

Etude de faisabilité sur le potentiel de développement des énergies renouvelables

Archipel 2 Wacken



Date	Ind.	Modifications	Rédacteur	Visa	Approbation	Visa
03/04/2019	A	Création Phase 1	M MUGLER C. ROQUEL		F. CUSINATO	
13/11/2019	B	Phase 2 MAJ données programme dans phase 1	C. ROQUEL		F. CUSINATO	



Table des matières

1	Préambule	6
1.1	Contexte	6
1.2	Méthodologie proposée	7
1.2.1	Objectifs de l'étude	7
1.2.2	Energies considérées	7
2	Description du projet	9
3	Inventaire des besoins en énergie	15
3.1	Besoins énergétiques	15
3.2	Besoins en puissance	17
4	Politique environnementale	21
4.1	Contexte international	21
4.2	Contexte national	21
4.2.1	La réglementation thermique, Energétique et environnementale	21
4.2.2	Cadre de la future réglementation thermique	22
4.3	Contexte régional et local	25
4.3.1	Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE)	25
4.3.2	Le plan Climat Energie Territorial (PCET)	27
4.3.3	Le Plan Local de l'Urbanisme de l'Eurométropole (PLU)	27
5	Potentiel de développement des énergies renouvelables	29
5.1	Réflexion préalable sur l'échelle de production	29
5.1.1	Production individuelle par bâtiment	29
5.1.2	Production collective par secteur	29
5.1.3	Production collective à l'échelle de l'aménagement	30
5.1.4	Synthèse	30
5.2	Réseaux à proximité du projet	31
5.2.1	Réseau de chaleur	31
5.2.2	Boucle géothermique pour le rafraîchissement	33
5.3	Ressources disponibles en Alsace	33
5.3.1	Energie hydraulique	34
5.3.2	Energie solaire	34
5.3.3	Energie éolienne	39

5.3.4	Energie géothermique	41
5.3.5	Energie aérothermique	46
5.3.6	Energie issue de la cloacothermie	47
5.3.7	Energie issue de la biomasse.....	50
5.3.8	Méthanisation.....	52
5.3.9	Cogénération	53
6	Synthèse des ENR disponibles et pertinentes	54
7	Etude de scenarii pertinents.....	56
7.1	Hypothèses d'étude.....	56
7.1.1	Coûts énergétiques	56
7.1.2	Coût environnemental	57
7.2	Scénario 1 : réseau de chaleur et production individuelle pour le froid	58
7.2.1	Description de la solution.....	58
7.2.2	Bilan énergétique et environnemental	59
7.2.3	Investissement.....	60
7.3	Scénario 2 : réseau de chaleur et réseau de froid.....	60
7.3.1	Description de la solution.....	60
7.3.2	Bilan énergétique et environnemental	61
7.3.3	Investissement.....	62
7.4	Scénario 3 : réseau de chaleur, réseau de froid et production photovoltaïque ..	62
7.4.1	Description de la solution.....	63
7.4.2	Bilan énergétique et environnemental	64
7.4.3	Investissement.....	65
8	Analyse multi critères	66
8.1	Caractéristiques énergétiques et environnementales	66
8.2	Analyse en cout global	69
9	Conclusion.....	73

Table des illustrations

Figure 1 : Déroulement de l'étude ENR - Source CEREMA	7
Figure 2 : Potentiel physique des énergies renouvelables (Source F. Nitsch).....	8
Figure 3 - Projet situé dans la région Grand-Est et dans le département du Bas-Rhin	9
Figure 4 - Découpage de Strasbourg en quartiers (www.strasbourg.eu, 2018)	10
Figure 5 - Sites identifiés dans le programme Wacken-Europe (Artelia, 2014)	10
Figure 6 : Périmètre Archipel 2	11
Figure 7 : Plan de repérage des lots	11
Figure 8 : répartition des surfaces par usage	13
Figure 9 : Répartition des surfaces par usage	14
Figure 10 : Répartition des besoins par usage des bâtiments.....	17
Figure 11 : Répartition des besoins par usage énergétique.....	17
Figure 12 : Répartition des puissances par lot	19
Figure 13 : Répartition des puissances par besoin	20
Figure 14 : différence entre énergie primaire et finale	21
Figure 15 : Bilan BEPOS - Source référentiel Energie Carbone	24
Figure 16 : Bilan et prospective de la consommation énergétique en Alsace (Source : SRCAE Alsace)	25
Figure 17 : Bilan et prospective des émissions de gaz à effet de serre en Alsace (Source : SRCAE Alsace).....	26
Figure 18 : Tableau récapitulatif de l'état des lieux de la production ENR en 2009 et des potentiels estimés à 2020 en Alsace (Source SRCAE Alsace)	26
Figure 19 : Chaufferie Biomasse et rafle de maïs - source Eco2Wacken	31
Figure 20 : Plan du réseau de chaleur Eco2Wacken.....	31
Figure 21 : Titre V du réseau chaleur Eco2Wacken.....	32
Figure 22 : Prédimensionnement de principe du raccordement des lots d'Archipel 2.....	33
Figure 23 : Part des ENR dans la production d'énergie renouvelable en 2009 en Alsace (Source : SRCAE Alsace)	34
Figure 24 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale (Source : Solargis).....	35
Figure 25 : Ombres portées le 21 juin à 12h	37
Figure 26 : Ombres portées le 21 décembre à 12h.....	38
Figure 27 : Extrait de la carte des zones favorables au développement de l'éolien en Alsace (Source : Schéma Régional Eolien Alsace).....	40
Figure 28 : Exemple d'éolienne à axe vertical	40
Figure 29 : Source ADEME –BRGM : différents systèmes d'exploitation de la géothermie ..	41
Figure 30 : Profondeur moyenne de la nappe phréatique sur le site étudié (Source : APRONA)	44
Figure 31 : Schéma de principe de la récupération de chaleur des eaux usées.....	47
Figure 32 : Schéma de principe de la récupération de chaleur des eaux grises	49
Figure 33 : Sources et utilisation du biogaz	52

Figure 34 : tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque (source : https://www.les-energies-renouvelables.eu/)	57
Figure 35 : Guide Pratique du Référentiel pour la Qualité Environnementale des bâtiments – « Bâtiments tertiaires » - Septembre 2011	57
Figure 36 : Titre V réseau Eco2Wacken	58
Figure 37 : Plan simplifié du réseau d'eau glacée source R-CUA.....	61

Table des tableaux

Tableau 1 : Répartition des surfaces par bâtiment	12
Tableau 2 : Répartition des surfaces par lot	13
Tableau 3 : Besoins en énergie par type d'utilisation des bâtiments (kWh/m ² .an) - Energie utile	15
Tableau 4 : Besoins énergétiques par bâtiment	15
Tableau 5 : Besoins énergétiques par lot	16
Tableau 6 : Besoins en puissance par type d'utilisation des bâtiments (W/m ²)	18
Tableau 7 : Besoins en puissance par bâtiment	18
Tableau 8 : Besoins en puissance par lot	19
Tableau 9 : potentiel de production PV	38
Tableau 10 : Synthèse des ENR disponibles	54
Tableau 11 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 1	59
Tableau 12 : Investissement du scénario 1	60
Tableau 13 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 2	61
Tableau 14 : Investissement du scénario 2	62
Tableau 15 : Potentiel de production photovoltaïque	63
Tableau 16 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 3	64
Tableau 17 : Investissement du scénario 3	65
Tableau 18 : Analyse multi critères des scénarii.....	66
Tableau 19 : Taux d'ENR	67
Tableau 20 : Tonnes Eq CO ₂ – Investissements et coûts énergétiques	68
Tableau 21 : Analyse en coût global	69
Tableau 22 : Evaluations en cout global.....	70
Tableau 23 : Avantages et inconvénients de chaque scénario	73

1 PREAMBULE

1.1 Contexte

Le quartier d'affaires international du Wacken-Europe se situe dans le cœur métropolitain en continuité du quartier européen ainsi que du Palais de la Musique et des Congrès (PMC) et du Parc des Expositions (PEX) qui constituent des équipements majeurs du rayonnement de Strasbourg : cette proximité conforte le choix de développer un quartier d'affaires international au Wacken. La complémentarité entre les équipements culturels PMC et PEX, les équipements sportifs (l'Île aux Sports), l'activité économique sur le site Archipel 1, la proximité du quartier des Banques et des institutions européennes, et les infrastructures hôtelières feront du quartier du Wacken le symbole d'une métropole d'envergure dépassant le cadre des frontières régionales et nationales.

Des premiers aménagements dans le quartier d'affaires sont aujourd'hui achevés et rencontrent un réel succès (Archipel 1). Au regard de cette attractivité et d'un besoin en matière de tertiaire supérieur, l'Eurométropole de Strasbourg souhaite agrandir ce quartier d'affaire que l'on nommera Archipel 2.

L'objectif du projet est de créer des logements, des bureaux et commerces à la place de l'ancien Parc des Expositions et d'offrir des équipements culturels modernes (SIG Arena, Théâtre du maillon)

Lorsqu'une commune décide d'un aménagement sur son territoire, les choix qui seront réalisés vont l'engager sur plusieurs dizaines d'années. En effet, en matière d'énergie, les conséquences directes de ces choix sont le coût pour les usagers (niveau et stabilité), l'impact sur le climat (émissions de gaz à effet de serre) et sur l'environnement (qualité de l'air, impact paysager, ...). Ces choix doivent donc être justifiés par une analyse objective.

Le principal poste de consommation d'énergie en France est le bâtiment : il représente plus de 40% de l'énergie consommée chaque année. Or une opération d'aménagement a très souvent pour objet premier de préparer une zone de territoire à l'accueil de bâtiments comme la mise en place d'infrastructures.

Parallèlement, ces dernières années, l'évolution culturelle et réglementaire amène à changer les pratiques, notamment en matière de construction. Les bâtiments doivent être de plus en plus performants, tenir compte du bioclimatisme, des énergies renouvelables, des équipements, dans la perspective de limiter leurs impacts sur l'appauvrissement des ressources fossiles et sur le dérèglement climatique.

Or chaque aménagement est différent : usage, taille, densité, contexte local, objectifs et priorités fixées par le maître d'ouvrage. Il ne peut donc pas exister de solution universelle en matière d'énergie. Certaines solutions ne relèvent pas de choix directs de la collectivité ou de l'aménageur, mais peuvent être influencées par eux (orientation des parcelles, subventions, actions de communication, ...). D'autres solutions nécessitent une action directe, comme la mise en place d'infrastructures telles que les réseaux de distribution de chaleur, de gaz ou d'électricité.

Plus les solutions à développer sont identifiées en amont, plus les possibilités d'actions sont importantes.

Cette étude s'inscrit dans le cadre de la loi du Grenelle de l'Environnement d'Août 2009 et notamment l'article L128-4 du Code de l'Urbanisme dont les termes sont : « *Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération* ».

Ce document constitue les phases 1 et 2 de l'étude ENR.

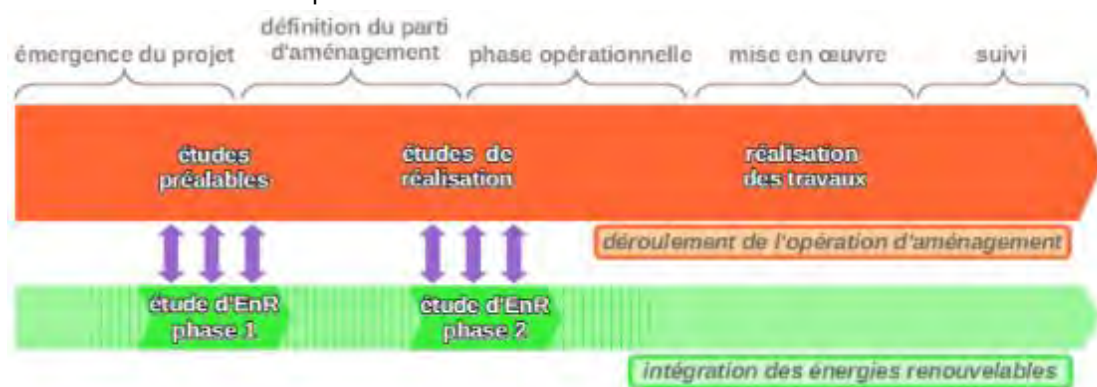


Figure 1 : Déroulement de l'étude ENR - Source CEREMA

1.2 Méthodologie proposée

1.2.1 Objectifs de l'étude

Dans un premier temps, la présente étude se propose de dresser **l'inventaire des besoins énergétiques** du quartier Archipel 2 ainsi que de dresser un **panorama des énergies renouvelables disponibles sur le site** afin de retenir les plus pertinentes au regard du projet urbain.

L'objectif étant bien entendu de réduire les consommations d'énergies traditionnelles, et de répondre positivement aux engagements nationaux, déclinés au niveau local.

Par la suite, à partir des types d'énergies retenus, seront formulés des scénarii de consommation qui intégreront des critères de coût, de faisabilité technique et administrative, etc.

1.2.2 Energies considérées

Au sens de l'article 29 de la loi du 13 juillet 2005, modifié par la loi « Grenelle 1 » du 3 août 2009, les sources d'énergies renouvelables sont les suivantes :

- Eolienne ;

- Solaire ;
- Géothermique / Aérothermique / Hydrothermique ;
- Marine ;
- Hydraulique ;
- Issues de la biomasse ;
- Issues du gaz de décharge (méthanisation) ;
- Issues du gaz de stations d'épuration d'eaux usées ;
- Issues du biogaz ;
- Raccordement au réseau de chaleur ;
- Cogénération.

Ces énergies font bien partie du « potentiel physique des énergies renouvelables » à l'échelle de la planète. A l'échelle de notre projet, la piste « Energie marine » n'est pas directement exploitable sur le site et ne sera donc pas étudiée.

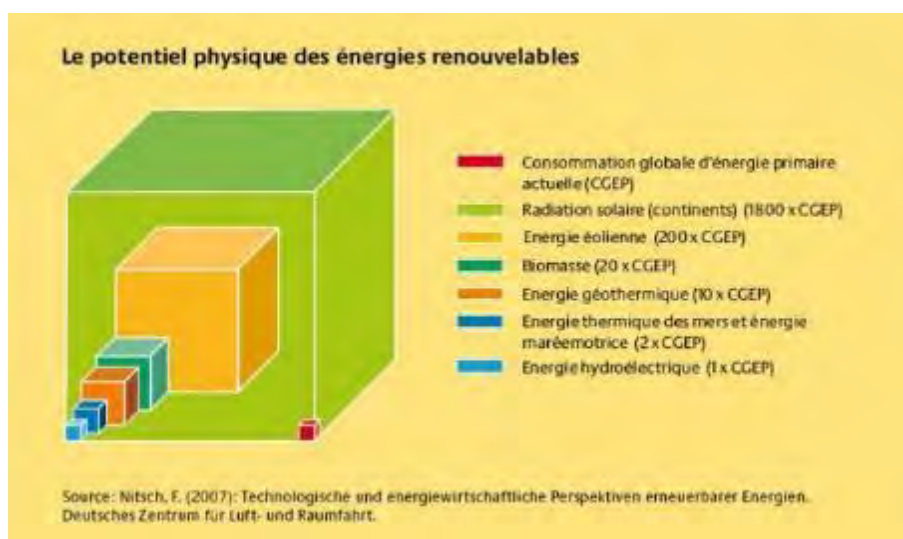


Figure 2 : Potentiel physique des énergies renouvelables (Source F. Nitsch)

2 DESCRIPTION DU PROJET

Le projet Archipel 2 est localisé dans le nord-est du quartier du Wacken, au nord-est de Strasbourg dans le département du Bas-Rhin qui est devenu depuis un demi-siècle le « quartier européen ». Le quartier du Wacken fait l'objet de nombreux aménagements qui ont été englobés dans un programme spécifique appelé « Wacken-Europe ». Ce programme intègre l'aménagement du nouveau parc des expositions (PEX), du palais de la musique et des congrès (PMC), des quartiers d'affaire 1 et 2 (Archipel 1 et 2) et de la liaison autoroutière de l'A350. Le site du projet Archipel 2 se situe au nord du Boulevard de Dresde, entre le canal de la Marne au Rhin à l'est et le chemin du Wacken à l'ouest. Ce quartier constitue également une porte d'accès quasi unique au quartier situé plus à l'est qu'est la Robertsau. Ce secteur est desservi à l'ouest par l'autoroute A350 et se trouve à moins de 5 minutes en voiture des échangeurs des autoroutes A4, A351, A350 et A35. La zone d'étude est donc bien desservie par le réseau routier. Enfin, deux stations de tramway sont situées à proximité de la zone d'étude, la station « Wacken » desservie par les lignes B et E et la station « Parlement Européen » desservie par la ligne E.

