

Quelles solutions énergétiques faut-il favoriser pour participer à la transition vers un territoire zéro-énergie? Stratégie appliquée au cas de la région Wallonne.

Auteur : Mayenga-Matondo-Ngoy, Kristel

Promoteur(s) : Attia, Shady; Reiter, Sigrid

Faculté : Faculté des Sciences appliquées

Diplôme : Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

Année académique : 2017-2018

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/5358>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.

MÉTHODOLOGIE DE TRANSITION VERS UN TERRITOIRE-QUASI-ZÉRO-ÉNERGIE
AUTONOME APPLIQUÉE AU CAS DE LA RÉGION WALLONNE. DÉVELOPPEMENT D'UN
OUTIL D'AIDE À LA CONCEPTION

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil
Architecte par **Kristel MAYENGA-MATONDO-NGOY**
Année académique 2017 – 2018 | Université de Liège – Faculté des sciences appliquées
Promoteurs : Shady ATTIA & Sigrid REITER
Jury : Pierre DEWALLEF, Jean-Marie HAUGLUSTAINE & Jacques TELLER

ANNEXES

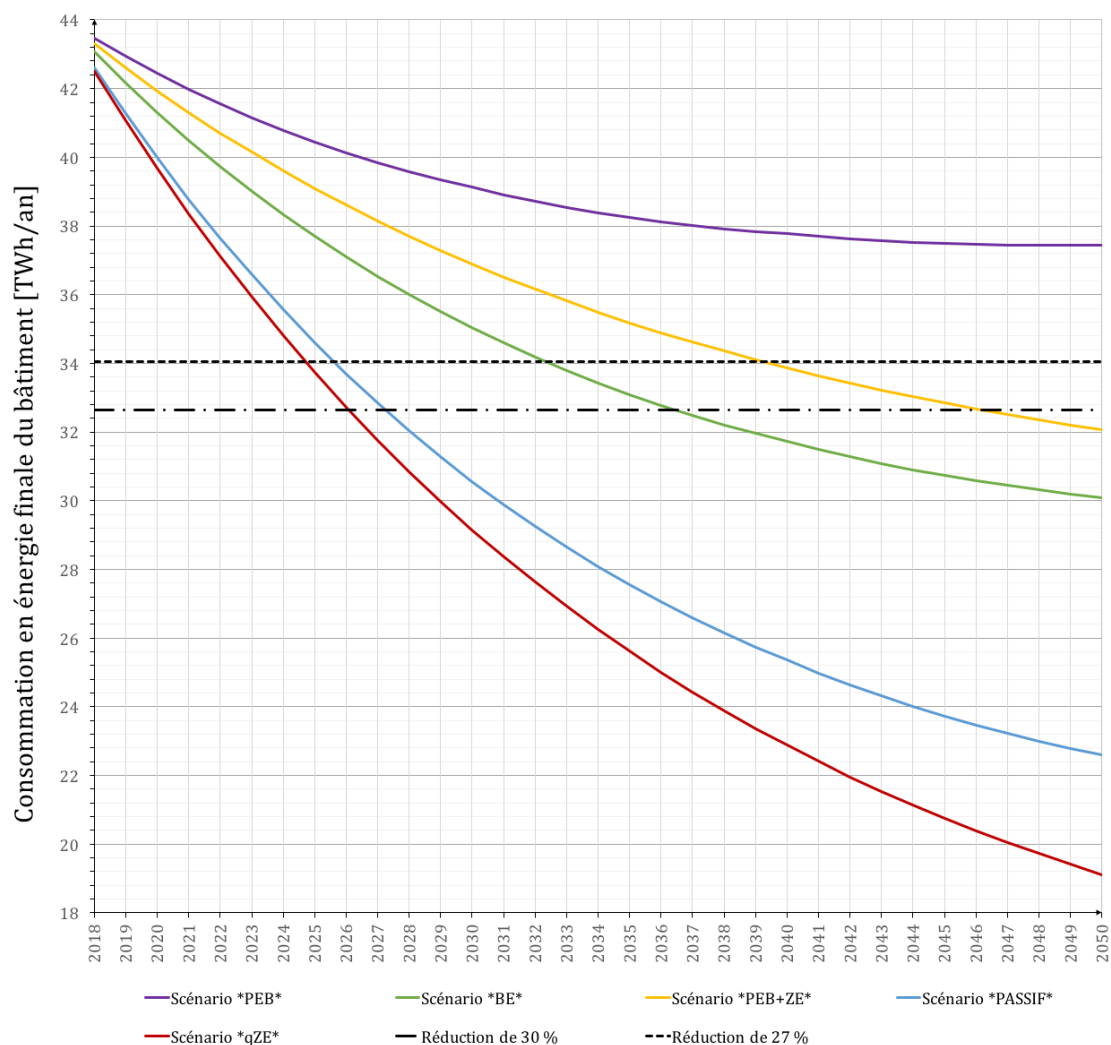


Annexe A: Courbes de consommation en E_p du bâtiment.....	A.2
Taux de rénovation de 5%.....	A.2
Taux de rénovation de 4%.....	A.3
Taux de rénovation de 3%.....	A.4
Taux de rénovation de 2%.....	A.5
Taux de rénovation de 1%.....	A.6
Annexe B: Stratégie de transition vers un territoire-zéro-énergie autonome	A.7
Annexe C: Feuille de calcul Excel	A.8
Annexe D : Degré d'urbanisation	A.12
Classification des carreaux de 1 km ² selon leur appartenance à la maille de densité 2011	A.12
Typologie des communes belges selon le degré de densité de population	A.12
Annexe E : Systèmes de production existants.....	A.13
Centrale hydroélectrique de Namur	A.13
Centrale de transfert d'énergie par pompage.....	A.14

