des combles</li> <li>3. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>4. Chaudière micro-cogénération</li> <li>5. Eau Chaude sanitaire solaire (CES)</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. PAC air /eau</li> <li>3. PAC air/air</li> <li>4. GTB</li> <li>5. Isolation des combles</li> </ol>
	Réduction de la facture énergétique	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. Installation d'une régulation programmable</li> <li>3. Isolation des combles</li> <li>4. Chaudière à condensation gaz</li> <li>5. Chaudière à bois</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Isolation des planchers</li> <li>2. Isolation des combles</li> <li>3. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>4. Chaudière à condensation gaz</li> <li>5. Chaudière micro-cogénération</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. PAC air /eau</li> <li>3. Chaudière à condensation gaz</li> <li>4. PAC air/air</li> <li>5. GTB</li> </ol>
	Réduction de la dépendance énergétique	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>2. Installation d'une régulation programmable</li> <li>3. PAC air/air</li> <li>4. Chaudière à bois</li> <li>5. Chaudière à condensation gaz</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Raccordement aux réseaux de chaleur</li> <li>2. Isolation des planchers</li> <li>3. Isolation des combles</li> <li>4. Chaudière à bois</li> <li>5. Pose de robinets thermostatiques</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. PAC air/air</li> <li>2. PAC air /eau</li> <li>3. Pose de robinets thermostatiques</li> <li>4. Chaudière à condensation gaz</li> <li>5. Gestion automatique de l'éclairage</li> </ol>

**Figure 3. Tableau de synthèse des résultats de l'étude représentant les cinq premières mesures selon leur coût moyen pondéré en unité d'objectif politique**

Source : Construction Ylios – Frontier Economics

Combustible de chauffage	Objectifs politiques visés				
	Réduction de la consommation énergétique en énergie primaire	Réduction de la consommation énergétique en énergie finale	Réduction des émissions de GES	Réduction de la facture énergétique	Réduction de la dépendance énergétique
Electricité 	50%			3%	
Gaz de réseau 		7%	6%		9%
Charbon 	24%	25%	54%		
Bois 	19%	20%			
Chauffage urbain 	2%	16%		25%	4%
Fioul 	3%	16%	26%	44%	50%
GPL 	2%	16%	14%	28%	37%

Note de lecture : Pour l'objectif de réduction des émissions de GES, les mesures préconisées par notre étude impliquent pour majoritairement (54 %) un abandon du charbon puis du fond (26 %) comme combustible de chauffage.

**Figure 4. Pourcentage d'abandon des combustibles de chauffage, suite à l'application des différentes mesures** (Calcul réalisé sur les 500 premières mesures)

Source : Construction Ylios – Frontier Economics

## Annexes

# Hypothèses de travail retenues pour l'étude

### Annexe 1 : Périmètre de l'étude

- Les trois parcs étudiés représentent :

	Maisons individuelles	Logements collectifs	Bâtiments tertiaires
<b>Sous-catégorie</b>	13 sous-catégories	18 sous-catégories	6 sous-catégories
<b>Nombre de logement</b>	<b>15 000 000</b> Sur 16 459 000	<b>9 500 000</b> Sur 12 450 000	320 000
<b>Surface en m<sup>2</sup></b>	1 640 000 000	678 000 000	<b>196 000 000</b> Sur 950 000 000

Source : Engie, UFE, Ylios – Frontier Economics

- L'étude porte sur l'application de 23 mesures d'efficacité énergétiques :

Type de mesures	Nature des mesures d'efficacité énergétiques étudiées	
Mesures d'efficacité énergétique passives	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation extérieure</li> <li>• Isolation intérieure</li> <li>• Isolation des combles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ouvrants / doubles vitrages</li> <li>• Isolation des planchers</li> </ul>
Mesures d'efficacité énergétique actives	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gestion Technique de Bâtiment</li> <li>• Installation d'une régulation programmable sur chauffage central</li> <li>• Gestion automatique de l'éclairage</li> </ul>	
Mesures d'efficacité énergétique de changement d'équipement	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Changement des appareils électriques</li> <li>• Chaudière à bois</li> <li>• Chaudière à condensation fioul</li> <li>• Chaudière à condensation gaz</li> <li>• Chaudière micro-cogénération</li> <li>• Eau chaude sanitaire solaire (CES)</li> <li>• Eau chaude sanitaire thermodynamique (CET)</li> <li>• Installation d'un appareil à bois</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PAC air/air</li> <li>• PAC air/eau</li> <li>• PAC géothermique</li> <li>• Eau chaude sanitaire solaire (CES)</li> <li>• Photovoltaïque + stockage</li> <li>• Pose de robinets thermostatiques</li> <li>• Raccordement aux réseaux de chaleur</li> </ul>

Source : Construction Ylios – Frontier Economics

- L'étude tient compte **des incompatibilités de déploiement** entre les 23 mesures retenues.
- L'étude se concentre sur **les rénovations du parc bâti et ne prend pas en compte l'immobilier neuf**, considérant que ce dernier sera bâti selon des normes d'efficacité énergétique renforcées.
  - L'étude se place dans **les conditions de marché et de technologies existantes** et ne se projette pas dans le cadre d'une rupture technologique qui viendrait bouleverser l'ordre de mérite des solutions d'efficacité énergétique.
  - L'horizon de temps retenu dans le cadre de cette étude est **2015 – 2030**.