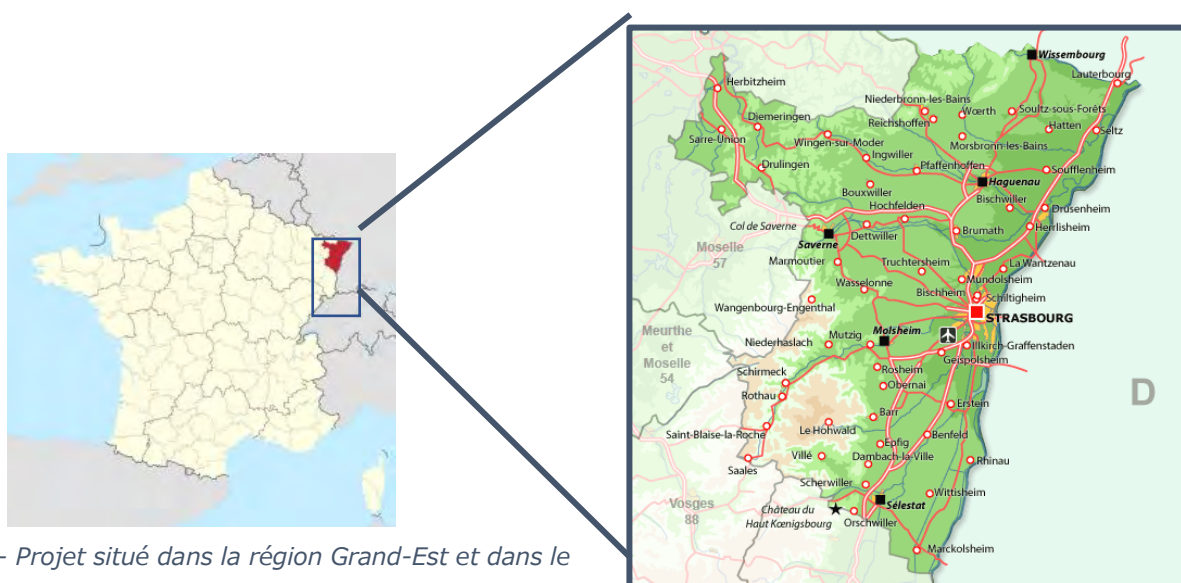


Figure 3 - Projet situé dans la région Grand-Est et dans le département du Bas-Rhin

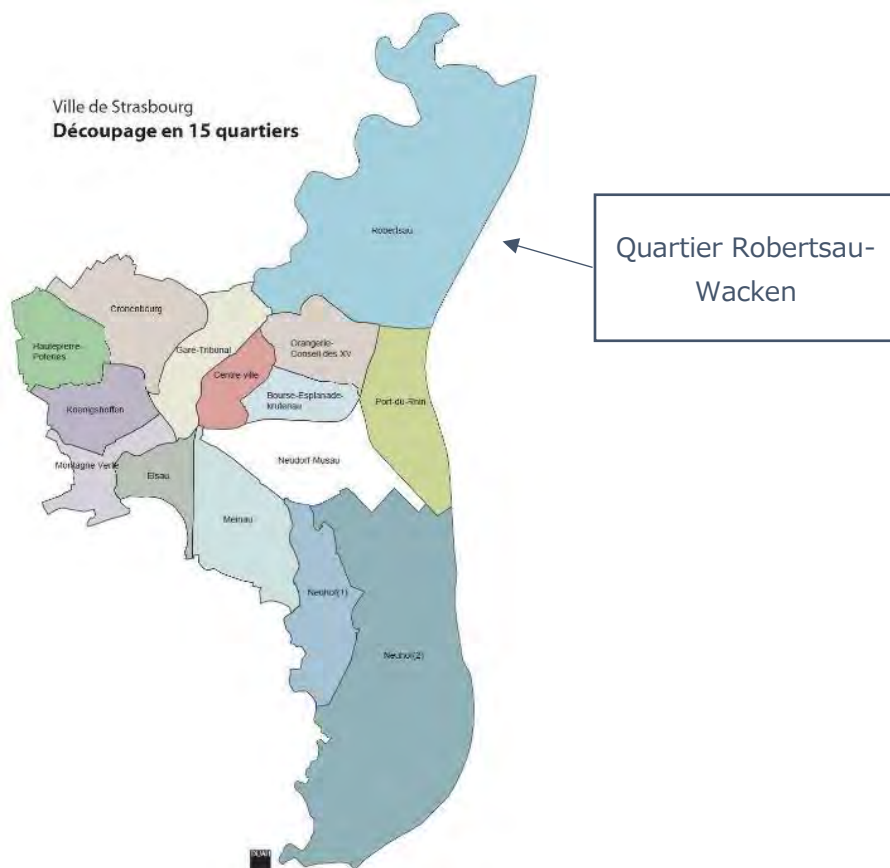


Figure 4 - Découpage de Strasbourg en quartiers (www.strasbourg.eu, 2018)



Figure 5 - Sites identifiés dans le programme Wacken-Europe (Artelia, 2014)



Figure 6 : Périmètre Archipel 2

Archipel 2 est constitué de plusieurs lots avec pour vocations d'accueillir différents usages de bâtiments :

- Des bâtiments tertiaires d'activité ;
- Des logements ;
- Des commerces ;
- Des équipements de service ;
- La SIG ARENA ;
- Le théâtre du Maillon



Figure 7 : Plan de repérage des lots

Les deux bâtiments du Maillon et de la SIG Arena sont déjà en cours d'études de conception des bâtiments et leur raccordement au réseau de chaleur Eco2Wacken est prévu. Ainsi ces deux bâtiments ne sont pas pris en compte dans le cadre de la présente étude.

Les surfaces de plancher prévisionnelles à ce stade des études sont les suivantes :

Tableau 1 : Répartition des surfaces par bâtiment

Surfaces de plancher par bâtiment

Archipel 2 / TOTAL par bâtiment								
Lot	Bâtiment	Nb logements	Surface Logements (m²)	Surface Tertiaires activités (m²)	Surface Commerces (m²)	Surface RIE (m²)	Surface Equipements (crèche) (m²)	Total (m²)
Lot A	A1			19 600				19 600
	A2							
	A3							
Lot B	B1			3 969	1 000			4 969
	B2			4 273				4 273
Lot D	D1			4 465		856		5 321
	D2			5 253				5 253
	D3			3 682				3 682
Lot F	F1	60	3 915					3 915
	F2	32	2 088					2 088
	F3	18	1 180		200			1 380
Lot G	G1	60	3 915					3 915
	G2	32	2 088					2 088
	G3	24	1 330		200			1 530
Lot H	H1	52	3 393					3 393
	H2	52	3 393		300			3 693
	H3	24	1 566					1 566
Lot I	I1	60	3 915					3 915
	I2			3 577				3 577
	I3			1 104				1 104
Lot J	J1	60	3 915					3 915
	J2	60	3 915					3 915
	J3	32	2 088					2 088
	J4						420	420
Lot 6	6			24 000				24 000
Total		566	36 701	69 923	1 700	856	420	109 600

Tableau 2 : Répartition des surfaces par lot

Surfaces de plancher par lot

Archipel 2 - TOTAL par lot							
	Nb logements	Surface Logements (m²)	Surface Tertiaires activités (m²)	Surface Commerces (m²)	Surface RIE (m²)	Surface Equipements (crèche) (m²)	Total (m²)
Lot A	0	0	19 600	0	0	0	19 600
Lot B	0	0	8 242	1 000	0	0	9 242
Lot D	0	0	13 400	0	856	0	14 256
Lot F	110	7 183	0	200	0	0	7 383
Lot G	116	7 333	0	200	0	0	7 533
Lot H	128	8 352	0	300	0	0	8 652
Lot I	60	3 915	4 681	0	0	0	8 596
Lot J	152	9 918	0	0	0	420	10 338
Lot 6	0	0	24 000	0	0	0	24 000
Total	566	36 701	69 923	1 700	856	420	109 600

Répartition des surfaces par usage

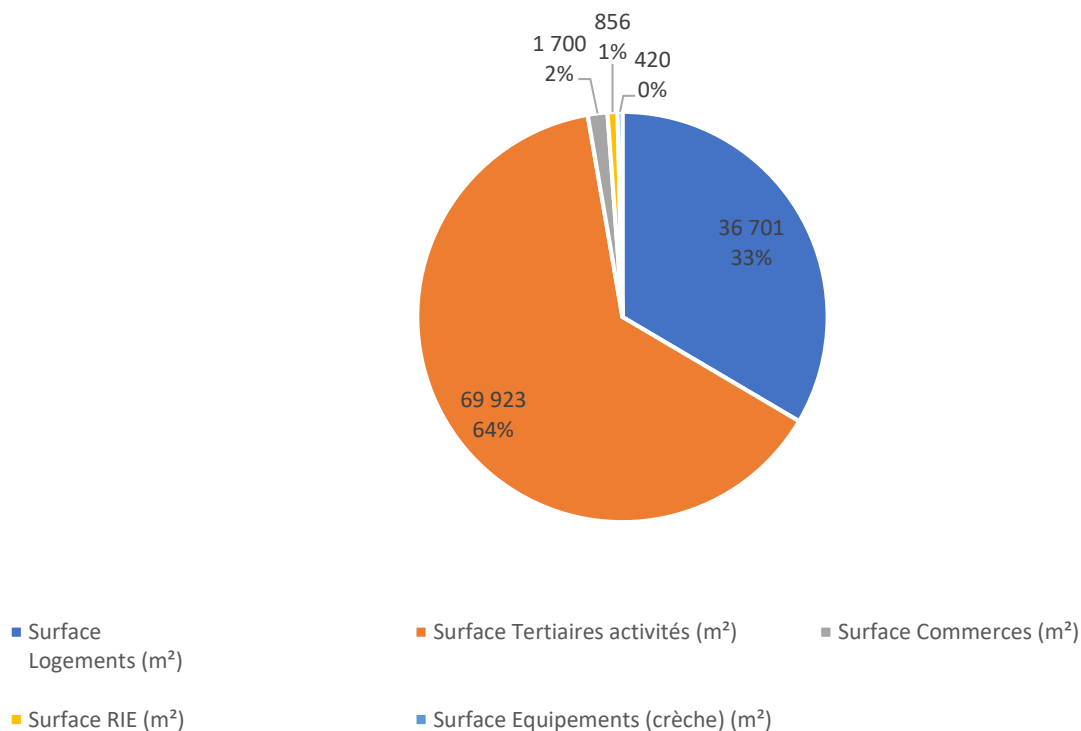


Figure 8 : répartition des surfaces par usage

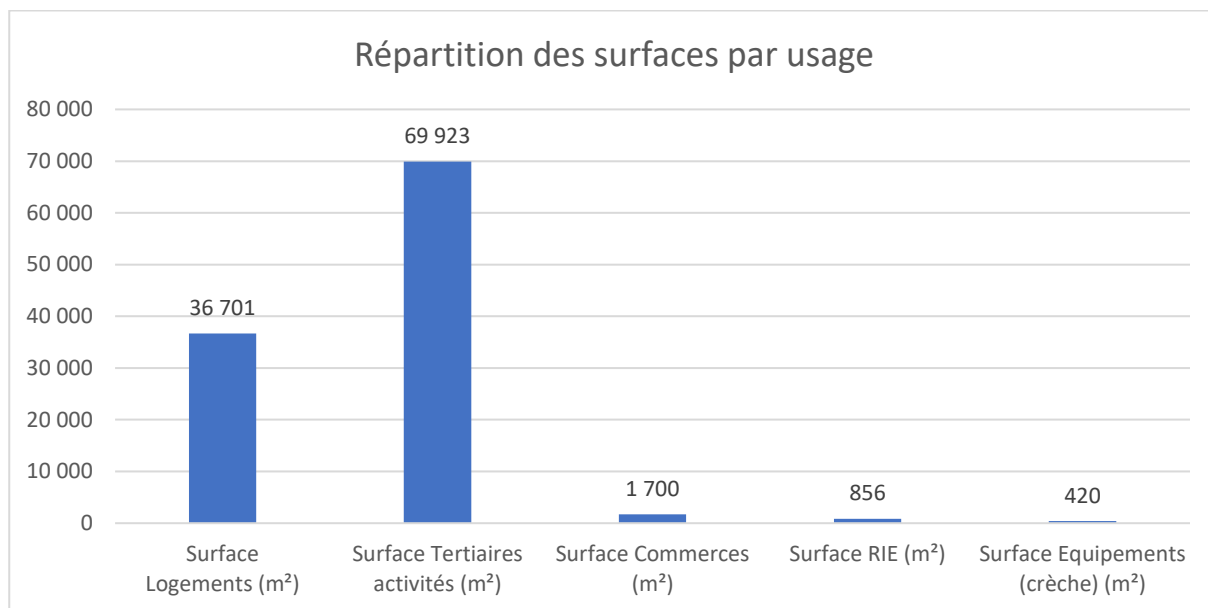


Figure 9 : Répartition des surfaces par usage

Les deux usages principaux sont les locaux tertiaires d'activités et les logements qui représentent plus de 97% des surfaces du projet d'aménagement (hors SIG ARENA et Maillon).

3 INVENTAIRE DES BESOINS EN ENERGIE

3.1 Besoins énergétiques

Les besoins énergétiques sont basés sur le niveau RT2012. Ils sont estimés à partir de besoins prévisionnels, basés sur des **retours d'expérience**, permettant d'atteindre les objectifs de consommations règlementaires.

Dans la partie Nord de la France, la climatisation n'est pas une obligation afin de garantir le confort des utilisateurs. Il est possible de réduire les surchauffes de façon passive (conception du bâtiment, protections solaires efficaces, ventilation nocturne, etc.). Dans le bilan ci-dessous, les bureaux et activités commerciales disposent néanmoins de besoins de climatisations afin de prendre en compte les hypothèses les plus défavorables.

Les consommations électriques spécifiques (liés aux usages internes) sont parmi les moins « compressibles » de nos bâtiments, car elles concernent des usages perçus comme indispensables (éclairage, électroménager, informatique, etc.). Les consommations considérées sont issues du référentiel Energie-Carbone de la future RE2020.

Les profils des besoins énergétiques utilisés sont les suivants :

Tableau 3 : Besoins en énergie par type d'utilisation des bâtiments (kWh/m².an) - Energie utile

Besoins en énergie finale kWh/m²	Chauffage	ECS	Climatisation	Auxiliaires (RT)	Eclairage (RT)	Electricité spécifique	Total
Logements	30	25	0	3	3	27	88
Activités tertiaires	25	5	15	6	6	26	83
Commerces	30	5	50	6	20	90	201
RIE	30	40	15	6	20	0	111
Crèche	35	25	0	6	20	6	92

Les besoins en chaleur, froid et électricité du programme d'aménagement d'Archipel 2 sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4 : Besoins énergétiques par bâtiment

Besoins par Bâtiment	Bâtiment	Chauffage [kWh]	ECS [kWh]	Climatisation [kWh]	Auxiliaires [kWh]	Eclairage [kWh]	Electricité spécifique [kWh]	Total
Lot A	A1	490 000	98 000	294 000	117 600	117 600	509 600	1 626 800

	A2							
	A3							
Lot B	B1	129 225	24 845	109 535	29 814	43 814	193 194	530 427
	B2	106 825	21 365	64 095	25 638	25 638	111 098	354 659
Lot D	D1	137 305	56 565	79 815	31 926	43 910	116 090	465 611
	D2	131 325	26 265	78 795	31 518	31 518	136 578	435 999
	D3	92 050	18 410	55 230	22 092	22 092	95 732	305 606
Lot F	F1	117 450	97 875	0	11 745	11 745	105 705	344 520
	F2	62 640	52 200	0	6 264	6 264	56 376	183 744
	F3	41 400	30 500	10 000	4 740	7 540	49 860	144 040
Lot G	G1	117 450	97 875	0	11 745	11 745	105 705	344 520
	G2	62 640	52 200	0	6 264	6 264	56 376	183 744
	G3	45 900	34 250	10 000	5 190	7 990	53 910	157 240
Lot H	H1	101 790	84 825	0	10 179	10 179	91 611	298 584
	H2	110 790	86 325	15 000	11 979	16 179	118 611	358 884
	H3	46 980	39 150	0	4 698	4 698	42 282	137 808
Lot I	I1	117 450	97 875	0	11 745	11 745	105 705	344 520
	I2	89 425	17 885	53 655	21 462	21 462	93 002	296 891
	I3	27 600	5 520	16 560	6 624	6 624	28 704	91 632
Lot J	J1	117 450	97 875	0	11 745	11 745	105 705	344 520
	J2	117 450	97 875	0	11 745	11 745	105 705	344 520
	J3	62 640	52 200	0	6 264	6 264	56 376	183 744
	J4	14 700	10 500	0	2 520	8 400	2 520	38 640
Lot 6	6	600 000	120 000	360 000	144 000	144 000	624 000	1 992 000
TOTAL		2 940 485	1 320 380	1 146 685	547 497	589 161	2 964 445	9 508 653

Tableau 5 : Besoins énergétiques par lot

Besoins par lot	Chauffage [kWh]	ECS [kWh]	Climatisation [kWh]	Auxiliaires [kWh]	Eclairage [kWh]	Electricité spécifique [kWh]	Total
Lot A	490 000	98 000	294 000	117 600	117 600	509 600	1 626 800
Lot B	236 050	46 210	173 630	55 452	69 452	304 292	885 086
Lot D	360 680	101 240	213 840	85 536	97 520	348 400	1 207 216
Lot F	221 490	180 575	10 000	22 749	25 549	211 941	672 304
Lot G	225 990	184 325	10 000	23 199	25 999	215 991	685 504
Lot H	259 560	210 300	15 000	26 856	31 056	252 504	795 276
Lot I	234 475	121 280	70 215	39 831	39 831	227 411	733 043
Lot J	312 240	258 450	0	32 274	38 154	270 306	911 424
Lot 6	600 000	120 000	360 000	144 000	144 000	624 000	1 992 000
TOTAL	2 940 485	1 320 380	1 146 685	547 497	589 161	2 964 445	9 508 653

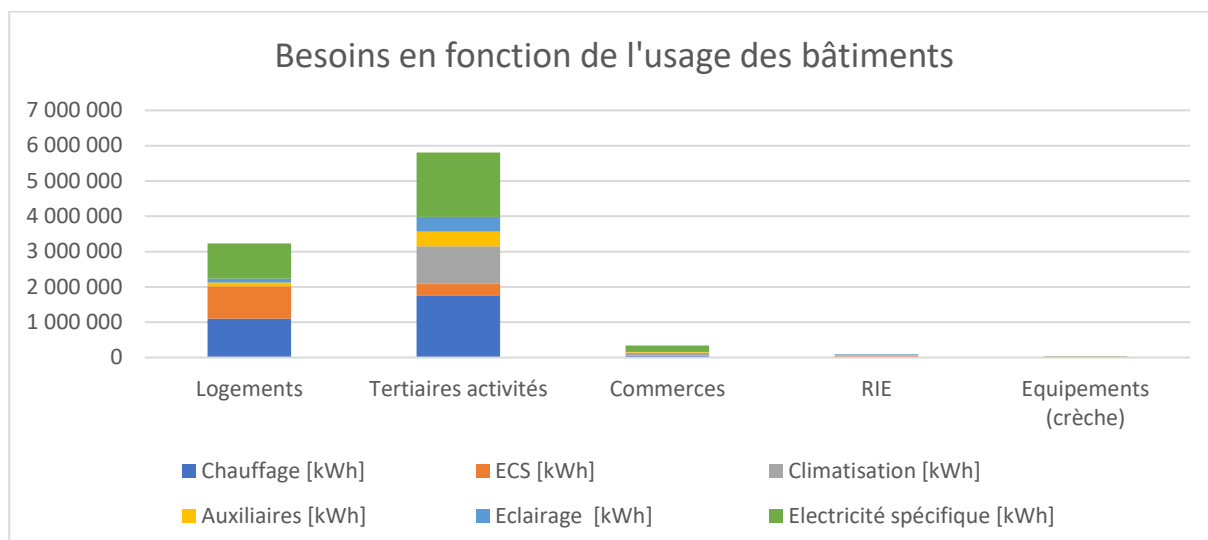


Figure 10 : Répartition des besoins par usage des bâtiments

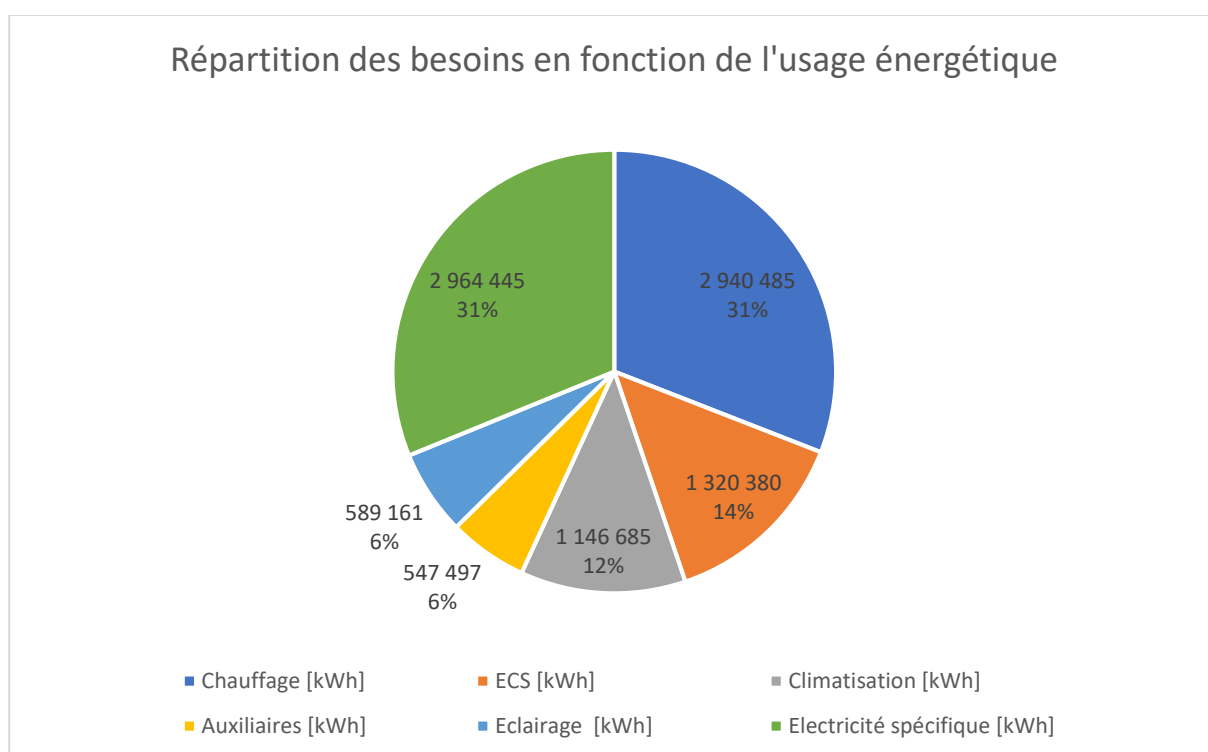


Figure 11 : Répartition des besoins par usage énergétique

3.2 Besoins en puissance

Les besoins en puissance de chaleur intègrent les besoins permettant de combattre les déperditions thermiques ainsi que d'assurer la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Dans les bureaux et les commerces, le besoin en ECS est faible et est couvert de manière individuelle. Cette puissance ne rentre alors pas en compte dans le bilan de puissance. A l'inverse, les besoins de froids portent uniquement sur les bureaux et les commerces.