ANNEXE A: COURBES DE CONSOMMATION EN E_p DU BATIMENT

TAUX DE RENOVATION DE 5%

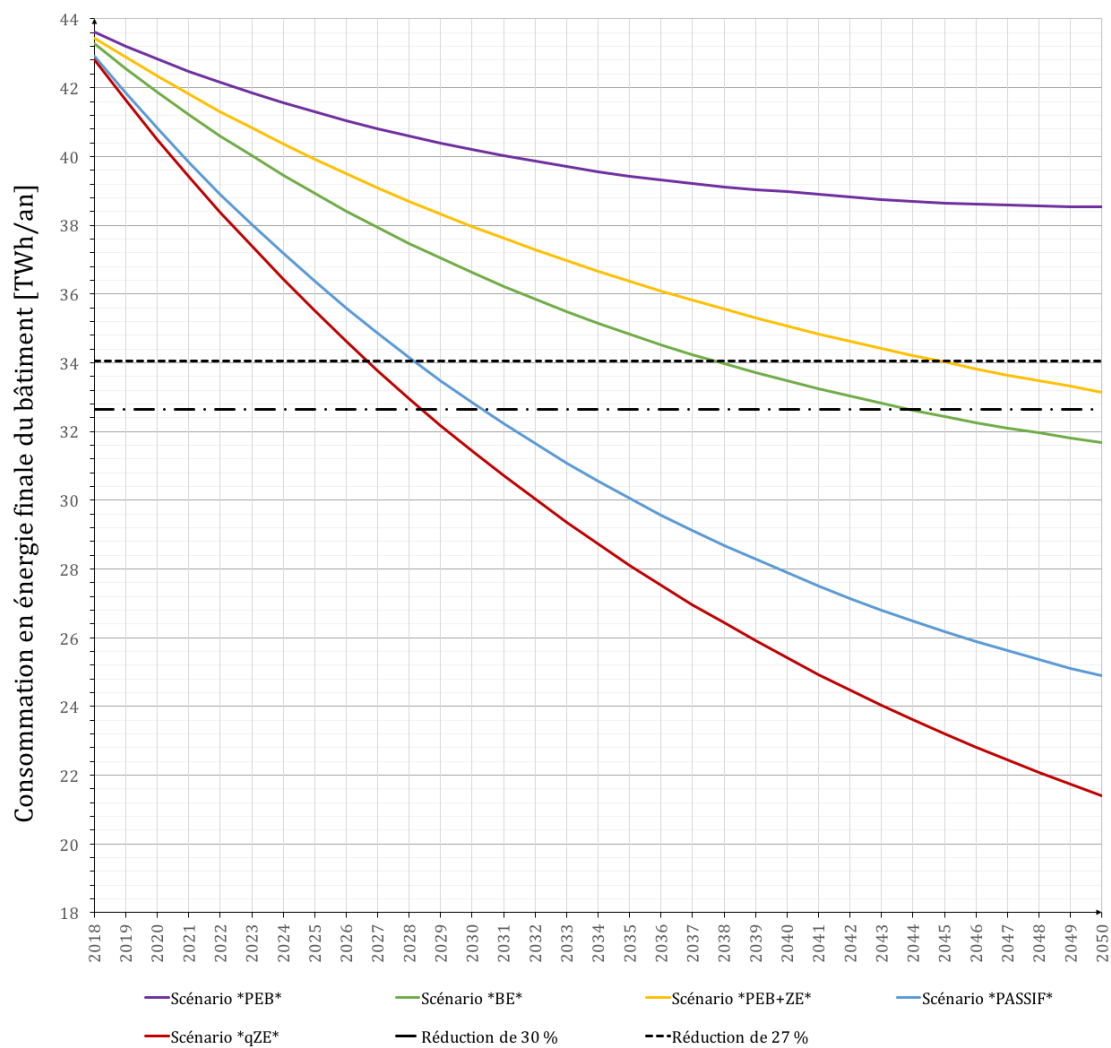
SCENARIOS DE REHABILITATION DU PARC IMMOBILIER



Scénarios	Taux de rénov.	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
	%	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an
PEB	5	115	130	85	115	168,99	201,87
BE	5	85	115	45	90		
PEB+ZE	5	115	130	0	0		
PASSIF	5	45	90	45	90		
qZE	5	45	90	0	0		

TAUX DE RENOVATION DE 4%

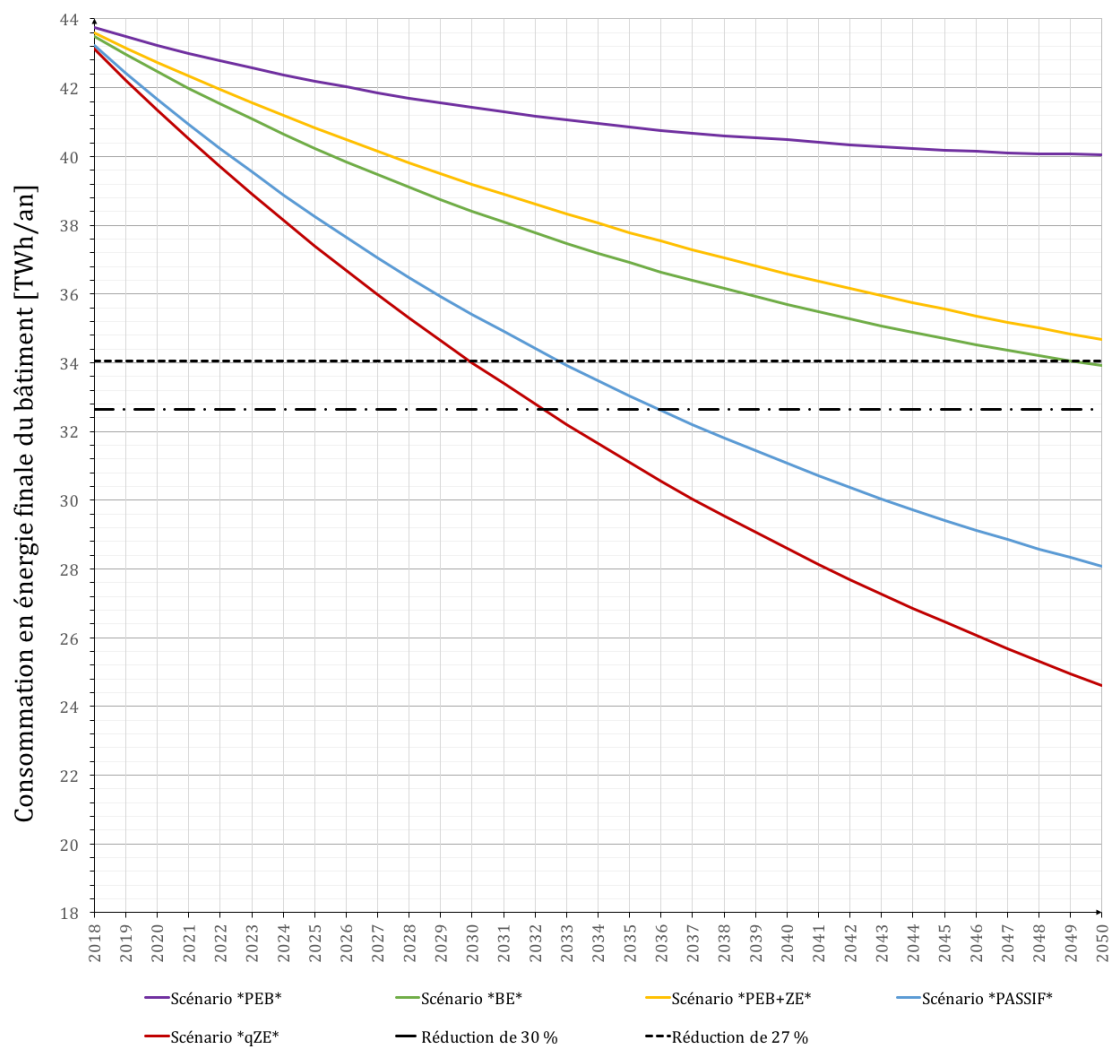
SCENARIOS DE REHABILITATION DU PARC IMMOBILIER



Scénarios	Taux de rénov. %	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
		kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an
PEB	4	115	130	85	115	168,99	201,87
BE	4	85	115	45	90		
PEB+ZE	4	115	130	0	0		
PASSIF	4	45	90	45	90		
qZE	4	45	90	0	0		