## Annexe 2 : Méthodologie employée pour l'établissement du « merit order »

L'objectif de la construction d'un modèle de « merit order » ou ordre de mérite est d'identifier pour un objectif politique donné, le mix optimal de mesures d'efficacité énergétique qui peut être déployé sur le parc étudié afin de minimiser le coût d'atteinte de cet objectif. Pour cela, deux étapes d'analyse se succèdent :

- **Une première étape** vise à comparer les mesures d'efficacité énergétique selon leur coût d'installation par unité d'objectif politique visé en distinguant selon le type de bâtiment. Par exemple, le coût de travaux d'isolation des ouvrants par euro économisé sur la facture énergétique dans les maisons individuelles construites avant 1915 chauffées au gaz ;
- **Une deuxième étape** vise à quantifier le potentiel de déploiement des mesures sur le parc de bâtiments étudié, en commençant par celui dont le coût par unité d'objectif est le plus faible.

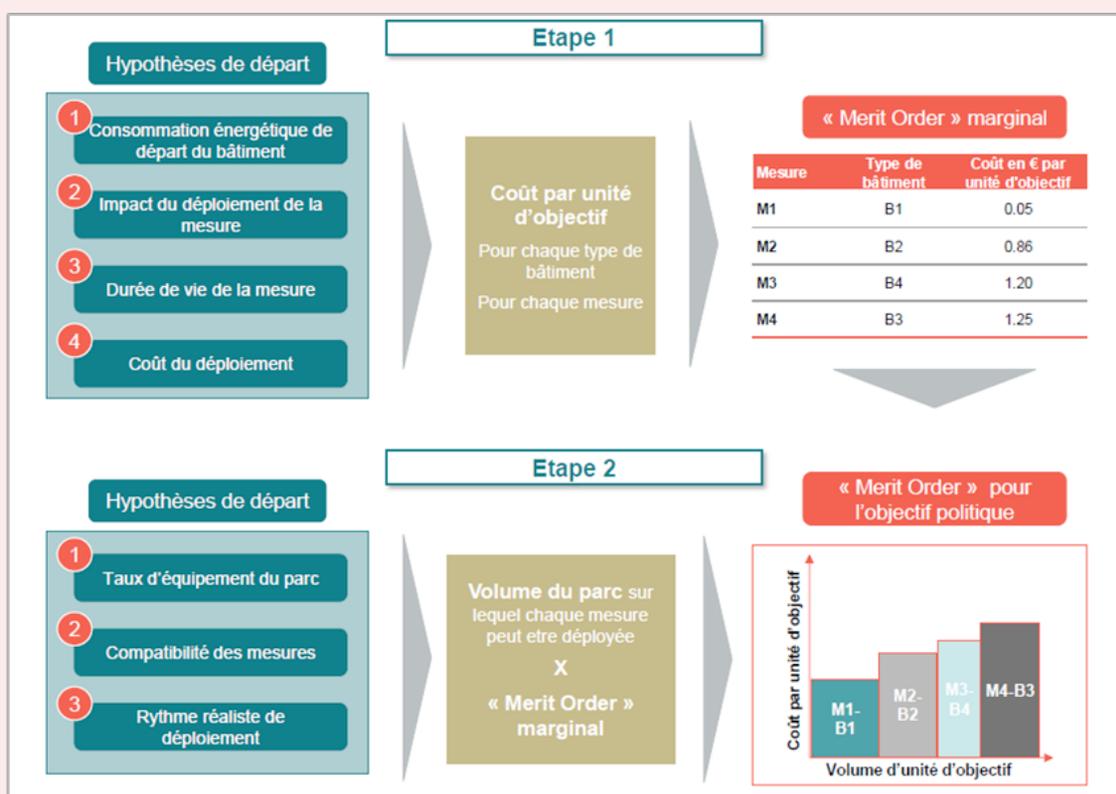


Figure 5. Tableau de synthèse des résultats de l'étude représentant les cinq premières mesures selon leurs coûts moyens pondérés en unité d'objectif politique

Source : Ylios – Frontier Economics