Les profils des besoins en puissance utilisés sont les suivants :

Tableau 6 : Besoins en puissance par type d'utilisation des bâtiments (W/m²)

	Chauffage	ECS	Climatisation	Total
Logements	30	20	0	50
Activités tertiaires	40	0	60	100
Commerces	50	0	30	80
RIE	50	40	30	120
Equipements de service	30	20	0	50

Les besoins en puissance de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) et de froid (climatisation) sont donc les suivants pour le programme d'Archipel 2 :

Tableau 7 : Besoins en puissance par bâtiment

Besoins par bâtiment	Bâtiment	Chauffage [kW]	ECS [kW]	Climatisation [kW]	Total
Lot A	A1	784	0	1 176	1 960
Lot B	B1	209	0	268	477
	B2	171	0	256	427
Lot D	D1	221	34	294	549
	D2	210	0	315	525
	D3	147	0	221	368
Lot F	F1	117	78	0	196
	F2	63	42	0	104
	F3	45	24	6	75
Lot G	G1	117	78	0	196
	G2	63	42	0	104
	G3	50	27	6	83
Lot H	H1	102	68	0	170
	H2	117	68	9	194
	H3	47	31	0	78
Lot I	I1	117	78	0	196
	I2	143	0	215	358
	I3	44	0	66	110
Lot J	J1	117	78	0	196
	J2	117	78	0	196
	J3	63	42	0	104
	J4	13	8	0	21
Lot 6	6	960	0	1 440	2 400
TOTAL		4 038	777	4 272	9 087
		4 815		4 272	9 087

Tableau 8 : Besoins en puissance par lot

Besoins par lot	Chaud (chauffage + ECS) [kW]	Climatisation [kW]
Lot A	784	1 176
Lot B	380	525
Lot D	613	830
Lot F	369	6
Lot G	377	6
Lot H	433	9
Lot I	383	281
Lot J	517	0
Lot 6	960	1 440
TOTAL	4 815	4 272

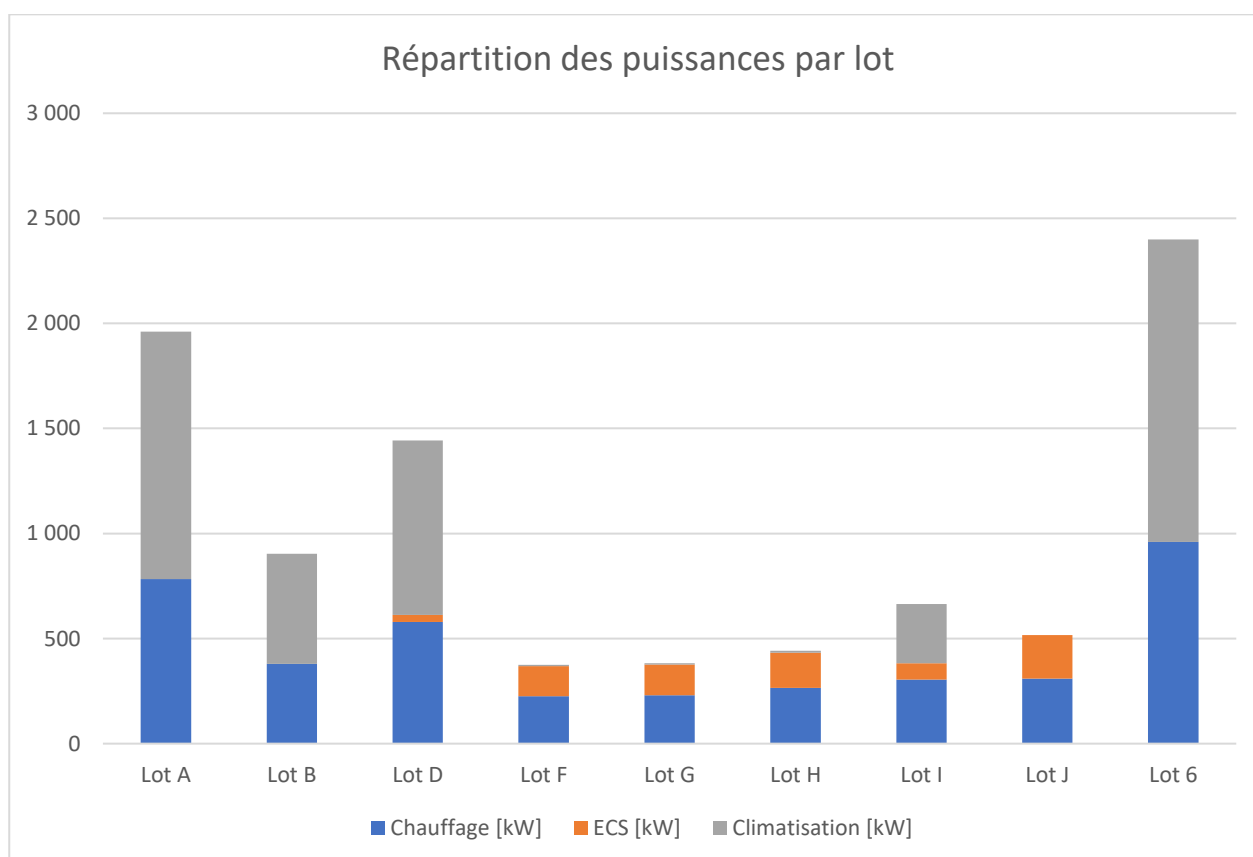


Figure 12 : Répartition des puissances par lot

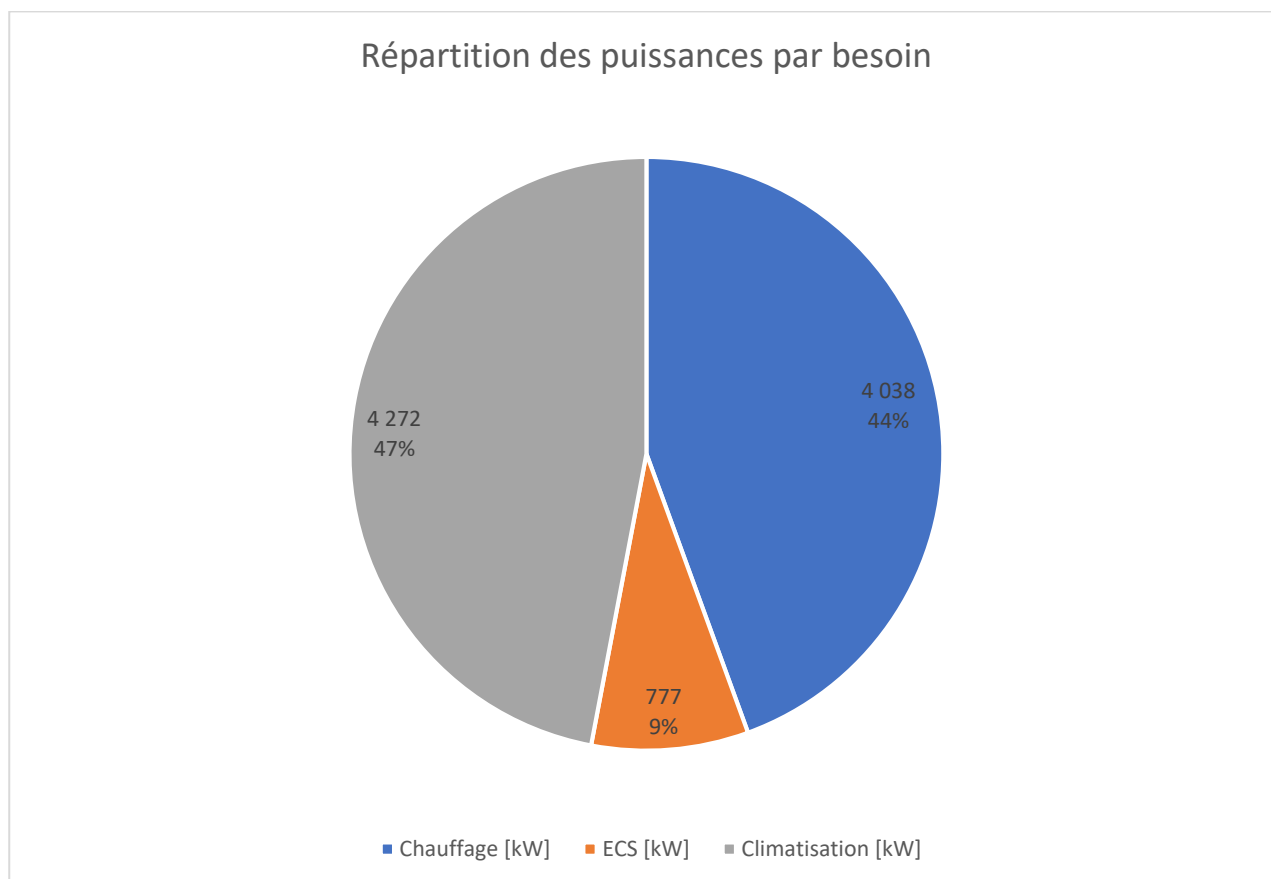


Figure 13 : Répartition des puissances par besoin

Le chaud (chauffage + ECS) représente 53% des besoins de puissance et la climatisation 47 %.

4 POLITIQUE ENVIRONNEMENTALE

4.1 Contexte international

Depuis l'ère industrielle, la consommation d'énergie n'a cessé de croître dans le monde, entraînée ces dernières années par une augmentation de la population des « pays développés ». La majorité des énergies consommées à l'heure actuelle dans le monde sont des énergies fossiles.

Pour les bâtiments, les consommations de chauffage sont prédominantes, mais n'ont cessé de diminuer ces dernières années grâce à l'évolution des réglementations thermiques. En revanche, les consommations liées aux auxiliaires, à l'éclairage et à l'eau chaude sanitaire sont relativement incompressibles.

Pour continuer à réduire les consommations énergétiques des bâtiments, il est nécessaire d'introduire la production d'énergie sur site via une source renouvelable. Le principe de compensation des consommations par la production in-situ permet de tendre vers des bâtiments passifs (BEPAS) ou à énergie positive (BEPOS objectif RT 2020).

4.2 Contexte national

4.2.1 La réglementation thermique, Energétique et environnementale

La réglementation thermique 2012 s'applique à toutes les constructions neuves et fait suite au Grenelle de l'Environnement qui prévoit de :

- Réduire les consommations d'énergie et les émissions de GES ;
- Susciter une évolution technologique et industrielle significative ;
- Préserver un bouquet énergétique équilibré contribuant à l'indépendance énergétique nationale.

La RT2012 exprime des exigences en énergie primaire, à ne pas confondre avec l'énergie finale. L'énergie finale (kWh_{EF}) est la quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final. L'énergie primaire (kWh_{EP}) est la consommation nécessaire à la production de cette énergie finale.

La consommation d'énergie primaire (C_{ep}) prend en compte les 5 usages suivants :

- Chauffage ;
- Eau Chaude Sanitaire (ECS) ;
- Froid ;

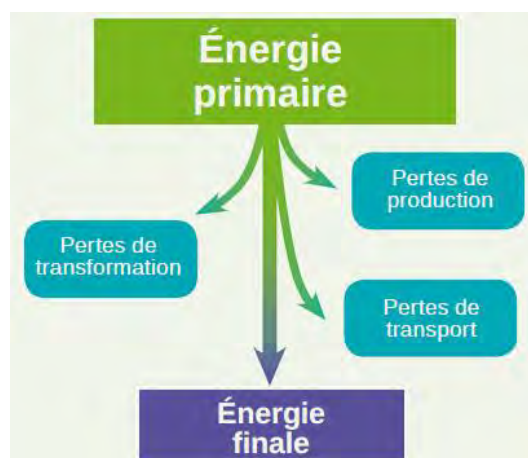


Figure 14 : différence entre énergie primaire et finale

- Eclairage ;
- Auxiliaires (y compris ventilation).

Ces 5 usages cumulés, la consommation ne doit pas dépasser 50 kWh_{EP}/m² SHON.an pour l'ensemble des bâtiments soumis à la RT2012. . Cette consommation est **modulée selon des critères d'usage du bâtiment (logements, bureaux, commerces, etc.), de contexte géographique, d'altitude, d'émission de GES, de surface et selon le type de bâtiment**. Nous cherchons donc une consommation maximum d'énergie primaire de 50 kWh_{EP}/m² SHON.an auxquels il faut ajouter les coefficients de modulation abordés ci-dessus.

En plus d'un niveau de maximum de consommation d'énergie primaire, la RT2012 introduit également un coefficient Bbio_{max} relatif au chauffage, au refroidissement et à l'éclairage permettant de prendre en compte la conception bioclimatique des futures constructions.

Bien sûr, à ces exigences de performance s'accompagne d'une obligation de moyens :

- Traiter les ponts thermiques ;
- **Systématisation du test d'étanchéité à l'air** ;
- Obligation de mise en place de protection solaire ;
- Recours aux EnR pour les maisons individuelles / accolées ;

Surface minimale de baies vitrées (1/6 de la surface habitable).

4.2.2 Cadre de la future réglementation thermique

La France s'est engagée dans un processus résolu de transition énergétique du bâtiment (loi sur la transition énergétique pour la croissance verte) et déjà les regards se tournent vers l'horizon 2020, avec la généralisation des bâtiments à énergie positive (BEPOS) et l'émergence de nouveaux critères de performance environnementale.

Les bases de la future réglementation prévue en 2020 (RBR 2020-2050 Réflexion Bâtiment Responsable ou RE2020 Réglementation Environnementale) sont d'ores et déjà en phase d'expérimentation à travers le label E+C- (Energie positive – Réduction Carbone) et une conception intelligente accrue.

La conception intelligente répond, en progression de l'actuelle RT 2012 :

- À une performance énergétique accrue engageant la sobriété énergétique, la récupération naturelle des énergies et les énergies renouvelables.
- À la possibilité de produire son énergie, le bâtiment passant ainsi du statut de consommateur à producteur d'énergie renouvelable.
- À réduire les impacts environnementaux à travers une méthode de calcul permettant d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie d'un bâtiment (calcul ACV) ;

Dans le cadre de la planification de l'aménagement d'Archipel 2, les bâtiments neufs du projet seront soumis aux futures réglementations énergétiques et environnementales. **Les fondamentaux de la conception intelligente accrue devront être appliqués et le recours aux énergies renouvelables décarbonées seront obligatoires.**

Le référentiel E+C-

Le référentiel Energie-Carbone :

- Reprend les principaux indicateurs de performance développés dans le cadre de la RT2012 (Cep, BBIO, TIC...) ;
- Etablit un indicateur « Bepos » selon 4 niveaux de performance énergétique, classés de « E1 » à « E4 » pour le bâtiment à énergie positive ;
- Etablit deux nouveaux indicateurs de performance environnementale :
 - « Eges » caractérisant l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment
 - « Eges PCE » caractérisant l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et des équipements utilisés

Les valeurs de références de ces nouveaux indicateurs tiendront entre autres compte :

- De l'usage du bâtiment ;
- De sa situation géographique ;
- De son altitude ;
- De la surface de plancher ;
- Des utilités annexes envisagées (parking, ascenseur, parties communes, usages mobilier).

Indicateur « Bepos »

Cet indicateur se subdivise en 4 niveaux :

- « E1 et E2 » les 2 premiers permettent d'améliorer l'efficacité énergétique ainsi que l'usage de la chaleur par rapport à la RT2012 (gain de 5 à 20% environ en fonction des usages) ;
- Le niveau « E3 » améliore davantage l'efficacité énergétique par rapport à la RT2012 (gain de 20 à 40% en fonction des usages) et nécessite un recours significatif aux énergies renouvelables (biomasse, production d'électricité...) ;
- Le niveau « E4 » amène un bilan énergétique nul ou positif (sur l'ensemble des consommations énergétiques) caractérisant un bâtiment avec une production d'ENR équivalente ou supérieure aux consommations non renouvelables sur tous les usages (Chauffage, climatisation, ECS, ventilation, auxiliaires, usages mobiliers, ascenseurs, parking, éclairages des parties communes...).



Figure 15 : Bilan BEPOS - Source référentiel Energie Carbone

Ainsi le label E+C- incite à réduire les consommations d'énergies non renouvelables (réduire les besoins énergétiques et consommer de l'énergie renouvelable) puis dans un second incite à produire de l'énergie renouvelable.

Indicateur Carbone

L'indicateur carbone permet l'évaluation de la performance du bâtiment relative aux émissions de gaz à effet de serre par comparaison avec un niveau d'émission de gaz à effet de serre maximal sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

Notons que :

- Le niveau carbone 1 vise tous les modes constructifs et les bâtiments très contraints ;
- Le niveau 2 implique de réduire l'empreinte carbone du bâtiment en réduisant ses consommations énergétiques (en énergie non renouvelable) mais également en travaillant sur la nature des matériaux et des équipements installés (recours aux matériaux biosourcés, ossature bois, isolants biosourcés, etc. ;

Le calcul tient compte des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie pour l'ensemble des matériaux, des consommations et l'exploitation du bâtiment sur une durée de 50 ans :

- Terrassement ;
- Construction ;
- Consommations
- Exploitation et maintenance ;
- Destruction et traitement des déchets.