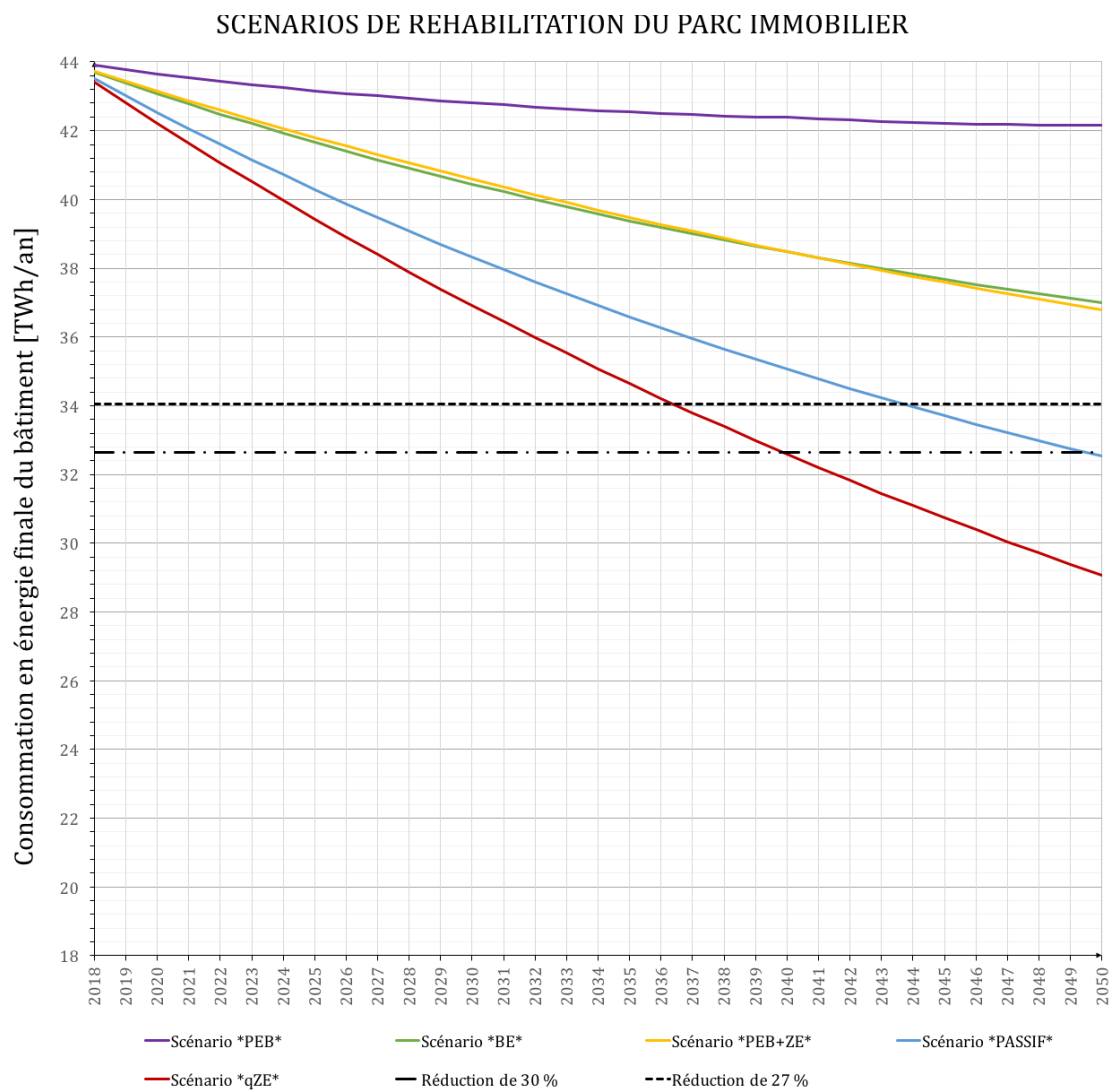
TAUX DE RENOVATION DE 3%

SCENARIOS DE REHABILITATION DU PARC IMMOBILIER



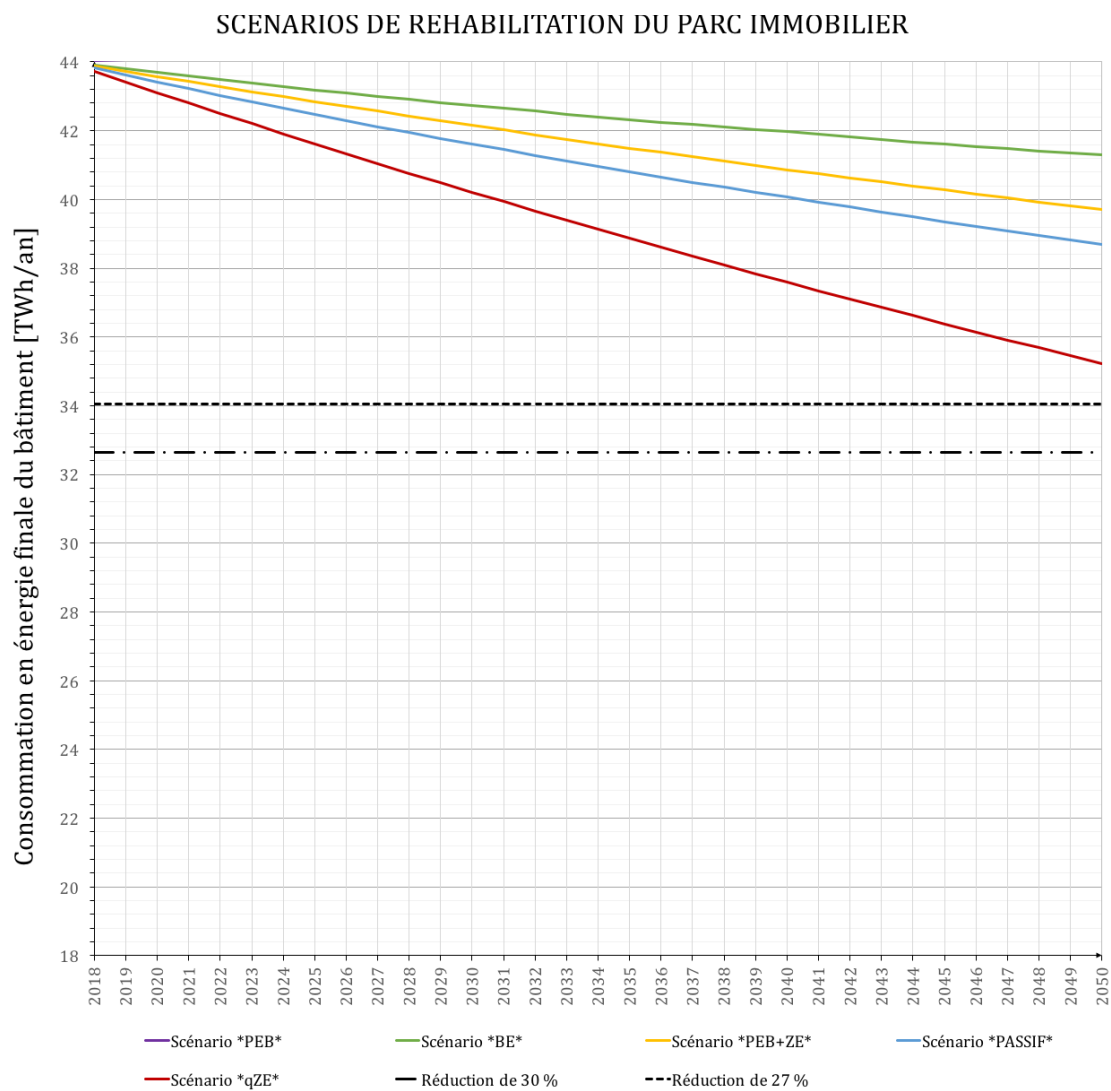
Scénarios	Taux de rénov. %	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
		kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an
PEB	3	115	130	85	115	168,99	201,87
BE	3	85	115	45	90		
PEB+ZE	3	115	130	0	0		
PASSIF	3	45	90	45	90		
qZE	3	45	90	0	0		

TAUX DE RENOVATION DE 2%



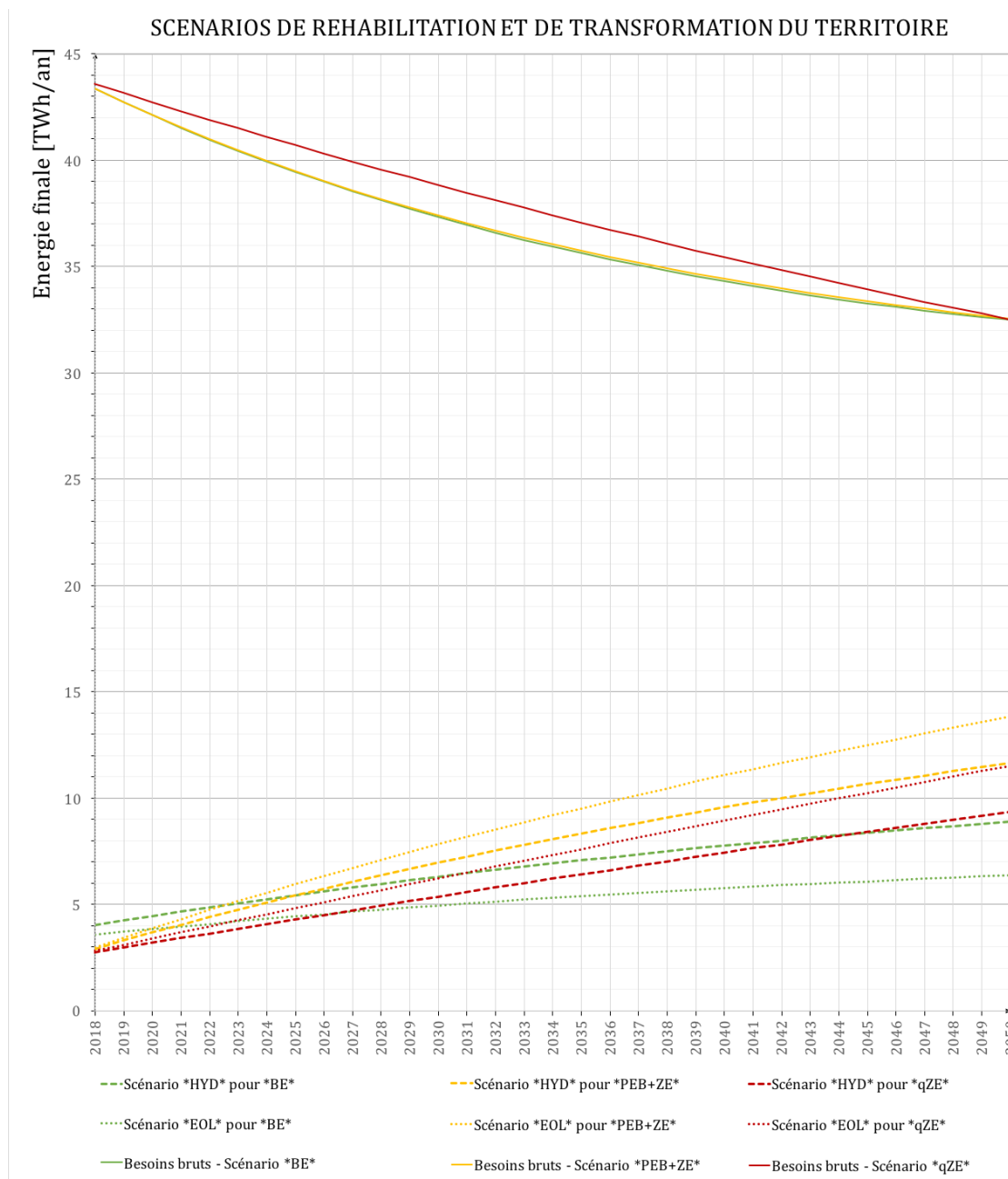
Scénarios	Taux de rénov. %	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
		kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an
PEB	2	115	130	85	115	168,99	201,87
BE	2	85	115	45	90		
PEB+ZE	2	115	130	0	0		
PASSIF	2	45	90	45	90		
qZE	2	45	90	0	0		

TAUX DE RENOVATION DE 1%



Scénarios	Taux de rénov. %	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
		kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an	kWh/m ² .an
PEB	1	115	130	85	115	168,99	201,87
BE	1	85	115	45	90		
PEB+ZE	1	115	130	0	0		
PASSIF	1	45	90	45	90		
qZE	1	45	90	0	0		

ANNEXE B: STRATEGIE DE TRANSITION VERS UN TERRITOIRE-ZERO-ENERGIE AUTONOME



Scénarios	Taux de rénov.	RENOVATION		NEUF		REFERENCE	
		RESI.	TERT.	RESI.	TERT.	RESI.	TERT.
	%	kWh/m².an	kWh/m².an	kWh/m².an	kWh/m².an	kWh/m².an	kWh/m².an
BE	3,6	85	115	45	90	168,99	201,87
PEB+ZE	4,5	115	130	0	0		
qZE	1,4	45	90	0	0		

Scénarios	Taux de production			Couv. de toit PV	Puissance finale de production			
	hydro.	éol.	PV		hydro.	éol.	PV	préexistant
	site	unité	%		GWh/ an.site	GWh/ an.unité	kWh/ m².an	GWh/ an
HYD	2,5	0	70	30	15,179	4,135	107,50	2536,1
EOL	0	25	70	30				

ANNEXE C: FEUILLE DE CALCUL EXCEL

FORMULAIRE TERRITOIRE ZERO-ENERGIE (1/3)

DONNEES ADMINISTRATIVE

Projet:			Photo carte ou dessin
Pays:			
Territoire étudié:			
Superficie du territoire:		km ²	
Année de départ:		Cycle de transition: 30 ans	

DONNEES DEMOGRAPHIQUES & CLIMATIQUES

Effectifs de logements de référence:		x10 ³ .log	Degrés-jours de référence:		°C.jour
Evolution des logements:	0		x10 ³ .log	0	
	10		x10 ³ .log	10	
	20		x10 ³ .log	20	
	30		x10 ³ .log	30	
Croissance moyenne de logements par an:			x10 ³ .log/an	Croissance moyenne des degrés-jours par an:	
					°C.jour/an
				Rayonnement solaire reçu:	
					kWh/m ² .an

DONNEES ENERGETIQUES & URBAINES - liées à la consommation

Exigences liées aux bâtiments:

Scénario de réhabilitation:	Scénario *PEB*	▼
Réduction de consommation envisagée:		%