« Eges » et « Eges PCE » sont exprimés en kg d'équivalent CO₂ par m² de surface de plancher.

4.3 Contexte régional et local

4.3.1 Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE)

Le SRCAE, issu des lois Grenelle I et II, est un document cadre stratégique et réglementaire de la politique Climat Energie. Arrêté par le préfet de région, après approbation du conseil régional, il fixe pour chaque région administrative des objectifs quantitatifs et qualitatifs de développement de la production d'énergie renouvelable à l'horizon 2020. Il s'agit d'une vision prospective aux horizons 2020 et 2050 d'engagements nationaux de la politique climat-énergie qui doivent être pris en compte par les régions. Le SRCAE est document d'orientation non opposable, copiloté par le Préfet et la Région.

Le SRCAE Alsace a été approuvé par délibération de l'assemblée plénière du Conseil Régional et par arrêté du Préfet de région du 29 juin 2012. Parmi les objectifs du SRCAE Alsace, figurent :

- ❖ **La maîtrise de la demande énergétique** avec une réduction de 20 % de la consommation énergétique finale entre 2003 et 2020 ;

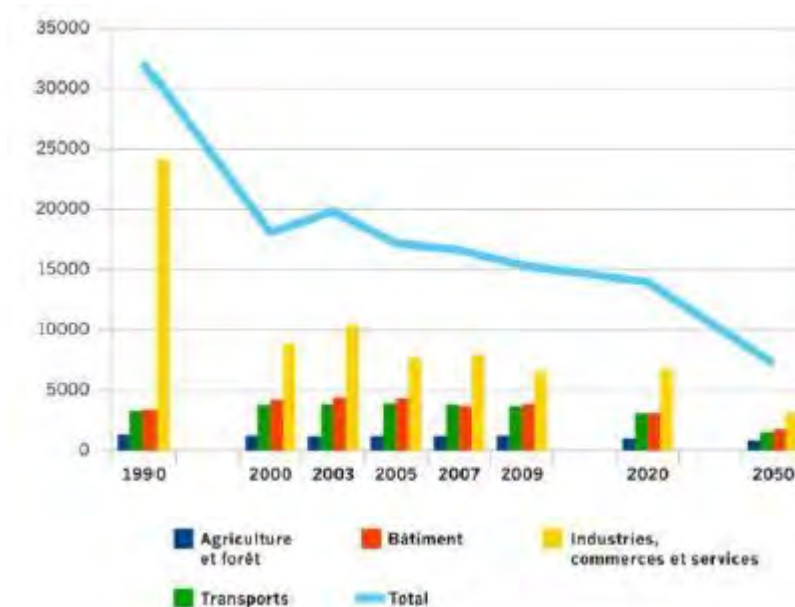


Figure 16 : Bilan et prospective de la consommation énergétique en Alsace (Source : SRCAE Alsace)

- ❖ **La réduction des émissions de gaz à effet de serre** de 75% entre 2003 et 2050 (facteur 4 volontariste) avec un palier à 20% en 2020.

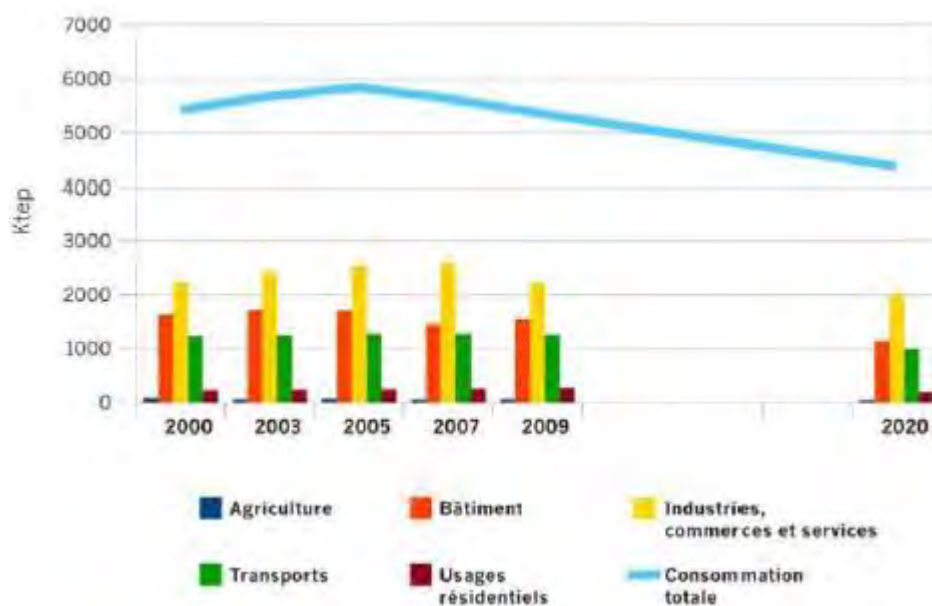


Figure 17 : Bilan et prospective des émissions de gaz à effet de serre en Alsace (Source : SRCAE Alsace)

- ❖ **L'augmentation de 20% de la part de production d'énergies renouvelables**, combinée à l'objectif de maîtrise de l'énergie, cela permettra d'atteindre une part de 26,5% d'énergies renouvelables dans la consommation finale en 2020 en Alsace.

Filière de production	Production 2009 (ktep)	Potentiel réaliste 2020 (ktep)	Effort à mener d'ici 2020	Potentiel estimé 2050 (ktep)	Effort à mener d'ici 2050
Hydroélectricité*	650	660	10	690	40
dont grande hydroélectricité	647,5	656,5	9	685	37,5
dont petite hydroélectricité	2,5	3,5	1	5	2,5
Biomasse bois**	214	266	52	300	86
Biomasse déchets	32	50	18	50	18
Biomasse agricole	0	5	5	20	20
Agrocarburants	23	30	7	50	27
Géothermie	12	46	34	85	73
dont géothermie profonde	0	20	20	37	37
dont géothermie de surface***	12	26	14	48	36
Solaire thermique	3	24	21	96	93
Solaire photovoltaïque	1	28	27	50	49
Biogaz	3	12	9	40	37
Éolien	0	20	20	60	60
Total	938	1141	203	1441	503
Production d'ENR/consommation finale d'énergie actualisée sur l'année considérée****	17,5 %	26,5 %		53,7 %	

* production moyenne entre 2006 et 2009 car la variation annuelle des débits peut être à l'origine de variation significative de la production

** objectif 2020 déjà atteint en 2011 avec les projets en cours de montage et programmés et concerne uniquement la production provenant du bois Alsacien

*** les chiffres pour les pompes à chaleur aérothermiques ne sont pas pris en compte car non disponibles

**** pourcentage calculé sur la base d'une consommation finale actualisée sur l'année considérée (5 364 ktep en 2009, 5 364 ktep diminué de 20 % en 2020, 5 364 ktep diminué de 50 % en 2050)

Illustration 1 : Tableau récapitulatif de l'état des lieux de la production ENR en 2009 et des potentiels estimés à 2020 et 2050 en Alsace.

Figure 18 : Tableau récapitulatif de l'état des lieux de la production ENR en 2009 et des potentiels estimés à 2020 en Alsace (Source SRCAE Alsace)

4.3.2 Le plan Climat Energie Territorial (PCET)

Les Plans Climat Energie Territoriaux (PCET) ont été initiés suite à la mise en place du Plan Climat à l'échelle nationale. L'objectif est de fixer des directives nationales puis de laisser agir les collectivités en fonction de leurs problématiques locales d'énergie, d'urbanisme et de transport. Les collectivités de plus de 50 000 habitants sont concernées.

C'est un projet de développement durable axé sur les changements climatiques et intégré dans les politiques structurantes du territoire, dans une perspective d'atteindre l'objectif national facteur 4 à l'horizon 2050. Sa finalité première est donc la lutte contre le changement climatique et la réduction des gaz à effet de serre.

Le PCET de l'Eurométropole de Strasbourg a pour objectifs à l'horizon 2020 :

- ❖ **La réduction de 30 % des émissions de gaz à effet de serre** par rapport à 1990,
- ❖ Une **économie de 30 % de la consommation totale d'énergie** ;
- ❖ **Porter de 20 à 30 % la part des énergies renouvelables** dans la consommation d'énergie.

A ces fins, le PCET de l'Eurométropole de Strasbourg prévoit dans son plan d'actions

- ❖ **Le développement des réseaux de chauffage urbain** et leur diversification par l'introduction d'une part significative d'énergies renouvelables ;
- ❖ **La valorisation de l'énergie thermique industrielle générée par l'usine d'incinération des ordures ménagères** ;
- ❖ **Le développement de la biomasse** (bois-énergie issu des filières locales) ;
- ❖ **L'exploitation de la nappe par la géothermie** ;
- ❖ Le développement d'une politique volontariste concernant le **solaire thermique et photovoltaïque**.

4.3.3 Le Plan Local de l'Urbanisme de l'Eurométropole (PLU)

Le PLU de l'Eurométropole de Strasbourg impose des objectifs énergétiques et de recours aux Energies renouvelables pour toute nouvelle construction.

L'atteinte des objectifs doit être justifiée au niveau des permis de construire des bâtiments. Le PLU approuvé le 16 décembre 2016, à jour de la modification n°1 approuvée le 23 mars 2018 et de la modification simplifiée n°2 approuvée le 29 juin 2018 impose :

« Article 15 : Obligations imposées aux constructions, travaux, installations et aménagements, en matière de performances énergétiques et environnementales :

- 1. Toute nouvelle construction à proximité d'un réseau de chaleur (concedé par la collectivité ou vertueux) doit privilégier son raccordement.**
- 2. Toute construction neuve, à vocation d'habitat, de bureaux ou d'équipements publics ou d'intérêt collectif, à l'exception des établissements de santé, ayant des besoins de froid**

*nécessitant un système de rafraîchissement actif, doit mettre en place des solutions énergétiques réversibles, **basées sur des énergies renouvelables**.*

*3. Toute construction neuve, à **vocation de bureaux**, supérieure à **1 000 m² de surface** de plancher doit mettre en place **un système de rafraîchissement passif**.*

*A défaut, **en cas de besoin d'un système de rafraîchissement actif**, des **sources d'énergies renouvelables** (y compris le raccordement à un réseau de froid) doivent être mises en place. Pour **les besoins de chaleur**, l'utilisation **de sources d'énergies renouvelables ou le raccordement à un réseau de chaleur** (concedé par la collectivité ou vertueux) doivent être mis en place.*

*4. Toute nouvelle construction à **vocation d'habitat** doit **renforcer de 15 %** les normes de performance énergétique **de la RT2012**. »*

5 POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT DES ENERGIES RENOUVELABLES

5.1 Réflexion préalable sur l'échelle de production

Nous identifions plusieurs échelles de production et de fourniture de chaleur :

- Production individuelle par bâtiment ;
- Production collective à l'échelle de l'îlot ou groupement de bâtiments ;
- Production collective à l'échelle de l'aménagement, voire des quartiers alentours.

Les paragraphes suivants permettent d'identifier les avantages et inconvénients de ces différentes possibilités de production de chaleur.

5.1.1 Production individuelle par bâtiment

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Gestion individualisée par bâtiment • Maîtrise de la demande de chauffage et des coûts énergétiques (flexibilité) • Adaptation de l'investissement aux différentes constructions en fonction de l'importance des besoins • Liberté des choix énergétiques et techniques pour les utilisateurs finaux 	<ul style="list-style-type: none"> • Multiplication des systèmes de production incompatible avec une démarche environnementale et développement durable • Coûts fixes (entretien, maintenance, abonnements) et facturation de l'énergie plus élevés • Changement ultérieure d'énergie difficile • Faible lisibilité de l'image énergétique vis-à-vis d'une politique générale

5.1.2 Production collective par secteur

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Gestion et conduite de l'installation à organiser (exploitant, suivi, contrat, etc.) • Adaptation des énergies en fonction des besoins de chaque secteur • Mutualisation de la production, de l'entretien et de la maintenance • Energie facturée moins chère • Partage des frais d'investissement • Encombrement globalement réduit • Optimisation du rendement de production grâce au foisonnement des besoins • Maîtrise de la perte thermique sur réseau 	<ul style="list-style-type: none"> • Locaux techniques à construire par îlot condamnant du foncier • Part fixe dans la répartition des charges de chauffage limitant la maîtrise des coûts Réseau commun à créer • Flexibilité réduite

5.1.3 Production collective à l'échelle de l'aménagement

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Solution relativement peu couteuse si raccordement à un réseau de chaleur existant • Gestion de l'installation et des frais énergétiques à organiser (exploitant, suivi, contrat, etc.) • Mutualisation de la production, de l'entretien et de la maintenance • Partage des frais d'investissement • Solution permettant la mise en œuvre de solutions énergétiques volumineuses ou coûteuses • Flexibilité énergétique aisée vis-à-vis du marché • Meilleure lisibilité vis-à-vis du recours aux énergies renouvelables 	<ul style="list-style-type: none"> • Mise en œuvre d'un réseau de chaleur et de sous-stations • Pertes énergétiques liées au réseau • Coût énergétique final plus élevé pour les occupants • Investissement initial important • Faible adaptabilité des énergies en fonction des besoins de chacun

5.1.4 Synthèse

La production centralisée offre une meilleure lisibilité vis-à-vis du recours aux énergies renouvelables et une image « respectueuse de l'environnement » pour la zone par la mise en œuvre d'une production énergétique « signal ».

Dans le cadre d'un concept de **production décentralisée**, le recours aux énergies renouvelables sera indéniablement moins lisible et faiblement valorisable en termes de communication à l'échelle de la zone. Mais ce concept offre une **liberté énergétique aux différents utilisateurs en fonction de leur besoin** (chaud et éventuellement froid) et de leur politique énergétique et environnementale propre ou de leur groupe de tutelle.

Néanmoins, la création du réseau de chaleur du Wacken Eco2Wacken a été réalisée en intégrant le potentiel raccordement des bâtiments de l'aménagement du projet Archipel 2. Les infrastructures de production ont été dimensionné afin de prolonger le réseau jusqu'à Archipel 2.

Une production centralisée est alors à privilégier

5.2 Réseaux à proximité du projet

5.2.1 Réseau de chaleur

Le réseau de chaleur identifié à proximité d'Archipel 2 est le réseau Eco₂Wacken.

Le réseau de chaleur urbain est constitué d'une chaufferie collective biomasse et d'un réseau de canalisations.



Figure 19 : Chaudière Biomasse et rafle de maïs - source Eco2Wacken

Le réseau de chaleur alimente certains bâtiments du quartier du Wacken : le nouveau parc expo, le Palais de la musique et des congrès, le hall Rhénus, la piscine du Wacken, le Tennis Club de Strasbourg, le Lycée Kléber ainsi que les bâtiments d'Archipel 1.



Figure 20 : Plan du réseau de chaleur Eco2Wacken

La chaufferie biomasse est alimentée par de la plaquette forestière ainsi que des rafles de maïs. La puissance installée est de 26MW. Le taux d'ENR du réseau est supérieur à 80% et le taux d'émission de CO₂ est particulièrement faible avec 59 g CO₂ / kWh (émission gaz = 234 g CO₂ / kWh). Ce taux est justifié par l'obtention d'un Titre V permettant de valoriser le réseau au sens des calculs conventionnels RT2012 et du label E+C- (RE2020).

Nom du réseau	Ville (n°département) et région	Description du réseau	Demandeur	N° d'agrément	Date de l'agrément	Contenu CO ₂ [kg _{eqCO2} /kWh]		Date de mise en service prévue
						Chaud	Froid	
Réseau de chaleur d'Aix-les-bains	Aix-les-Bains (73), AURA	(Création d'un réseau de chaleur bois appoint gaz, pour fournir le chauffage et l'eau chaude sanitaire toute l'année, avec un fonctionnement d'une chaudière bois hors saison de chauffe également)	Aix Énergies Nouvelles	RT2012-R-2015-10	30 janvier 2017	0,047		septembre 2017
BAGEOPS	Bagneux (92), Île-de-France	Création d'un réseau géothermique avec doublet (dogger)	SIPPEREC	RT2012-R-2016-01	20 avril 2016	0,07		avril 2016
Eco2Wacken	Strasbourg (67), Grand-Est	Création d'un réseau de chaleur biomasse (maïs et plaquette) appoint gaz	RCUA	RT2012-R-2016-04	20 avril 2016	0,059		Septembre 2016
Village Nature	Marne-la-Vallée (77), Île-de-France	Réseau géothermique (dogger) sur village d'éco-tourisme avec revente de chaleur à Disney.	Société Géothermale du Val d'Europe	RT2012-R-2016-05	17 mai 2016	0,015		juillet 2016

Figure 21 : Titre V du réseau chaleur Eco2Wacken

Ce réseau a été initialement dimensionné pour alimenter les bâtiments de l'aménagement Archipel 2.

Compte tenu de son important taux d'ENR, de sa faible émission en CO₂, le raccordement des bâtiments au réseau de chaleur Eco2Wacken semble tout à fait opportun d'autant que tout a été anticipé en ce sens lors de la création du réseau de chaleur.

Enfin, les exigences du PLU de l'Eurométropole Strasbourg incite fortement toutes nouvelles constructions à se raccorder aux réseaux de chaleur vertueux existants situés à proximité.

Un prédimensionnement de principe de raccordement des différents lots d'Archipel 2 a par ailleurs déjà été réalisé par le concessionnaire réseau :

ARCHIPEL 2 - réseau de chaleur Eco2 Wacken
Etudes préliminaires des extensions

21/03/2019

Hypothèses sur les puissances chauffe
selon les surfaces de plancher.

D / PLAN DE REPERAGE



Figure 22 : Prédimensionnement de principe du raccordement des lots d'Archipel 2

Le raccordement au réseau de chaleur Eco2Wacken est à privilégier pour l'ensemble des lots.

5.2.2 Boucle géothermique pour le rafraîchissement

En parallèle du chauffage urbain, le concessionnaire du réseau de chaleur a souhaité mettre en place un réseau de rafraîchissement alimenté par un doublet de forages géothermiques en nappe alluviale rhénane afin de pouvoir également répondre aux demandes de rafraîchissement des futurs occupants du Quartier d'Affaires International Archipel 1.

Ainsi un réseau de canalisations d'eau rafraîchi par la nappe peut alimenter les nouveaux bâtiments permettant ainsi un rafraîchissement avec ou sans pompe à chaleur. La mutualisation du rafraîchissement collectif permet d'éviter la multiplication de projets individuels et non coordonnés de pompage sur la nappe.

Cette solution semble néanmoins ne pas être envisagée sur Archipel 2 du fait du potentiel réchauffement de la nappe. Une interconnexion pour le projet Archipel 2 avec le réseau géothermique d'Archipel 1 ne semble pas envisageable.

5.3 Ressources disponibles en Alsace

Notre démarche a consisté à lister les énergies disponibles et à analyser leur pertinence au regard du projet. Chaque énergie fait l'objet d'un bilan concernant la performance énergétique et environnementale, la performance économique et l'incidence sociale possible.

Au préalable, la figure ci-dessous permet d'avoir un aperçu des énergies produites en Alsace.