Besoins bruts - Secteur résidentiel - Valeurs de référence

Besoin brut d'énergie de chauffage:	#DIV/0!	kWh/m ² .an
		kWh/log.an
Besoin brut d'électricité:	#DIV/0!	kWh/m ² .an
		kWh/log.an
Superficie moyenne d'un logement de réf.:		m ² /log

Taux de renouvellement du parc immobilier

Taux de construction:		%/an
Taux de démolition:		%/an

Besoins bruts - Secteur tertiaire - Valeurs de référence

Besoin brut d'énergie de chauffage:		kWh/m ² .an
Besoin brut d'électricité:		kWh/m ² .an
Superficie totale de plancher:		km ²
Cout moyen d'une rénovation lourde:		€/m ²

DONNEES ENERGETIQUES & URBAINES - liées à la production

Exigences liées au système de production

Scénario de production:	Scénario *HYD*	▼
Part d'ER envisagée:		%
Taux d'approvisionnement minimum:		%

Morphologie urbaine

Connexion frontalière du territoire:	Autonome	▼
Degré d'urbanisation du territoire:	Urbain	▼
Facteur de perte de transport et conversion:		%

	Prod. nette en électricité	Disponibilité	Nombre de sites	Couts d'invest.	Acceptabilité
Sources d'énergie	GWh/an	h/an	-	€/kW	-
Eolien					Sociale et environnementale ▼
Hydraulique					Sociale et environnementale ▼
Solaire (PV)					Sociale et environnementale ▼
					Sociale et environnementale ▼

STRATEGIE VERS UN TERRITOIRE ZERO ENERGIE - ANNEE 30

SCENARIO DE REHABILITATION ET TRANSFORMATION DU TERRITOIRE

Taux de rénovation du parc immobilier:	0,00%	*PEB*
Taux de production d'ER:		*HYD*
	Prod. hyd. de +0 site(s)/an Prod. éol. de +0 unité(s)/an Prod. PV de 0% Couverture de toit de 0%	

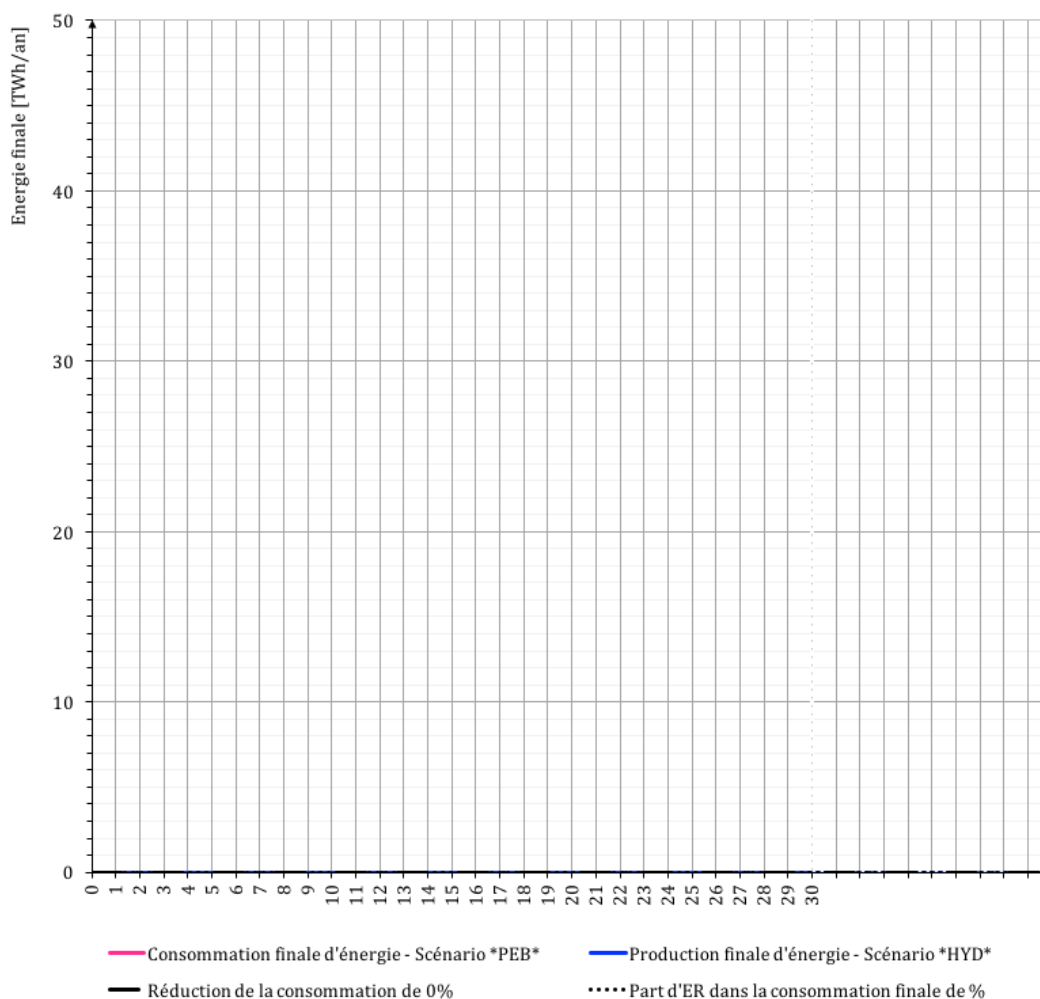
PERFORMANCES ENERGETIQUES DU TERRITOIRE

Consommation totale d'énergie finale:	0,000	TWh/an
Production nette totale d'électricité:	0,000	TWh/an
Estimation du stockage (si surplus):	#DIV/0!	TWh/an

INDICATEURS SPECIFIQUES

Territoire zéro-énergie:	Autonome	#DIV/0!	Affordability	Γ_{renov}^{afford}	0,000	milliards €
Availability:	$\Gamma_{rédu}^{avail}$	#DIV/0! %		Γ_{prod}^{afford}	#DIV/0!	milliards €
	Γ_{dispo}^{avail}	#DIV/0! %/an		Γ_{pente}^{accept}	0,0	-
Accessibility:	Γ_{pc}^{access}	#DIV/0! %	Acceptability:	Γ_{prod}^{accept}	#DIV/0!	%/an