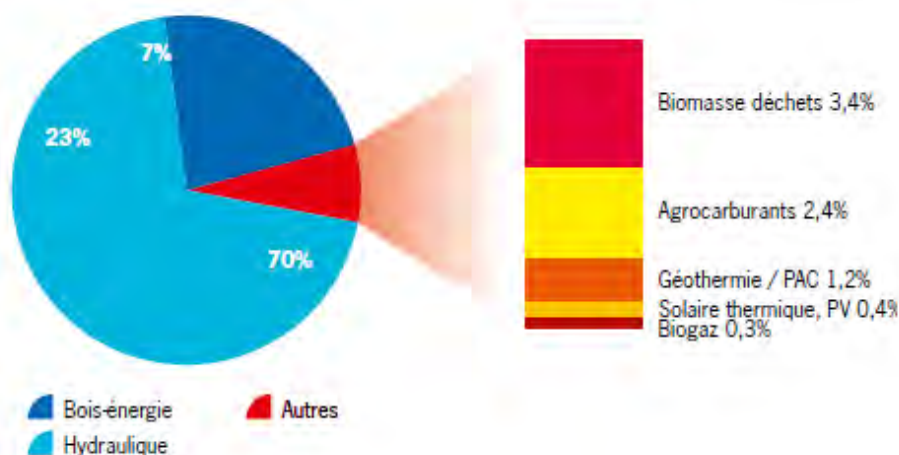


Figure 23 : Part des ENR dans la production d'énergie renouvelable en 2009 en Alsace (Source : SRCAE Alsace)

5.3.1 Energie hydraulique

Le gisement d'énergie hydraulique dépend de l'existence de cours d'eau présentant un débit et/ou une chute d'eau suffisante. Or, le canal de la Marne au Rhin, seul cours d'eau présent à proximité du projet Archipel 2, ne répond pas à ces critères.

5.3.2 Energie solaire

5.3.2.1 L'énergie solaire passive

L'énergie solaire passive est gratuite. Elle entre directement dans ce que l'on appelle communément l'approche bioclimatique, l'idée est simple : orienter et ouvrir au maximum les façades principales des bâtiments au sud. Il convient cependant d'intégrer des protections solaires (casquettes solaires, volets) pour limiter les apports en mi-saison et en été afin d'éviter les surchauffes. Il faudra néanmoins prendre en compte le risque d'éblouissement et/ou de surchauffe en prescrivant des solutions architecturales pour palier au risque de surchauffe évoqué.

5.3.2.2 Le solaire thermique et photovoltaïque

L'énergie solaire est une source d'énergie gratuite et adaptable qui peut être convertie en chaleur ou en électricité. Deux moyens principaux de convertir l'énergie solaire se distinguent :

- ❖ Conversion en chaleur : solaire thermique
- ❖ Conversion en électricité : solaire photovoltaïque

Le site étudié possède un potentiel faible pour l'utilisation de l'énergie solaire, comme le montre la carte ci-après.



Figure 24 : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale sur une surface horizontale (Source : Solargis)

Néanmoins, l'énergie reçue est suffisamment importante pour pouvoir être exploitée. De plus, ces systèmes sont bien adaptés aux milieux déjà denses et anthropisés : posés en toiture, ils limitent la concurrence au sol avec d'autres usages (agriculture, ...).

5.3.2.2.1 Solaire thermique

Il désigne l'énergie récupérée sous forme de chaleur à partir de la lumière du soleil. Le solaire thermique consiste à récupérer la chaleur du soleil dans des panneaux solaires ou capteurs solaires thermiques dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ce fluide chauffé dans les panneaux solaires peut stocker sa chaleur dans un ballon à accumulation qui alimente ensuite un circuit de chauffage ou fournit de l'eau chaude sanitaire.

Lorsque l'énergie solaire est valorisée pour produire de la chaleur, elle est principalement utilisée pour couvrir les besoins de chaleur assurant la fourniture d'eau chaude sanitaire. Etant donné les faibles besoins des commerces et des bureaux en eau chaude sanitaire, l'installation de panneaux solaires thermiques ne serait intéressante à mettre en œuvre que sur les logements des lots à dominante habitat.

Ils permettraient en fonction de la technologie utilisée et de l'implantation des capteurs en toiture de couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire. Les surfaces de toitures de ces bâtiments peuvent être utilisées pour l'implantation des panneaux solaires thermiques. Cette solution est à étudier plus spécifiquement avec une étude de faisabilité en fonction des consommations prévisionnelles.

Performance énergétique et environnementale	Gisement solaire non optimal Production intermittente Le solaire thermique permet de couvrir une partie des besoins d'eau chaude sanitaire Contraintes d'exposition et d'orientation pour assurer une couverture maximale Pas d'émissions de CO2 (hors production du panneau en tant que tel)
Performance économique	Coût d'investissement élevé Entretien annuel à assurer
Performance sociale	Bonne acceptabilité sociale et image « respectueuse de l'environnement »

Compte tenu de la présence d'un réseau de chaleur et la pertinence de raccordement à ce dernier dans le cadre des objectifs énergétiques et environnementaux, le solaire thermique n'est pas pertinent dans le cadre du projet. En effet, les besoins ECS sont couverts par le réseau qui lui-même est alimenté à plus de 80% en ENR.

5.3.2.2.2 Solaire photovoltaïque

Il désigne l'énergie récupérée et transformée directement pour produire de l'électricité à partir de la lumière du soleil par des panneaux solaires photovoltaïques. Les systèmes d'énergie solaire photovoltaïque produisent, quel que soit le niveau d'ensoleillement, davantage d'électricité lorsque le nombre d'heures d'ensoleillement est plus élevé et lorsque l'intensité d'ensoleillement est plus grande (en général en été).

Sur le site, l'installation de panneaux photovoltaïques est envisageable afin de produire de l'électricité localement, privilégier l'autoconsommation de la production et revendre à Electricité de Strasbourg (ES) le surplus. Il s'agit ainsi d'un principe de compensation des besoins énergétiques et non de réduction. Néanmoins, la consommation appelée sur le réseau d'électricité est réduite de la part autoconsommée.

Plusieurs solutions sont envisageables sur les bâtiments d'Archipel 2, en fonction de la configuration et de l'architecture des constructions :

- ❖ Mise en place en toiture sans intégration au bâti
- ❖ Une intégration à la façade (intégration simplifiée au bâti) sous forme de bardage vertical.

La mise en place en toiture est la plus souple puisque l'orientation et l'inclinaison peuvent être adaptées de façon à avoir des rendements optimaux. De plus, la surface importante de toiture offerte par l'ensemble des bâtiments permet aisément la mise en place de ce type d'installation.

Performance énergétique et environnementale	<p>Gisement solaire non optimal en Alsace</p> <p>Production intermittente</p> <p>Le rendement des cellules diminue de 20% au-delà de 20 ans et leur fin de vie pose des questions relatives à leur impact environnemental</p> <p>Contraintes d'exposition et d'orientation pour assurer une couverture maximale</p> <p>Pas d'émissions de CO2 (hors production du panneau en tant que tel)</p>
Performance économique	<p>Prix de revente en fonction de la taille de l'installation et de l'intégration ou non au bâti</p> <p>Rentabilité possible pour des petites et moyennes installations</p> <p>Des batteries pour stocker l'électricité en cas de non revente sont nécessaires</p>
Performance sociale	<p>Bonne acceptabilité sociale et image « respectueuse de l'environnement »</p>

L'énergie solaire photovoltaïque devra être étudiée dans le cadre du quartier d'affaires archipel 2 compte tenu des objectifs fixés et en vue de l'application de la future réglementation thermique RE2020 et la généralisation des bâtiments à énergie positive.

Le recours aux installations photovoltaïques est compatible avec le raccordement au réseau de chaleur.

5.3.2.3 Potentiel solaire des toitures de l'aménagement

Les ombres portées de l'aménagement prévisionnel du quartier permettent de cibler les toitures favorables au développement des installations solaires :

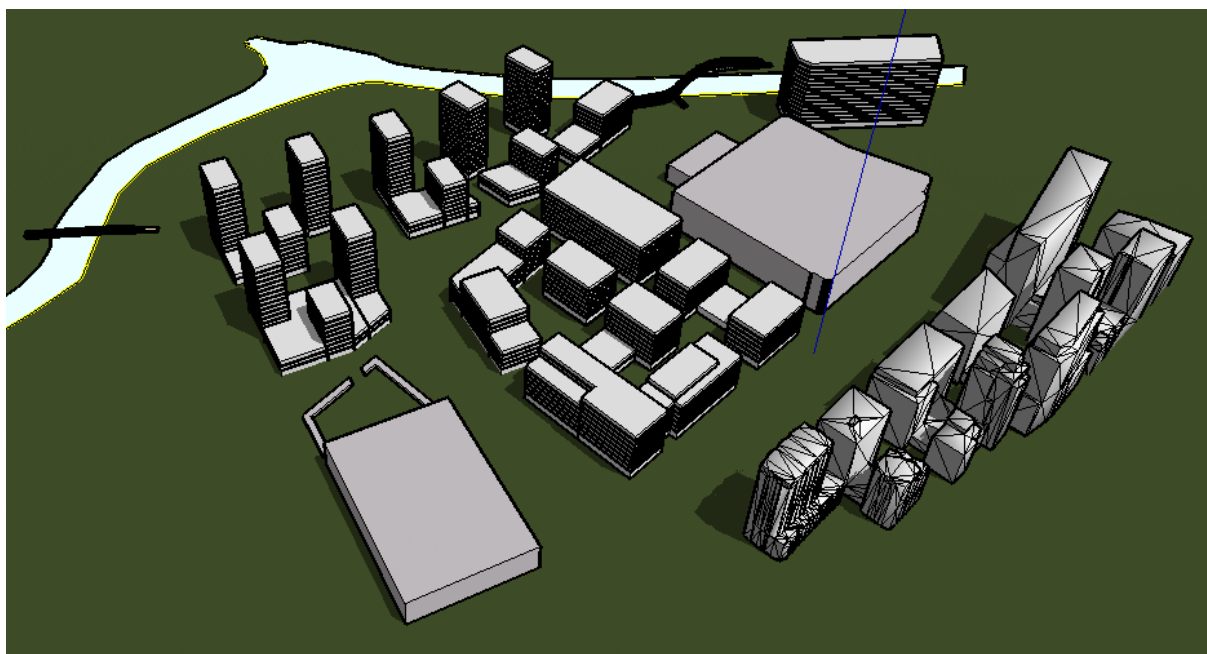


Figure 25 : Ombres portées le 21 juin à 12h

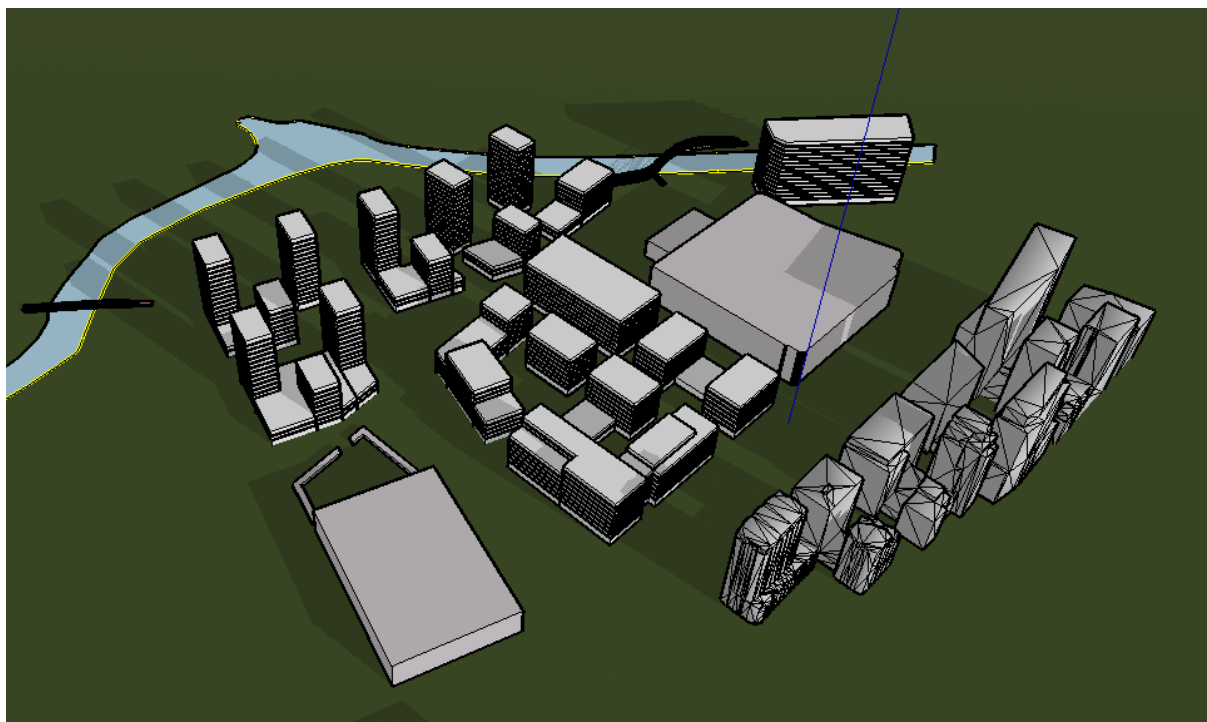


Figure 26 : Ombres portées le 21 décembre à 12h

Les bâtiments d'Archipel 1 font légèrement de l'ombre aux toitures situées au bord du Boulevard de Dresde. Les toitures des autres bâtiments sont généreusement exposées au soleil d'hiver.

Potentiel de production photovoltaïque :

Tableau 9 : potentiel de production PV

	Surface toiture m ²	Surface PV m ²	Puissance crête envisageable Wc	Production électrique PV kWh / an
A1	2 178	1 089)	139 378
A2				
A3				
B1	629	314	50 309	40 247
B2	529	265	42 354	33 883
D1	665	333	53 210	42 568
D2	657	328	52 530	42 024
D3	460	230	36 820	29 456
F1	245	122	19 575	15 660
F2	232	116	18 560	14 848
F3	327	163	26 133	20 907
G1	245	122	19 575	15 660
G2	232	116	18 560	14 848
G3	360	180	28 800	23 040
H1	212	106	16 965	13 572

H2	260	130	20 815	16 652
H3	174	87	13 920	11 136
I1	245	122	19 575	15 660
I2	447	224	35 770	28 616
I3	245	123	19 627	15 701
J1	245	122	19 575	15 660
J2	245	122	19 575	15 660
J3	232	116	18 560	14 848
J4	210	105	16 800	13 440
6				
TOTAL	9 273	4 636		593 464

La surface de toiture exploitable à l'installation de panneaux photovoltaïques est estimée à 4 636 m² pour une puissance crête installée de 742 kWc et une production de 593 MWh. Les besoins électriques (hors chauffage, ECS et climatisation) sont estimés à 4 035 MWh soit une couverture maximale par le photovoltaïque de 15% environ.

5.3.3 Energie éolienne

On distingue 3 catégories d'éoliennes, identifiées en fonction de leur puissance :

- ❖ Le grand éolien : puissance > 350 kW – hauteurs de machine supérieures à 80m ;
- ❖ L'éolien moyen : puissance entre 36 kW et 350 kW – hauteurs de machine inférieures à 80m en général ;
- ❖ Le petit éolien : puissance entre 1 kW et 36 kW – hauteurs de machine de 10 à 20m environ.

Les zones favorables au développement de l'éolien en Alsace ont été définies dans le cadre du Schéma Régional Eolien, annexé au SRCAE. La carte délimitant ces zones favorables montre que le projet Archipel 2 est situé en dehors de ces zones favorables.

Néanmoins le recours au petit éolien permet de s'affranchir de certaines contraintes présentées dans le schéma. Ainsi l'interdiction d'implantation à moins de 500m des habitations et des zones futures d'habitations (principale contrainte du site) ne concerne que les éoliennes de plus de 50m de hauteur.



Figure 27 : Extrait de la carte des zones favorables au développement de l'éolien en Alsace (Source : Schéma Régional Eolien Alsace)

L'utilisation du potentiel éolien en milieu urbain est une idée récente, la rugosité de cet environnement induisant des turbulences perturbant le fonctionnement des éoliennes utilisées jusqu'à présent. Récemment, certains constructeurs ont développé différents types d'éoliennes qui peuvent s'adapter aux conditions particulières des zones urbaines.

C'est notamment le cas des éoliennes à axe vertical, qui bien que plus chères et bénéficiant d'un moins bon rendement :

- Captent plus facilement la ressource contenue dans le vent lorsque les turbulences sont importantes
- Bénéficient d'un faible encombrement
- Sont particulièrement silencieuses compte tenu de l'absence de pales
- Posent moins de problèmes de sécurité.

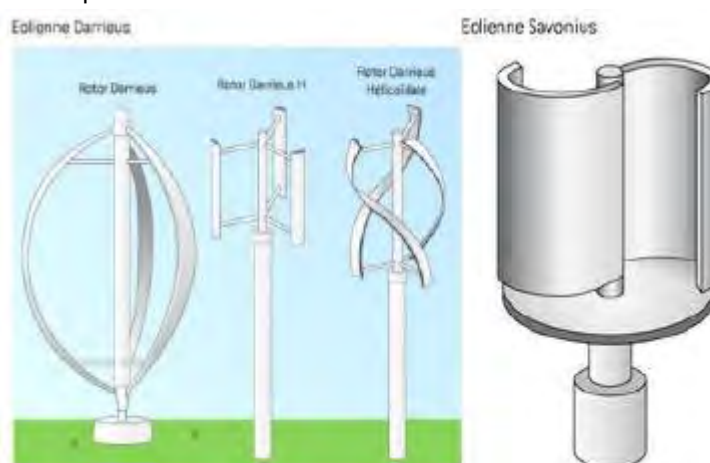


Figure 28 : Exemple d'éolienne à axe vertical

Dans tous les cas, les vitesses de vent réduites sur le site d'Archipel 2 (de l'ordre de 4m/s à 50m de hauteur) limitent fortement le recours à l'énergie éolienne. La mise en place d'éoliennes sur le site ne se justifie que dans le but de bénéficier de l'image communicative (effet de signal) d'une telle installation.

Performance énergétique et environnementale	Vitesses de vent réduites sur la zone Production intermittente Pas d'émissions de CO2 sauf lors de sa construction
Performance économique	Le petit éolien présente un coût de construction élevé (entre 10k€ et 25k€ par éolienne ; source www.eolienne-particulier.info/prix). On estime ainsi qu'il faut compter environ 20 ans pour amortir l'achat d'une éolienne.
Performance sociale	Bonne acceptabilité sociale et image « respectueuse de l'environnement »

L'éolien ne sera pas une énergie renouvelable considérée.

5.3.4 Energie géothermique

La géothermie correspond à l'énergie captée dans le sol ou dans l'eau (appelée dans ce cas hydrothermie ou aquathermie). Les différents systèmes utilisant l'énergie géothermique peuvent être classés en quatre catégories :

- ❖ la géothermie haute énergie ($t > 150^{\circ}\text{C}$) ;
- ❖ la géothermie moyenne énergie ($90^{\circ}\text{C} < t < 150^{\circ}\text{C}$) ;
- ❖ la géothermie basse énergie ($30^{\circ}\text{C} < t < 90^{\circ}\text{C}$) ;
- ❖ la géothermie très basse énergie ($t < 30^{\circ}\text{C}$).