COURBE DE CONSOMMATION/PRODUCTION D'ENERGIE DU BATIMENT

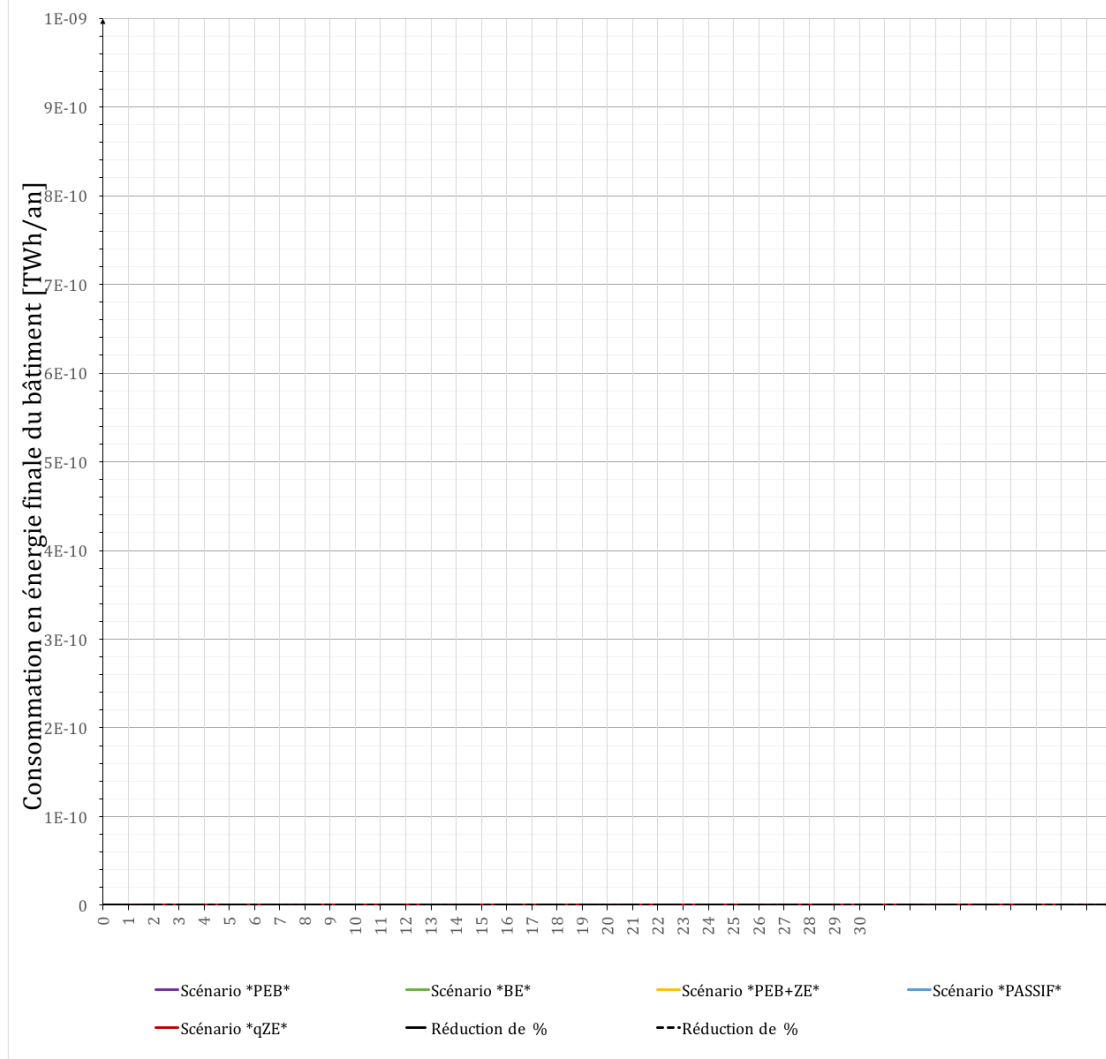


FORMULAIRE TERRITOIRE ZERO-ENERGIE (2/3)

DONNEES DE REFERENCE - Bâtiment résidentiel & tertiaire												
RESIDENTIEL					TERTIAIRE					PRIX		
Consommation moyenne de combustible de réf.	$E_{comb,ref}$	0,00	kWh/log.an		Consommation moyenne de combustible de réf.	$E_{comb,ref}^{ter}$	0,00	kWh/m².an		Prix relatif nécessaire à la rénovation d'un bâtiment		
		#DIV/0!	kWh/m².an				#DIV/0!	kWh/m².an		résidentiel	tertiaire	
Consommation d'électricité de réf.	$E_{el,ref}$	0,00	kWh/log.an		Consommation d'électricité de réf.	$E_{el,ref}^{ter}$	0,00	kWh/m².an		%	%	
		#DIV/0!	kWh/m².an				#DIV/0!	kWh/m².an		*PEB*	100,00%	75,00%
Consommation spécifique de réf.		0,000	kWh/log.an		Consommation spécifique de réf.		0,000	kWh/m².an		*BE*	200,00%	150,00%
		#DIV/0!	kWh/m².an				#DIV/0!	kWh/m².an		*PEB+ZE*	100,00%	75,00%
Consommation totale de chaleur (résidentiel):			kWh/an		Consommation totale de chaleur (tertiaire):			kWh/an		*PASSIF*	400,00%	300,00%
Consommation totale d'électricité (résidentiel):			kWh/an		Consommation totale d'électricité (tertiaire):		0	kWh/an		*qZE*	400,00%	300,00%
CONSUMMATION TOTALE D'ENERGIE (résidentiel)		#VALEUR!	TWh/an		CONSUMMATION TOTALE D'ENERGIE (tertiaire):		#VALEUR!	TWh/an				
Superficie moyenne de logement:		0,00	m²/log		Superficie totale de réf. des batiments tertiaires:	S_{ref}	0,00	m²				
Effectifs de logements de réf.	m_{ref}	0	log									

SCENARIOS DE REHABILITATION DU PARC BATI											
Scénarios	Taux de rénovation	Taux de réduction	RENOVATION			NEUF			REFERENCE		
	%	%	RESIDENTIEL		TERTIAIRE	RESIDENTIEL		TERTIAIRE	RESIDENTIEL		TERTIAIRE
			kWh/m².an	kWh/log.an	kWh/m².an	kWh/m².an	kWh/log.an	kWh/m².an	kWh/log.an	kWh/m².an	kWh/log.an
#DIV/0! *PEB*		#DIV/0!	115	0,0	130	85	0,0	115	#DIV/0!	0,0	0,00
#DIV/0! *BE*		#DIV/0!	85	0,0	115	45	0,0	90			
#DIV/0! *PEB+ZE*		#DIV/0!	115	0,0	130	0	0,0	0			
#DIV/0! *PASSIF*		#DIV/0!	45	0,0	90	45	0,0	90			
#DIV/0! *qZE*		#DIV/0!	45	0,0	90	0	0,0	0			

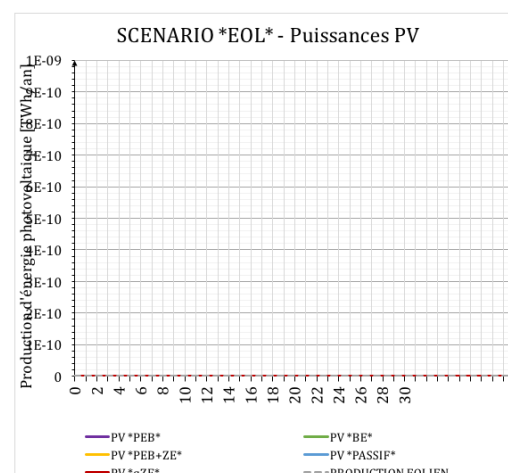
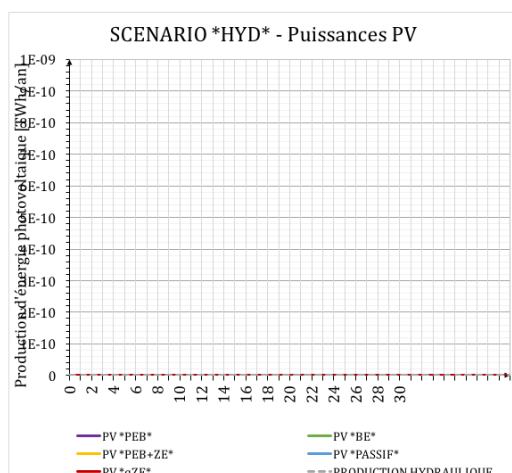
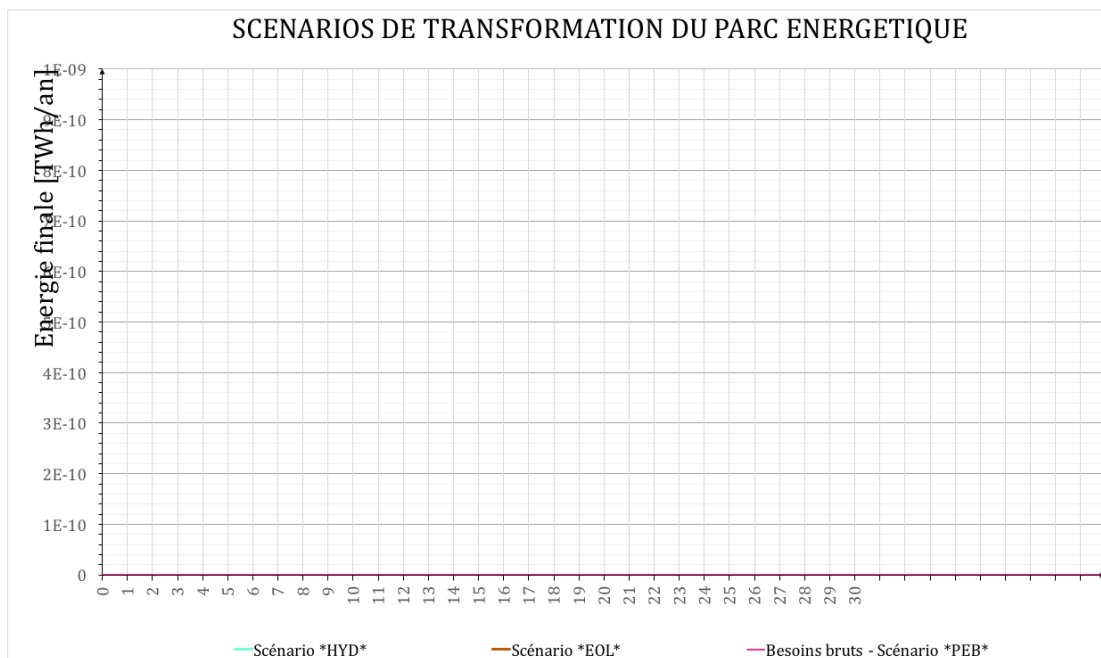
SCENARIOS DE REHABILITATION DU PARC IMMOBILIER



FORMULAIRE TERRITOIRE ZERO-ENERGIE (3/3)

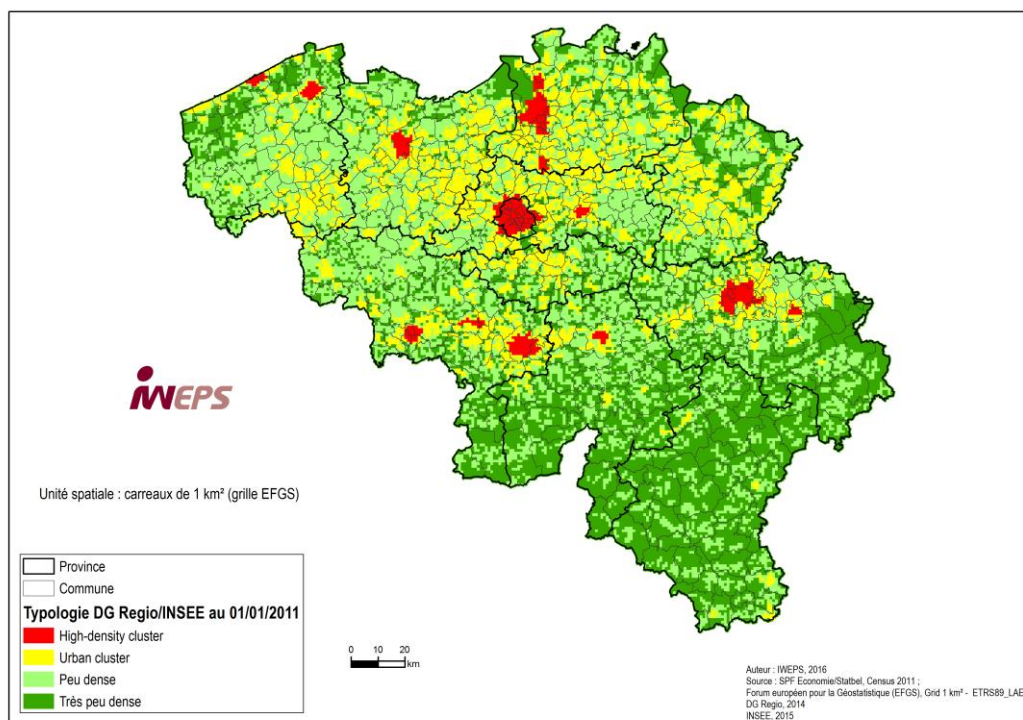
DONNEES DE REFERENCE - Systèmes de production d'énergie								
EXISTANT	ENERGIE SOLAIRE							
Rendement de distribution et conversion: f_c 1,00	Rendement du panneau photovoltaïque: 0,14							
	Rendement de l'onduleur: 0,96							
	Coefficient de pertes électriques: 0,20							
ENERGIE HYDRAULIQUE & EOLIENNE	Energie solaire recue de la surface considérée: 0,00 kWh/m ² .an							
Puissance nominale hydraulique: 5000,00 kW/site	Facteur de réduction lié à la forme urbaine: 0,85							
Disponibilité hydraulique: h/an	Production de PV (critère ZE) résidentiel: 45,00 kWh/m ² .an							
Puissance nominale éolien: 2000,00 kW/unité	tertiaire: 90,00 kWh/m ² .an							
Disponibilité éolien: h/an	Disponibilité photovoltaïque: h/an							
SCENARIOS DE TRANSFORMATION DU PARC ENERGETIQUE								
Scénarios	Taux de production	Puissance hydraulique	Taux de production	Puissance éolienne	Taux de production PV	Pourcentage de couverture PV	Puissance PV	Puissance existant
#DIV/0!	site	kWh/an.site	unité	kWh/an.unité	%	%	kWh/m ² .an	kWh/an
HYD								
EOL							0,00	0,00