Sur le plan réglementaire, le décret n°78-498 du 28 mars 1978 (modifié récemment par décret n° 2015-15 du 8 janvier 2015) distingue la géothermie à haute et à basse température selon que la température du fluide caloporteur, mesurée en surface au cours des essais du forage d'exploration, est soit supérieure, soit inférieure ou égale à 150°C . L'octroi des droits de recherches et d'exploitation des gîtes géothermiques diffèrent pour ces deux types.

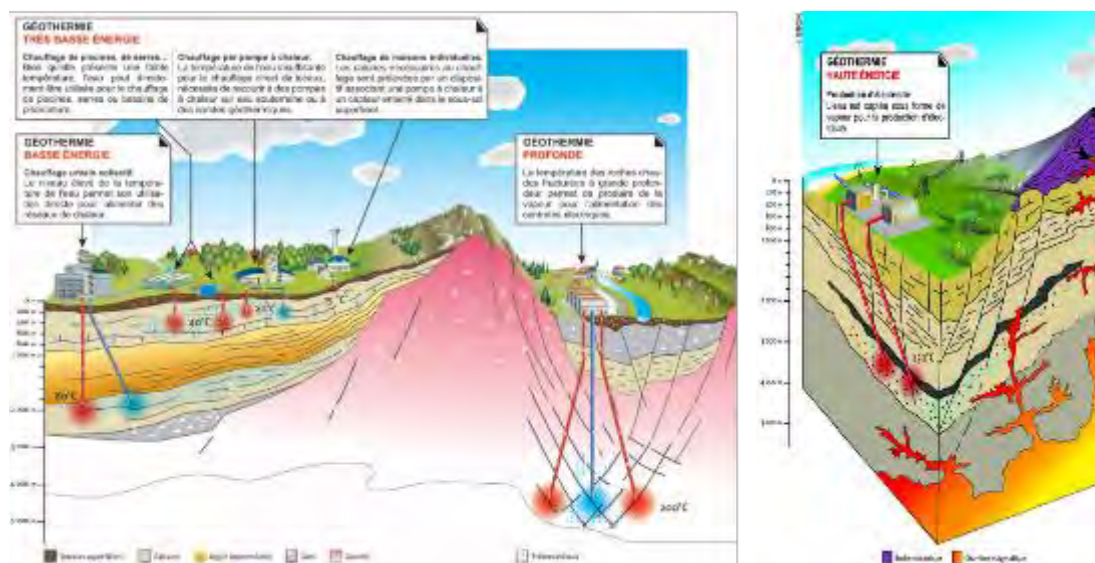


Figure 29 : Source ADEME – BRGM : différents systèmes d'exploitation de la géothermie

5.3.4.1 La géothermie haute, moyenne et basse énergie

L'utilisation des ressources géothermales se décompose en deux grandes familles : la production d'électricité et/ou la production de chaleur. Le critère qui sert de guide pour bien qualifier la filière est la température du milieu dans lequel on prélève la chaleur.

Des températures de 60°C sont souvent préconisées comme température minimale pour la production de chaleur directe tandis que la production d'électricité requiert au minimum des températures de 100°C. Les températures supérieures à 150°C sont considérées comme étant d'un très haut potentiel pour la production d'électricité.

La géothermie haute, moyenne et basse énergie fonctionne sur le principe du doublet géothermique : l'eau est puisée dans une nappe profonde puis réinjectée après récupération de ses calories. La température de l'eau est assez élevée pour se passer d'une pompe à chaleur.

L'étude GeORG réalisée dans le cadre du programme INTERREG IV Rhin Supérieur identifie la présence de trois réservoirs géothermiques profonds au niveau de l'agglomération strasbourgeoise :

- La grande Oolithe, dont le toit est estimé à une profondeur d'environ 2500m du niveau d'Archipel 2 (température comprise entre 125° et 150°C)
- Le Muschelkalk supérieur dont le toit est estimé à une profondeur de plus de 3200m du niveau d'archipel 2 (Température comprise entre 150° et 175°C)
- Le Buntsandstein dont le toit est estimé à une profondeur de plus de 3200m du niveau d'Archipel

Ces trois réservoirs apparaissent comme des réservoirs fracturés. Or, la connaissance des réseaux de fractures qui les découpent (et donc de leur perméabilité) n'est pas assez connue, à l'heure actuelle, pour prévoir les débits attendus lors de la réalisation d'un forage géothermique.

Compte tenu de la profondeur des forages, la géothermie haute, moyenne et basse énergie nécessite d'importants coûts d'investissement. Son exploitation ne peut donc se faire qu'à une échelle industrielle. Le recours à cette ressource dans le cadre d'Archipel 2 doit donc nécessairement s'appuyer sur les opérateurs locaux spécialisés.

En définitive, le recours à la géothermie haute, moyenne et basse énergie présente peu d'intérêt compte tenu :

- De l'avancement actuel des projets en cours dans l'agglomération strasbourgeoise mais surtout de l'incertitude quant à l'exploitation de la ressource.
- De besoins insuffisants en chaleur pour rendre la création d'un réseau de chaleur économiquement viable

Performance énergétique et environnementale	Faibles émissions de CO2 Puissances produites importantes Risques minier et sismique
Performance économique	Coût d'investissement très important qui nécessite le recours à des opérateurs spécialisés Création d'un réseau de chaleur depuis les sites d'extraction
Performance sociale	Filière en cours de développement sur l'agglomération strasbourgeoise Exploitation locale incertaine à l'heure actuelle (projets en recherche)

Le recours à cette ressource dans le cadre de l'aménagement Archipel 2 Wacken doit nécessairement s'appuyer sur les opérateurs locaux spécialisés.

5.3.4.2 Géothermie très basse énergie

La géothermie très basse énergie concerne l'exploitation des aquifères peu profonds et l'exploitation de l'énergie naturellement présente dans le sous-sol à quelques dizaines, voire quelques centaines de mètres.

Elle ne permet l'utilisation de la chaleur par simple échange que dans des cas d'applications spécifiques. Elle doit être couplée à des pompes à chaleur (PAC) pour relever la température du fluide extrait et le rendre utilisable pour des applications de chauffage, de froid et d'eau chaude sanitaire.

Elle peut se subdiviser en deux parties :

- ❖ la géothermie PAC sur aquifère : l'eau d'une nappe peu profonde est puisée, amenée à la pompe à chaleur puis réinjectée après prélèvement des calories.
- ❖ la géothermie PAC sur champs de sondes verticales et sur capteurs horizontaux ; le système est composé de sondes géothermiques verticales (30 à 150 m de profondeur en général) ou de capteurs horizontaux à faible profondeur, de un à quelques mètres ; un fluide circule dans les sondes, permettant de prélever les calories du sous-sol pour les amener à la pompe à chaleur.

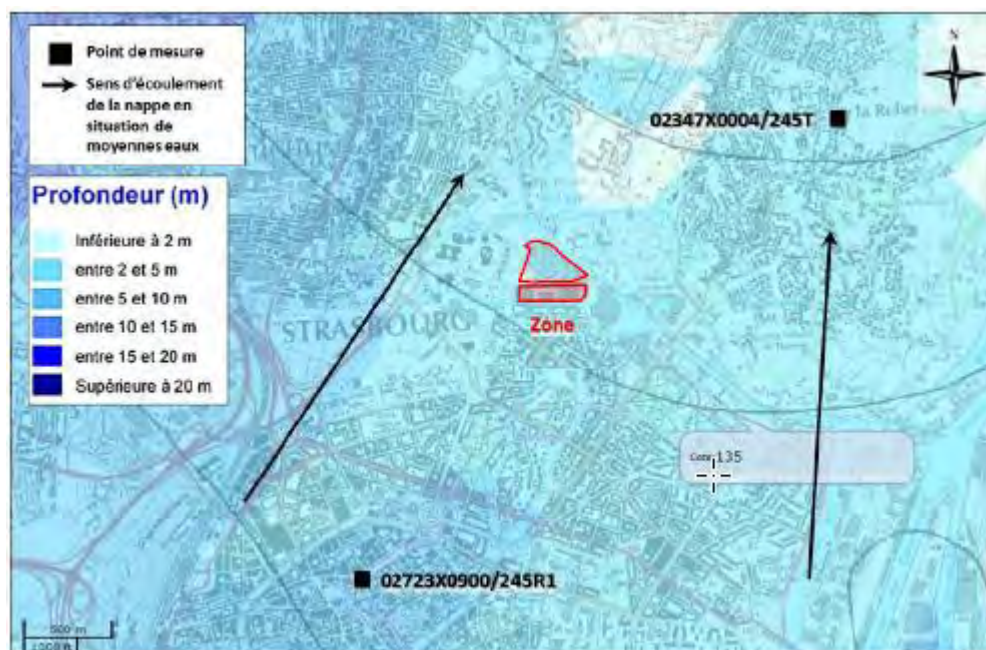


Figure 30 : Profondeur moyenne de la nappe phréatique sur le site étudié (Source : APRONA)

Elle ne permet l'utilisation de la chaleur par simple échange que dans des cas d'applications spécifiques. Elle doit être couplée à des pompes à chaleur (PAC) pour relever la température du fluide extrait et le rendre utilisable pour des applications de chauffage, de froid et d'eau chaude sanitaire.

Etant donné la présence de la nappe d'Alsace à une faible profondeur sur le site (2 à 10m en moyennes eaux), la solution PAC sur aquifère semble la plus appropriée au projet. Cette solution présente par ailleurs l'avantage d'obtenir de meilleurs coefficients de performance comparé à la géothermie sur sondes (puisage de la chaleur du sol). En effet, la stabilité de température de l'eau permet d'optimiser le fonctionnement de la pompe à chaleur tout au long de l'année.

Deux solutions peuvent être mises en œuvre :

- ❖ Le puits unique : l'eau de la nappe est rejetée dans le canal situé à proximité du site après extraction de ses calories ou frigories ; plus économique qu'une solution avec réinjection de l'eau, ce type de prélèvement est cependant plus impactant pour l'équilibre hydraulique de la ressource et est de moins en moins favorisé ;
- ❖ Le doublet de forage : l'eau de la nappe prélevée à un forage dit « producteur » est réinjectée par un second forage dit « injecteur », après exploitation de ses propriétés thermiques ; l'éloignement entre les deux ouvrages est à étudier pour éviter la perturbation des eaux réinjectées (plus froides ou plus chaudes) sur le forage producteur.

Dans les deux cas, l'échange de chaleur et/ou de froid se fait à travers d'une ou plusieurs pompes à chaleur alimentant un réseau à basse température.

Dans le cas du projet Archipel 2, la présence de nombreux commerces associés à d'autres types de bâtiments (logements, bureaux, etc.) implique des **demandes simultanées de chaud et de froid** (intersaisons par exemple). Deux solutions peuvent être envisagées pour y répondre :

- ❖ Soit la création de deux réseaux, un réseau de chaleur et un réseau de froid, alimentés par plusieurs pompes à chaleur ;
- ❖ Soit la réalisation d'un seul réseau de chaleur de type boucle géothermique qui alimente les différents bâtiments/îlots, équipés chacun d'une PAC.

Il convient de noter que la réglementation a récemment évolué afin de favoriser le déploiement de ce type d'installations. Le décret n°2015-15 du 8 janvier 2015 prévoit en effet :

- ❖ L'exclusion du Code minier de la plupart des ouvrages géothermiques de moins de 10 mètres de profondeur ;
- ❖ La création d'un régime déclaratif allégé pour les activités géothermiques dites de « minime importance » qui n'ont pas d'incidence significative sur l'environnement.

Seules les installations ne satisfaisant pas au régime de la minime importance restent soumises à autorisation complète de l'installation au titre du Code minier.

Le régime de minime importance s'applique aux installations qui remplissent les conditions suivantes :

- ❖ La profondeur du forage est inférieure à 200 mètres
- ❖ La puissance thermique maximale prélevée du sous-sol et utilisée pour l'ensemble de l'installation est inférieure à 500 kW
- ❖ Pour les activités recourant au moins à un échangeur thermique ouvert :
 - La température de l'eau prélevée en sortie des ouvrages de prélèvement est inférieure à 25°C
 - Les eaux prélevées sont réinjectées dans le même aquifère et la différence entre les volumes d'eaux prélevés et réinjectés est nulle
 - Les débits prélevés ou réinjectés sont inférieurs à 80 m³/h
- ❖ Les installations ne présentent pas de risques environnementaux significatifs au regard des caractéristiques de l'ouvrage. Ce dernier point est évalué sur la base d'une cartographie de zonage réglementaire établie par les services du BRGM et du CEREMA qui définit trois zones.
 - Des zones ne présentant pas de risques, dites « zones vertes »
 - Des zones dans lesquelles l'absence de risques graves liés au projet doit être attestée par un expert agréé, dites « zones orange »
 - Des zones à risque significatif dans lesquelles les ouvrages de géothermie ne peuvent pas être considérées de minime importance, dites « zones rouges ».

Performance énergétique et environnementale	Faibles émissions de CO2 (pompes à chaleur) Circulation de fluides frigorigènes dans des canalisations souterraines pour les sondes verticales et les capteurs horizontaux (risque de pollution des sols et des eaux souterraines)
Performance économique	Coût du forage
Performance sociale	Contraintes spatiales importantes pour capteurs horizontaux Risque de conflit d'usage pour la géothermie sur aquifère (agriculture, captages AEP...) Procédure simplifiée pour les ouvrages de minime importance

La géothermie très basse énergie doit être étudiée dans le cadre d'Archipel 2 Wacken notamment pour les besoins de froid. Pour les besoins de chaleur, la géothermie n'est pas pertinente compte tenu de la présence du réseau de chaleur à proximité.

5.3.5 Energie aérothermique

Les systèmes utilisant cette énergie sont des systèmes thermodynamiques, de type pompe à chaleur, pour la plupart réversibles. Cette solution est moins dépendante aux aléas techniques que la géothermie basse énergie (équipements) mais pose des problèmes de performance par temps de froid. En dessous d'un certain seuil de température extérieur (variable selon les machines, de +3 à -20°C), un système de chauffage de type pompe à chaleur (PAC) aérothermique perd en efficacité et un système d'appoint (électrique en général) doit prendre le relais pour la production de calories.

Or, les conditions météorologiques du site ne sont pas idéales pour un fonctionnement optimal d'une PAC aérothermique.

Au niveau de l'insertion dans le site, elle peut également poser quelques inconvénients de type nuisances sonores et visuelles.

La part d'énergie renouvelable dans le recours à l'énergie aérothermique est compensée par le facteur de conversion entre l'énergie finale et l'énergie primaire (coefficient conventionnel de 2,58 en France). Ainsi la part d'énergie renouvelable valorisable est constituée des valeurs de coefficient de performance (COP) annuelle supérieures à 2,58.

Exemple : une PAC aérothermique ayant un COP de 3 (1kwh consommé pour 3 kWh produit), la part d'énergie renouvelable valorisée n'est pas de 66% (2kWh gagné) mais seulement de 14% (2,58kWhEP consommé pour 3kWh produit soit 0,42kWhEP).

Ces systèmes sont dédiés à l'échelle d'un ou plusieurs bâtiments et il est difficile d'envisager une production de grande puissance centralisée. Il faut veiller à éloigner les prises d'air neuf des rejets.

Performance énergétique et environnementale	Faibles émissions de CO2 (pompes à chaleur) Faibles performances par temps de froid Production centralisée difficile à mettre en œuvre
Performance économique	Faible investissement
Performance sociale	Nuisances sonores et visuelles

Néanmoins, cette solution constitue une solution conventionnelle pour couvrir les besoins de froid à l'échelle individuelle. Cette solution sera comparée aux solutions alternatives pour couvrir les besoins de froid.

5.3.6 Energie issue de la cloacothermie

5.3.6.1 Récupération de chaleur des eaux usées

Il s'agit de récupérer les eaux qui coulent dans les réseaux d'assainissement. Leur température moyenne est de 12 à 20°C toute l'année. L'eau plus chaude que l'air ambiant en hiver permet de récupérer la chaleur, tandis que l'inverse se produit en été. Le fluide alimente une pompe à chaleur qui est raccordée aux circuits de chauffage et/ou d'eau chaude sanitaire. Les circuits, pour une circulation optimale, doivent être basse température (<65°C).

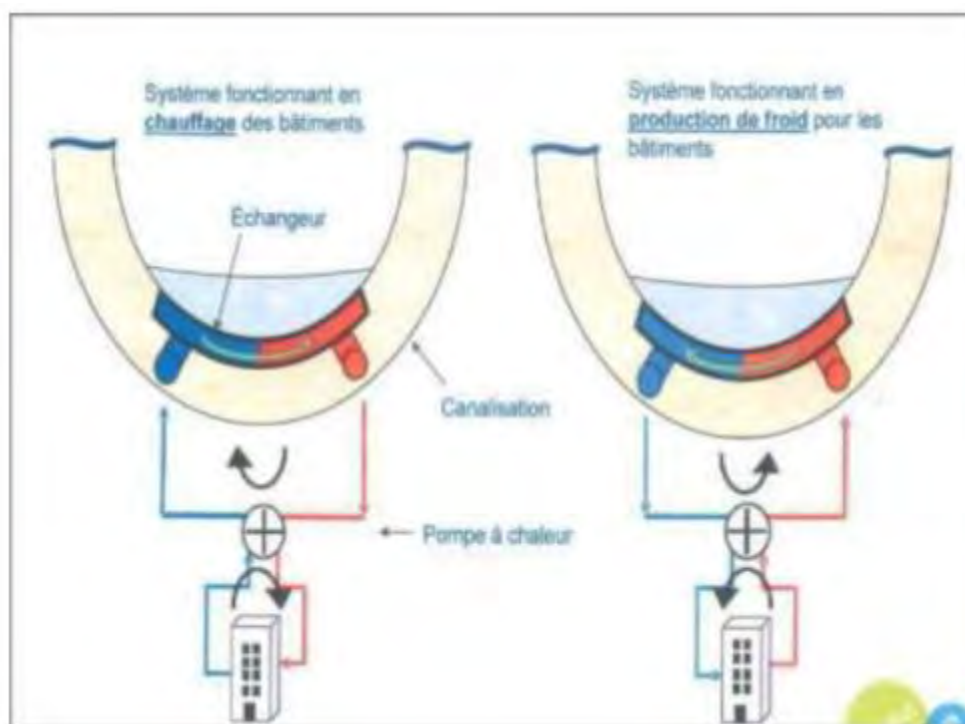


Figure 31 : Schéma de principe de la récupération de chaleur des eaux usées

Les avantages du système sont :

- ❖ La localisation des sites de récupération de chaleur sont proches des points de consommation : les variations de quantité de chaleur sont donc synchronisées avec les variations de la demande.

- ❖ La puissance en sortie de PAC comprise entre 150kW et 1000kW.
- ❖ Un entretien mineur : seule la PAC et l'échangeur de chaleur doivent suivre une opération de maintenance régulière.

Il présente par contre plusieurs contraintes :

- ❖ Le débit doit être supérieur ou égal à 12l/s soit un bassin versant de 8 000 habitants
- ❖ Le système n'est pas approprié aux zones tertiaires et commerciales
- ❖ Le diamètre du collecteur supérieur doit être de 400mm pour un collecteur neuf et de 800 mm pour un collecteur existant.
- ❖ Seul le concessionnaire du réseau peut mettre en place ce système et l'exploiter

Performance énergétique et environnementale	Pas d'émissions de CO2 sauf lors de l'installation Bonne synchronisation des variations de quantité de chaleur en fonction de la demande (proximité des sites de récupération des points de consommation) Puissance appelée en électricité pour le chauffage moindre par rapport à un système de chauffage électrique conventionnel
Performance économique	Investissements importants (intervention sur les réseaux d'assainissement)
Performance sociale	La dépendance à une seule société peut être mise en question

Cette solution peut être envisageable à terme sur l'ensemble de l'aménagement, il faudra cependant vérifier les débits pour pouvoir envisager la mise en place de cette installation.

5.3.6.2 Récupération de chaleur des eaux grises

Le principe est de récupérer la chaleur contenue dans les eaux grises (eaux de douche, bains, éviers, lave-linge, ...) évacuées des bâtiments afin de préchauffer l'eau chaude sanitaire. La température des eaux grises est généralement comprise entre 28 et 40°C ce qui constitue un potentiel non négligeable permettant de préchauffer (de manière indirecte) l'eau chaude sanitaire. Le potentiel de récupération de calories est de 15 kWh pour 1000 litres d'eaux grises évacuées.

Le système présente toutefois quelques inconvénients :

- ❖ Il est difficile à mettre en œuvre sur les constructions existantes car il nécessite la création d'un réseau doublé d'eaux usées (eaux grises d'une part et eaux vannes d'autre part) ;
- ❖ Il s'adapte essentiellement aux logements, notamment collectifs, mais pas aux locaux commerciaux qui produisent peu d'eaux grises ;
- ❖ Il s'agit d'un système qui convient essentiellement à la production d'eaux chaudes sanitaires et vient en appoint d'une autre source de chaleur.

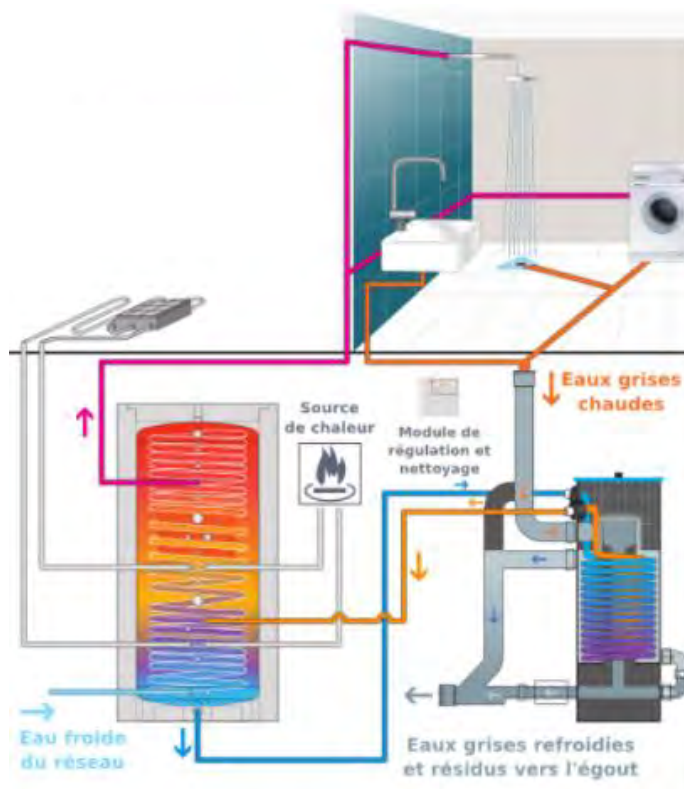


Figure 32 : Schéma de principe de la récupération de chaleur des eaux grises

Ce choix peut être mis en œuvre à l'échelle de chaque logement neuf (ou du moins l'échelle d'un collectif) de l'aménagement mais peut difficilement être imposé à l'ensemble des projets.

Performance énergétique et environnementale	Pas d'émissions de CO2 sauf lors de l'installation Energie non soumise aux variations du climat, stable et constante Bonne synchronisation des variations de quantité de chaleur en fonction de la demande (proximité des sites de récupération des points de consommation) Rendement potentiel important Système peu adapté aux zones tertiaires et commerciales
Performance économique	Investissement important car le réseau d'évacuation doit être doublé Difficulté de mise en place sur des réseaux existants

Cette solution peut être envisageable pour les logements et dans le cadre d'une production avec stockage de l'ECS.

5.3.7 Energie issue de la biomasse

5.3.7.1 Combustibles issus de la biomasse

Le développement des biocombustibles (bois, rafles de maïs, miscanthus, paille, cultures énergétiques...) pour la production de chaleur et d'électricité constitue une voie importante pour limiter le recours aux énergies fossiles et lutter contre le changement climatique.

La démarche est soutenue par l'ADEME depuis près de 20 ans avec la mise en place notamment du Plan Bois-Energie et Développement Local qui incite au chauffage domestique par le bois et au développement de réseaux de chaleur et de chaufferies collectifs par le bois.

Les principales sources de biomasse sur le secteur sont le bois ainsi que la biomasse issue de l'agriculture (et notamment la culture de miscanthus et le rafle de maïs). Le recours à la biomasse consiste à utiliser le bois ou autres matières organiques d'origine végétale à des fins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire et, dans certains cas, de production d'électricité. Elle permet de limiter le recours aux énergies fossiles et lutter contre le changement climatique. Les méthodes d'utilisation sont presque similaires aux chaudières classiques où la biomasse remplace le fuel ou le gaz comme combustible. La filière biomasse et notamment bois énergie est bien structurée et développée sur tout le territoire alsacien et vosgien.

Les types de combustibles sont divers et variés mais trois principaux produits se dégagent concernant le bois : le bois bûches, le granulé et la plaquette de scierie qui est un sous-produit de l'industrie de première transformation. Cette plaquette est principalement destinée aux chaudières collectives et à la cogénération.

La biomasse présente plusieurs avantages :

- ❖ **Renouvelable** : elle peut être plantée en quantité et être disponible pour la production énergétique dans un délai cohérent par rapport à notre échelle de temps (quelques années à quelques dizaines d'années).
- ❖ **Bon marché** : en fonction des solutions retenues (bûches, granulés, bois déchiqueté, rafles de maïs, miscanthus), le prix de la biomasse reste intéressant en comparaison avec les autres types d'énergies. Cela est d'autant plus vrai qu'une installation de forte puissance (réseau de chaleur) permet d'exploiter les ressources les moins chères (bois bûche ou plaquette notamment).
- ❖ **Performant** : les équipements actuels (poêles, chaudières) affichent des performances tout à fait intéressantes, et sont de plus en plus automatisés.
- ❖ **Adaptable** : la ressource s'adapte aussi bien à un bâtiment qu'à un quartier. Toutefois, la centralisation sera recommandée en milieu urbain, afin de minimiser les contraintes évoquées ci-après. Elle est, de surcroît, évolutive en termes de puissance (ajout de générateur) et de fourniture (réseau de chaleur étendu aux zones d'habitat environnantes) et il est possible de la coupler à une production d'électricité (cogénération).

Quelques difficultés peuvent cependant être mises en avant :

- ❖ Le traitement des fumées : il est nécessaire de mettre en œuvre des équipements performants pour l'ensemble des installations afin de favoriser une bonne combustion et ainsi des rejets moins chargés ; des filtres à particules doivent également être mis en place d'autant qu'Archipel 2 est situé en zone sensible (zone soumise ou potentiellement soumise à un dépassement de valeurs limites notamment pour les particules PM10) ;
- ❖ Une chaufferie collective doit être équipée de zones ou d'un silo de stockage dimensionnés en fonction des besoins. De plus, un contrat de maintenance doit prévoir le passage régulier d'un agent pour le décendrage et l'entretien annuel de la chaufferie. La valorisation des cendres doit également être prévue ; la fluctuation économique de son marché même si la tendance est actuellement à la stagnation des prix en Alsace (d'après l'observatoire Fibois Alsace) ; d'après les études réalisées par l'ADEME⁴ l'évolution du coût du combustible issu de la biomasse est de 0 à 5% par an selon les formes, le granulé de bois ayant subi la plus forte hausse de prix.
- ❖ D'après le volet biomasse-bois du SRCAE et une étude réalisée par l'association Fibois Alsace⁵, il ressort que la ressource alsacienne en biomasse-bois est déjà fortement mobilisée et que l'on peut constater des tensions sur le marché du bois-énergie ; le gisement forestier à destination potentielle du bois-énergie ne permet actuellement plus que de répondre à des projets de petite taille.

Performance énergétique et environnementale	Emissions globales de CO ₂ quasi nulles (émissions de l'installation compensées par la replantation d'arbres) Ressource disponible localement Nécessité d'un traitement des fumées efficaces (zone sensible particules) Cogénération possible
Performance économique	Coût assez faible à l'achat de la matière première, qui se rapproche de celui du gaz naturel Augmentation du prix bois buche et bois granulés au milieu des années 2000 puis stagnation ou lente évolution
Performance sociale	Contraintes en termes d'approvisionnement et de stockage Recours aux ressources locales (emploi, coût moindre, etc.) Implication des filières agricoles dans l'approvisionnement en énergie renouvelable du pôle (effluents, boues, miscanthus, ...)

Le recours à l'énergie biomasse est réalisé en cas de raccordement au réseau de chaleur Eco2Wacken. Une nouvelle production spécifique et uniquement dédiée à Archipel 2 n'est pas envisageable.

5.3.8 Méthanisation

La méthanisation ou fermentation anaérobie est la décomposition biologique des matières organiques par une activité microbienne naturelle ou contrôlée, dans un milieu en raréfaction d'oxygène. Composé majoritairement de méthane (60 à 80%) et de dioxyde de carbone (18 à 38%) le biogaz peut être valorisé de différentes manières :

- ❖ Par cogénération : l'électricité produite est revendue à un producteur d'électricité, sous le régime d'obligation d'achat ; la chaleur est utilisée en partie pour le fonctionnement de l'unité de méthanisation, le reste étant valorisé à proximité par des industriels ou des collectivités.
- ❖ Par combustion sous chaudière : une partie de la chaleur produite sera utilisée pour le fonctionnement de l'installation de méthanisation, le reste étant valorisé à proximité par des industriels ou des collectivités.
- ❖ En tant que carburant pour véhicules publics après épuration (autobus, ...).
- ❖ Par injection sur le réseau de distribution de gaz naturel (après épuration du biogaz).

Les substrats permettant la production de biogaz résultent essentiellement de quatre sources :

- ❖ Les déchets organiques des collectivités
- ❖ Les boues issues des stations d'épuration
- ❖ Les déchets des industries agroalimentaires
- ❖ Les sous-produits agricoles fermentescibles (lisier, fumier, paille, ...)

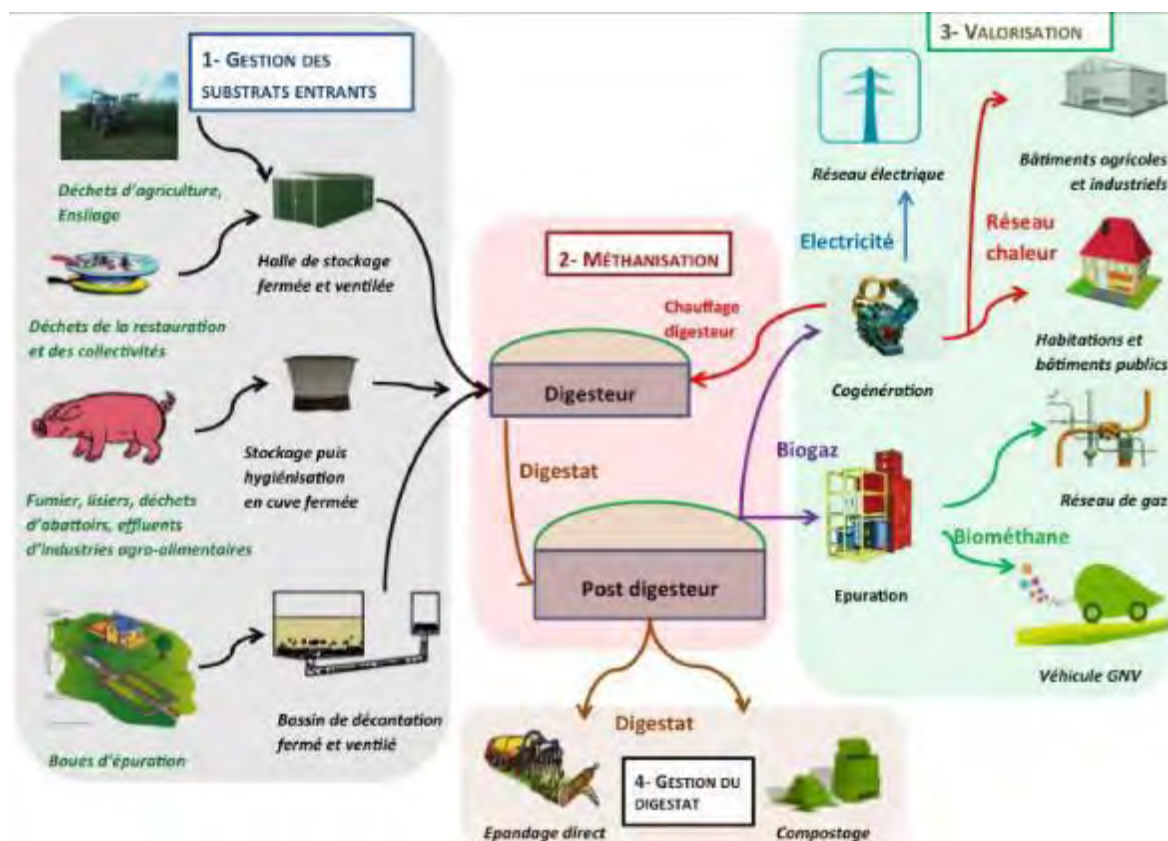


Figure 33 : Sources et utilisation du biogaz

Tous les déchets ménagers de l'Eurométropole de Strasbourg sont envoyés vers l'usine de d'incinération située dans la zone portuaire du Rhin et exploitée par la société Senerval dans le cadre d'une délégation de service public. L'incinération de ces déchets produit :

- ❖ De la vapeur distribuée à plusieurs entreprises installées à proximité
- ❖ De l'électricité, en partie utilisée pour couvrir les besoins énergétiques du site, le reste alimentant le réseau de l'Electricité de Strasbourg.
- ❖ De la chaleur qui alimente un réseau de chauffage urbain desservant plusieurs quartiers de Strasbourg (Meinau, Neuhof, Elsau, Hôpital Civil).

De même, les eaux usées produites au niveau d'Archipel 2 sont acheminées vers la station d'épuration de Strasbourg-Wantzenau qui possède sa propre unité de méthanisation.

Le projet Biovalsan, porté par l'Eurométropole de Strasbourg et les partenaires Lyonnaise des Eaux, Degrémont Services et Réseau GDS, a permis l'injection du biogaz produit sur le site vers le réseau de distribution de gaz de l'agglomération depuis 2015.

Ainsi, la valorisation énergétique des déchets et des eaux usés uniquement sur le secteur Archipel 2 n'est pas envisageable vu que des systèmes existants sont déjà en place à l'échelle de l'agglomération.

Finalement, la faisabilité d'une unité de méthanisation au niveau d'Archipel 2 repose uniquement sur les gisements de l'agriculture ou de l'industrie agro-alimentaire. Sur site ces gisements sont absents, et impossible à faire acheminer en ville.

Performance énergétique et environnementale	<p>Faibles émissions de CO2 (conversion du méthane en CO2, moins impactant)</p> <p>Manque de connaissance du gisement exploitable</p> <p>Valorisation sous plusieurs formes</p> <p>Cogénération possible</p>
Performance économique	Investissement important

5.3.9 Cogénération

La cogénération consiste à produire simultanément de la chaleur (distribuée par un réseau de chaleur) et de l'électricité à partir d'un combustible de type gaz (biogaz ou gaz de ville) ou biomasse. Ces systèmes présentent un meilleur rendement que dans le cas de deux installations séparées. Cela a pour effet de contribuer à diminuer les consommations d'énergie et les émissions de CO2.

6 SYNTHÈSE DES ENR DISPONIBLES ET PERTINENTES

Le tableau ci-dessous reprend les avantages et les inconvénients des différentes solutions envisagées.

Tableau 10 : Synthèse des ENR disponibles

Energie	Production	Avantages	Inconvénients	Pertinence à étudier
Hydraulique	Electricité		Pas de gisement sur le site	NON
Eolienne	Electricité variable	Bonne image communicative	Coût d'installation Gisement insuffisant Place Production intermittente	NON
Solaire photovoltaïque	Electricité variable	Rentabilisation par rachat de l'énergie Grandes surfaces de toitures disponibles Bonne image communicative	Gisement non optimal Production intermittente	OUI notamment dans le cadre de la RE2020 et de la généralisation des bâtiments à énergie positive
Solaire thermique	Chaud variable	Compatibilité avec la RT2012 (logements) Bonne image communicative	Coût d'installation Gisement non optimal Production intermittente	NON – pas compatible avec le raccordement au réseau de chaleur existant
Géothermique (haute, moyenne et basse énergie)	Chaud haute température Electricité	Puissances produites importantes Production à l'échelle industrielle	Coûts d'investissement Création d'un réseau de chaleur depuis les sites d'extraction	NON – Filière en cours d'exploration et de développement.
Géothermique (très basse énergie)	Chaud basse température Froid	Ressource disponible Production continue Réversibilité de la PAC	Coût d'investissement Risque de conflit d'usage	OUI – uniquement pour la production de froid
Biomasse	Chaud haute température	Disponibilité de la ressource Coût des matières premières	Coût d'investissement Traitement des fumées Tension locale du marché du bois-énergie	OUI dans le cadre du raccordement au réseau de chaleur existant

Méthanisation	Biogaz	Elimination des boues de station d'épuration et effluents	Elimination des digestats, Nuisances olfactives Surface nécessaire	NON
Cloacothermie (eaux usées)	Chaud basse température	Proximité des points de consommation	Non adapté aux zones tertiaires et commerciales	NON
Récupération eaux grises	Chaud basse température	Proximité des points de consommation	Non adapté aux zones tertiaires et commerciales	OUI pour les bâtiments de logements avec production par stockage
Cogénération	Electricité et chaud	Disponibilité de la ressource Coût des matières premières	Implantation d'une centrale Production à proximité d'un réseau Raccordement	NON. Solution possible dans le cadre du développement du réseau de chaleur mais pas à l'échelle unique d'Archipel 2
Réseau de chaleur existant	Chaud haute température	Réseau de chaleur à proximité et pré-dimensionné	Réseau à prolonger	OUI

La quartier Archipel 2 sera alimenté en énergie renouvelable par le réseau de chaleur Eco2Wacken dont les tracés et infrastructure sont déjà en place. Concernant la production de froid, deux scénarios peuvent être envisagés :

- ❖ Une production individuelle à l'échelle de chaque lot/bâtiment
- ❖ Une production collective à l'échelle du quartier via un réseau de froid.