SCENARIOS DE TRANSFORMATION DU PARC ENERGETIQUE

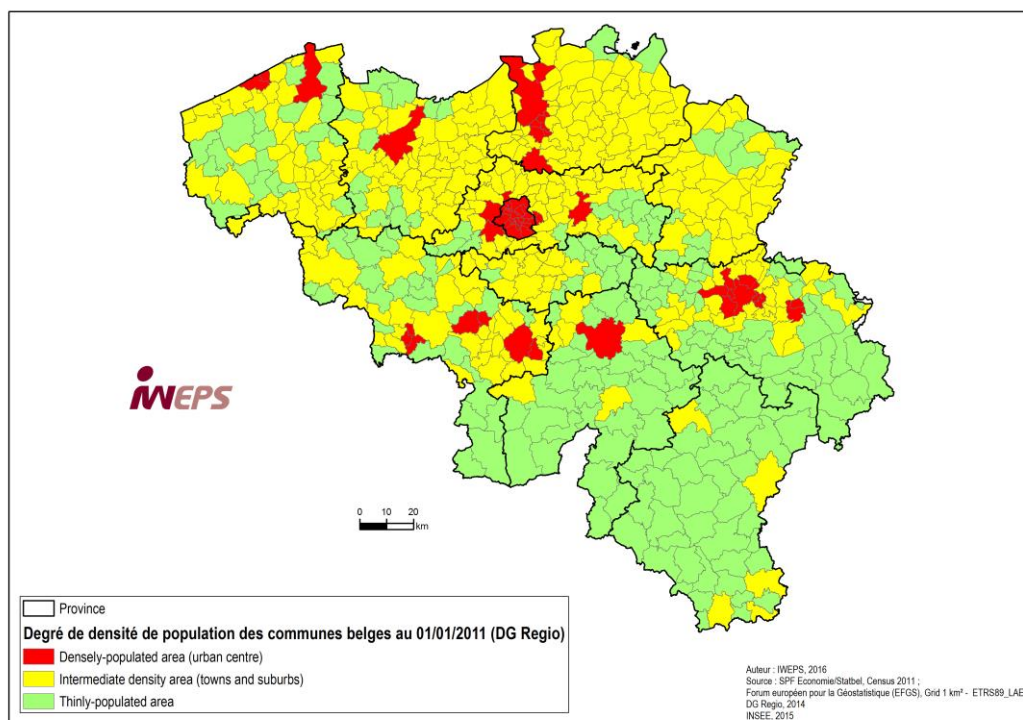


ANNEXE D : DEGRE D'URBANISATION

CLASSIFICATION DES CARREAUX DE 1 KM² SELON LEUR APPARTENANCE A LA MAILLE DE DENSITE 2011 - (IWEPS, 2016)

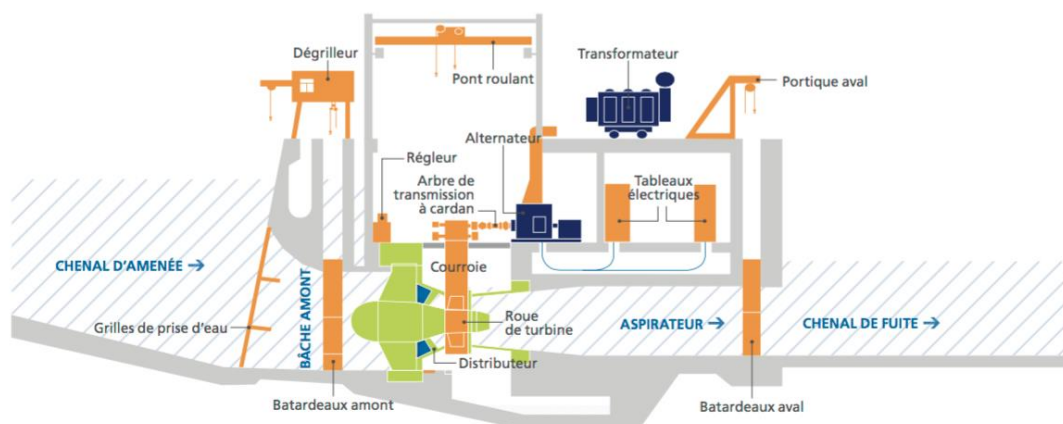


TYPOLOGIE DES COMMUNES BELGES SELON LE DEGRE DE DENSITE DE POPULATION AU 01/01/2011 - (IWEPS, 2016)



ANNEXE E : SYSTEMES DE PRODUCTION EXISTANTS

CENTRALE HYDROELECTRIQUE DE NAMUR – PUISSANCE NOMINALE 5[MW] – (EDF LUMINUS)

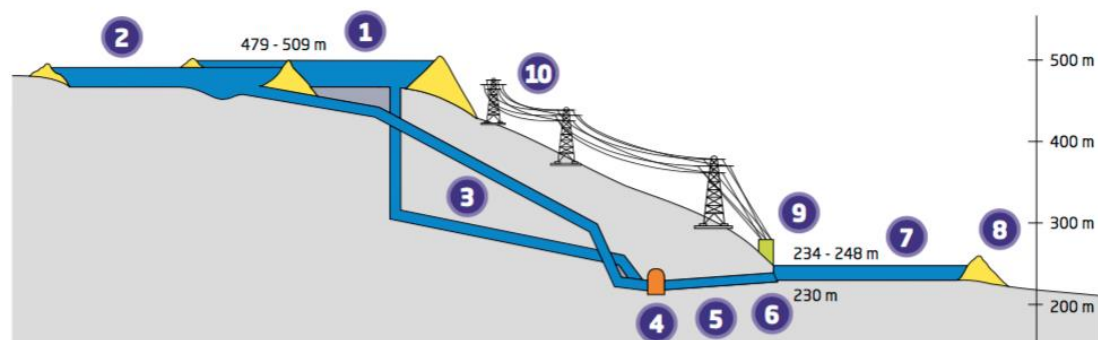


Type de turbines	Straflo à axe horizontal	
Nombre de turbines	4	
Diamètre de roue	2,60 m	
Vitesse de rotation	132 t/m	
Coté amont de retenue	78,4 m	
Cote aval à l'étiage	74,6 m	
Chute maximum	3,8 m	
Débit d'équipement	170 m ³ /s	
Puissance nominale par turbine	1,25 MW	
Puissance totale par centrale	5 MW	
Rendement d'un groupe	88%	
Production annuelle moyenne	20.458.022 kWh	

Source : consulté le 01/08/2018 :

https://edfluminus.edf.com/sites/default/files/Lot%203/EDF%20LUMINUS/ACTIVITES/energies_renouvelables/Hydro%20fiches/edfluminus-update-fiches-hydro-fr-print_grands-malades.pdf

CENTRALE DE TRANSFERT D'ENERGIE PAR POMPAGE – (ELECTRABEL)



- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| ① Bassin supérieur | ⑥ Prise d'eau inférieure |
| ② Bassin supérieur | ⑦ Bassin inférieur |
| ③ Conduites forcées | ⑧ Digue inférieure |
| ④ Salle des machines | ⑨ Installations de surface |
| ⑤ Liaison bassin inférieur | ⑩ Lignes haute tension |

Puissance maximale en turbinage :	1 164 MW
Puissance maximale en pompage :	1 035 MW
Débits maximum (turbinage) :	Coo 1 = 3 x 65 m ³ /sec Coo 2 = 3 x 109 m ³ /sec
Durée de fonctionnement à pleine puissance - Pompage :	Coo 1 = 7h30 Coo 2 = 5h45
Durée de fonctionnement à pleine puissance - Turbinage	Coo 1 = 6h Coo 2 = 5h
Capacité énergétique journalière au poste de Coo	• Coo 1 = 2 300 MWh Coo 2 = 2 700 MWh
Production moyenne annuelle	1 600 GWh
Rendement	75%

Source : consulté le 01/08/2018 :

http://corporate.engie-electrabel.be/wp-content/uploads/2016/04/160420_engie_centrales_coo_fr_web.pdf