La récupération de la chaleur des eaux grises pourra également être pris en compte en énergie d'appoint dans le cadre de la production d'eau chaude sanitaire des logements. Le solaire photovoltaïque pourra également être étudié en variante dans le cadre d'une recherche de performance énergétique BEPOS (Label E+C-, RE2020).

7 ETUDE DE SCENARII PERTINENTS

7.1 Hypothèses d'étude

7.1.1 Coûts énergétiques

Ces coûts sont décomposés pour tous les postes de consommation tels que chauffage, ventilation, production d'ECS, auxiliaires et éclairage.

Les coûts énergétiques moyens (**abonnements compris**) sont issus de la base de données Pégase pour l'électricité et RCUA 2017 pour le réseau de chaleur.

- Electricité : 120,5 € HT / MWh
- Réseau de chaleur :
 - R1 : 32,89 € HT / MWh
 - R2-R3 : 51,06 € HT / kW

Les termes R2-R3 permettent de prendre en compte l'abonnement, l'entretien-maintenance courant du réseau et des sous-stations ainsi que l'approvisionnement pour le renouvellement des installations. Ainsi, les opérations de maintenance courante sont intégrées dans l'abonnement.

Les hypothèses prises en compte dans le cadre de la création d'un réseau de froid :

- Réseau de froid :
 - R1 : 56,34 €
 - R2 : 29,82 € HT / kW
 - R3 : 0,06 € HT / m³
 - Frais de raccordement permettant de payer l'investissement : 44 € HT / m² de plancher

Comme pour le réseau de chaleur, les termes R2 et R3 permettent d'intégrer les frais d'exploitation-maintenance ainsi que le renouvellement et gros entretien.

- Coûts annuels de maintenance des groupes froids individuels (à l'échelle de chaque bâtiment) :
 - Maintenance courante : 3% de l'investissement
 - Provision pour Renouvellement et gros entretien : 5% de l'investissement

La production photovoltaïque est prioritairement autoconsommée. Le surplus de production n'est pas stocké et est revendu au réseau d'électricité avec les conditions tarifaires suivantes :

2 / TARIFS DE VENTE DE L' ELECTRICITE PHOTOVOLTAIQUE EN SURPLUS DU 1 OCTOBRE 2019 AU 31 DÉCEMBRE 2019

Prime d'investissement et tarif de vente de l'électricité photovoltaïque (auto-consommation avec vente de surplus)

Type installation	Puissance (kWc)	primes et tarifs (c€/kWh) du 1/10 au 31/12/19
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 3 kWc	prime de 390 €/kWc + vente à 10 c€/kWh
	≤ 9 kWc	prime de 290 €/kWc + vente à 10 c€/kWh
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	≤ 36 kWc	prime de 180 €/kWc + vente à 6 c€/kWh
	≤ 100 kWc	prime de 90 €/kWc + vente à 6 c€/kWh
Sur bâtiment et respectant les critères généraux d'implantation	> 100 kWc	0

Figure 34 : tarifs de vente de l'électricité photovoltaïque (source : <https://www.les-energies-renouvelables.eu/>)

7.1.2 Coût environnemental

Les scénarii proposés permettent de donner une valeur estimative des consommations induites par les différents types d'énergie. Par rapport à ces consommations, nous pouvons estimer les émissions CO2 produites. L'impact sur l'effet de serre a été calculé selon les coefficients utilisés dans le cadre d'une certification HQE issus du Guide Pratique du Référentiel pour la Qualité Environnementale des bâtiments – « Bâtiments tertiaires » - Septembre 2011 de la sous-cible 4.3 - Réduction des émissions de polluants dans l'atmosphère.

Facteurs d'émissions des combustibles en équivalent CO ₂	kg eq CO ₂ /kWh d'énergie finale
Charbon	0,384
Fioul lourd	0,322
Fioul domestique	0,300
Gaz naturel	0,234
Bois	0
Electricité	0,084
chauffage	0,180
éclairage	0,080
climatisation	0,037
autres	0,052
CPCU	0,153

Figure 35 : Guide Pratique du Référentiel pour la Qualité Environnementale des bâtiments – « Bâtiments tertiaires » - Septembre 2011

Pour le réseau de chaleur RCUA, la valeur prise en compte est issue du Titre V spécifique au réseau de chaleur Eco2Wacken.

Dossier n°: R-2016-04		
Identification du demandeur :		Identification de l'opération :
RCUA		Réseau de chaleur Eco2Wacken

Périmètre de la demande		Valeur agréée
<input checked="" type="checkbox"/>	Contenu CO2 du réseau de chaud [kgeqCO2/kWh]	0,059
<input type="checkbox"/>	Contenu CO2 du réseau de froid [kgeqCO2/kWh]	N/A

Figure 36 : Titre V réseau Eco2Wacken

Enfin, concernant le réseau de froid, les besoins sont couverts par une pompe à chaleur froid à absorption avec récupération de chaleur fatale (30%) et 70% par des groupes froids. Le coefficient global de performance des groupes froids est estimé à 2. Le contenu CO2 du réseau froid est ainsi estimé à 0,0294 kgeq CO2/kWh.

7.2 Scenario 1 : réseau de chaleur et production individuelle pour le froid

7.2.1 Description de la solution

Ce scénario consiste à une production énergétique réalisée de la sorte :

- Production de chaud par réseau de chaleur Eco2 Wacken alimentant des sous-stations dans chaque bâtiment.
- Production de froid par Groupe froid individuel (machine thermodynamique réversible) dans les bâtiments tertiaires

Ce scénario comprend l'extension du réseau de chaleur Eco2Wacken situé sur Archipel 1. Rappel : la conception du réseau de chaleur a été réalisé en intégrant une extension de ce dernier pour alimenter les bâtiments d'Archipel 2. L'énergie produite par le réseau de chaleur permettra de couvrir les besoins de chauffage de tous les bâtiments ainsi que les besoins d'ECS des logements et les équipements. L'ECS des bureaux et commerces sera produite par des petits ballons électriques, au vu des faibles besoins et des distances importantes entre les points de puisage.

Le taux de couverture en ENR de la production de chaleur sera de 80%.

Chaque bâtiment tertiaire est équipé d'un groupe frigorifique afin de couvrir les besoins de climatisation. Le coefficient de performance annuel EER de la climatisation est par hypothèse de 2.

L'électricité est fournie par le réseau.

	Chauffage	ECS	Climatisation	Production locale d'électricité
Logements	Réseau chaleur Eco2Wacken	Réseau chaleur Eco2Wacken	-	-
Tertiaires	Réseau chaleur Eco2Wacken	Ballons électriques	Groupe froid	-

Cette solution est cohérente avec l'avancement actuel des opérations sur les projets de construction des bâtiments et de l'extension du réseau de chaleur.

7.2.2 Bilan énergétique et environnemental

Tableau 11 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 1

Archipel 2	
Bilan énergétique	
	Total
Chauffage [kWh]	3 255 399
ECS [kWh]	1 461 787
Climatisation [kWh elec]	637 047
Auxiliaires + Eclairage [kWh]	1 136 658
Electricité spécifique [kWh]	2 964 445
Total Thermique (réseau) [kWh]	4 717 187
Total Elec [kWh] énergie finale	4 738 150
Quantité d'EnR [kWh]	3 773 749
Part d'EnR (%) / consommations énergie primaire	22,28%
Facture énergétique annuelle	
Coût total réseau chaud (€)	401 003 €
Coût total électricité (€)	570 947 €
Maintenance et renouvellement groupe froid (€)	136 706 €
Coût total énergie	1 108 656 €
Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES) annuelles	
Réseau (kg CO2)	278 314
Electricité (kg CO2)	398 005
Total émissions CO2	676 319

La part d'ENR prise en compte est basée sur l'énergie primaire (coefficient 2,58 entre énergie finale et énergie primaire pour les consommations électriques).

Ce scénario permet d'atteindre une couverture en ENR sur les consommations d'énergies primaires de 22%. En énergie finale, le taux de couverture ENR est de 40%.

7.2.3 Investissement

Tableau 12 : Investissement du scénario 1

ZAC Archipel 2	
Réseau de chaleur	416 675 €
Sous-station	216 675 €
Raccordement	200 000 €
Production froid individuelle	1 708 824 €
Groupe froid	1 708 824 €
Distribution et émissions	17 279 875 €
Tertiaire	14 495 800 €
Logements	2 784 075 €
TOTAL	19 405 374 €

7.3 Scénario 2 : réseau de chaleur et réseau de froid

7.3.1 Description de la solution

Ce scénario reprend la production de chaleur du scénario 1 (raccordement au réseau de chaleur Eco2Wacken). La solution consiste également à créer un réseau d'eau glacée pour alimenter l'ensemble des bâtiments de la ZAC Archipel 2.

La production de froid est réalisée par une centrale d'énergie composée de groupes froids traditionnels et de groupes à absorption récupérant la chaleur fatale du réseau de chaleur. Cette récupération de la chaleur fatale du réseau de chaleur pour la production d'eau glacée permet ainsi un recours aux ENR à hauteur de 30 % environ.

Afin de limiter les pics de puissance pour la production d'eau glacée il est proposé de produire de la glace la nuit. La glace permet un stockage d'énergie restituée en journée par la fonte du stock de glace permettant ainsi de réduire la puissance électrique appelée dans la production de froid en journée.

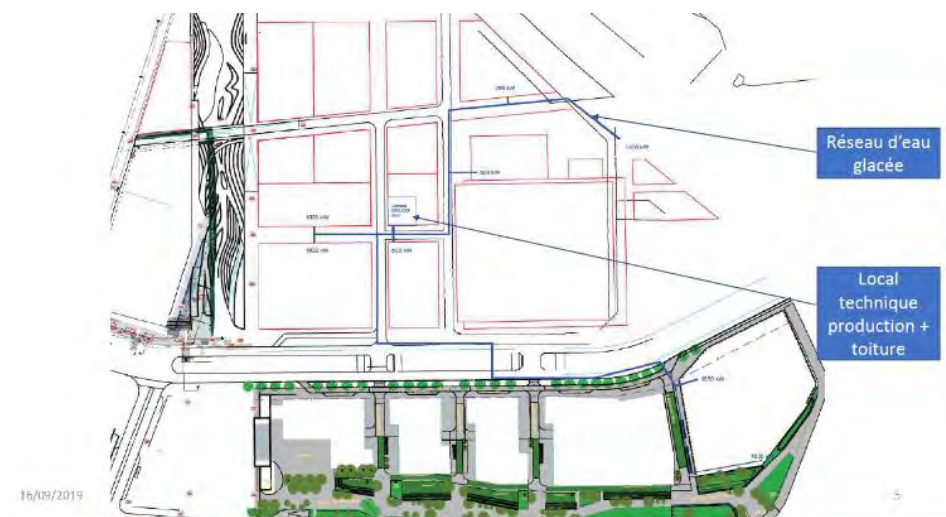


Figure 37 : Plan simplifié du réseau d'eau glacée source R-CUA

Les besoins d'ECS des bureaux et des commerces seront produits par des petits ballons électriques, au vu des faibles besoins et des distances importantes entre les points de puisage. L'électricité est fournie par le réseau.

L'électricité est fournie par le réseau.

	Chauffage	ECS	Climatisation	Production locale d'électricité
Logements	Réseau chaleur Eco2Wacken	Réseau chaleur Eco2Wacken	-	-
Tertiaires	Réseau chaleur Eco2Wacken	Ballons électriques	Réseau d'eau glacée	-

Cette solution est cohérente avec l'avancement actuel des opérations sur les projets de construction des bâtiments et de l'extension du réseau de chaleur.

7.3.2 Bilan énergétique et environnemental

Tableau 13 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 2

Archipel 2	
Bilan énergétique	
	Total
Chauffage [kWh]	3 255 399
ECS [kWh]	1 461 787
Climatisation [kWh réseau]	1 274 094
Auxiliaires + Eclairage [kWh]	3 964 864
Electricité spécifique [kWh]	2 964 445
Total Thermique (réseau) [kWh]	4 717 187

Total froid (réseau) [kWh]	1 274 094
Total Elec [kWh] énergie finale	4 101 103
Quantité d'EnR [kWh]	3 964 864
Part d'EnR (%)	24,10%
Facture énergétique annuelle	
Coût total réseau chaud (€)	401 003 €
Coût total réseau froid (€)	208 590 €
Coût total électricité (€)	494 183 €
Coût total énergie	1 103 775 €
Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES) annuelles	
Réseau chaleur (kg CO2)	278 314
Réseau froid (kg CO2)	37 458
Electricité (kg CO2)	344 493
Total émissions CO2	660 265

La part d'ENR prise en compte est basée sur l'énergie primaire (coefficient 2,58 entre énergie finale et énergie primaire pour les consommations électriques).

Ce scénario permet d'atteindre une couverture en ENR sur les consommations d'énergies primaires de 24%. En énergie finale, le taux de couverture ENR est de 43%.

7.3.3 Investissement

Tableau 14 : Investissement du scénario 2

ZAC Archipel 2	
Réseau de chaleur	416 675 €
Sous-station	216 675 €
Raccordement	200 000 €
Réseau de froid	3 189 076 €
Investissement	3 189 076 €
Distribution et émissions	17 279 875 €
Tertiaire	14 495 800 €
Logements	2 784 075 €
TOTAL	20 885 626 €

Concernant l'investissement du réseau de froid, ce dernier est déterminé à partir des frais de raccordement estimé par R-CUA qui permettent de payer l'investissement.

7.4 Scénario 3 : réseau de chaleur, réseau de froid et production photovoltaïque

7.4.1 Description de la solution

Ce scénario reprend la production de chaleur et de froid du scénario 2 (raccordement au réseau de chaleur Eco2Wacken et création d'un réseau d'eau glacée) et intègre une production photovoltaïque sur chaque bâtiment de la ZAC afin de répondre aux objectifs du label E+C- avec un niveau énergétique E3 minimum.

Concernant les surfaces de panneaux photovoltaïques, nous sommes partis sur un ratio forfaitaire que 50 % de la surface de toiture est équipée de panneau solaire photovoltaïque. La puissance par m² de panneau est de 160 W/m². Les panneaux solaires monocristallins demeurent les plus performants avec un rendement de l'ordre de 15 à 20%. Dans la région de Strasbourg, la production photovoltaïque (pour une orientation Sud et une inclinaison de 30°) est d'environ 800 kWh / kWc installé.

Tableau 15 : Potentiel de production photovoltaïque

	Surface toiture m ²	Surface PV m ²	Puissance crête envisageable Wc	Production électrique PV kWh / an
A1	2 178	1 089)	139 378
A2				
A3				
B1	629	314	50 309	40 247
B2	529	265	42 354	33 883
D1	665	333	53 210	42 568
D2	657	328	52 530	42 024
D3	460	230	36 820	29 456
F1	245	122	19 575	15 660
F2	232	116	18 560	14 848
F3	327	163	26 133	20 907
G1	245	122	19 575	15 660
G2	232	116	18 560	14 848
G3	360	180	28 800	23 040
H1	212	106	16 965	13 572
H2	260	130	20 815	16 652
H3	174	87	13 920	11 136
I1	245	122	19 575	15 660
I2	447	224	35 770	28 616
I3	245	123	19 627	15 701
J1	245	122	19 575	15 660
J2	245	122	19 575	15 660
J3	232	116	18 560	14 848
J4	210	105	16 800	13 440
6				

TOTAL	9 273	4 636		593 464
--------------	--------------	--------------	--	----------------

Cette solution est cohérente avec l'avancement actuel des opérations sur les projets de construction des bâtiments de la ZCN.

7.4.2 Bilan énergétique et environnemental

L'électricité produite par les panneaux photovoltaïque est prioritairement auto-consommée sur site par les bâtiments. Nous estimons que 60% de la production est auto-consommée (et donc déduit de la consommation électrique du réseau) et 40% est revendu au réseau.

Tableau 16 : Bilan énergétique et environnemental du scénario 3

Archipel 2	
Bilan énergétique	
	Total
Chauffage [kWh]	3 255 399
ECS [kWh]	1 461 787
Climatisation [kWh réseau]	1 274 094
Auxiliaires + Eclairage [kWh]	1 136 658
Electricité spécifique [kWh]	2 964 445
Autoconsommation PV [kWh]	-350 475
Total Thermique (réseau) [kWh]	4 717 187
Total froid (réseau) [kWh]	1 274 094
Total Elec [kWh] énergie finale	3 750 628
Quantité d'EnR [kWh]	4 548 988
Part d'EnR (%)	29,26%
Facture énergétique annuelle	
Coût total réseau chaud (€)	401 003 €
Coût total réseau froid (€)	208 590 €
Coût total électricité (€)	451 951 €
Recettes Photovoltaïque (€)	108 619 €
Coût total énergie	952 924 €
Emissions de Gaz à Effet de Serre (GES) annuelles	
Réseau chaleur (kg CO2)	278 314
Réseau froid (kg CO2)	37 458
Electricité (kg CO2)	315 053
Total émissions CO2	630 825

La part d'ENR prise en compte est basée sur l'énergie primaire (coefficient 2,58 entre énergie finale et énergie primaire pour les consommations électriques).

Ce scénario permet d'atteindre une couverture en ENR sur les consommations d'énergies primaires de 29%. En énergie finale, le taux de couverture ENR est de 51%.

7.4.3 Investissement

Tableau 17 : Investissement du scénario 3

ZAC Archipel 2	
Réseau de chaleur	416 675 €
Sous-station	216 675 €
Raccordement	200 000 €
Réseau de froid	3 189 076 €
Investissement	3 189 076 €
Distribution et émissions	17 279 875 €
Tertiaire	14 495 800 €
Logements	2 784 075 €
Installation Photovoltaïque	2 190 467 €
ZAC	2 190 467 €
TOTAL	23 076 094 €

Concernant l'investissement du réseau de froid, ce dernier est déterminé à partir des frais de raccordement estimé par R-CUA qui permettent de payer l'investissement.

8 ANALYSE MULTI CRITERES

8.1 Caractéristiques énergétiques et environnementales

Tableau 18 : Analyse multi critères des scénarii

	Taux ENR			Tonnes Eq CO2	Investissement [€]	Cout énergétique annuel [€]
	Par rapport aux consommations globales en énergie primaire	Par rapport aux consommations RT en énergie primaire	Par rapport aux consommations globales en énergie finale			
Scénario de référence : Réseau de chaleur et production individuelle de froid	22,3%	40,6%	40 %	676	19 405 374 €	1 108 656 €
Réseau de chaleur et réseau de froid	24,1%	45,1%	43 %	660	20 885 626 €	1 103 775 €
Réseau de chaleur, réseau de froid et production PV	29,3%	57,6%	51 %	631	23 076 094 €	952 924 €

Tous les scénarii envisagés intègrent un taux d'ENR supérieur à 20% sur les consommations globales en énergie primaire et 40% sur les consommations conventionnelles de la RT.

A minima, le scénario de référence sera mis en œuvre dans le cadre de Archipel2, l'extension du réseau de chaleur étant en cours de réalisation.

Tableau 19 : Taux d'ENR

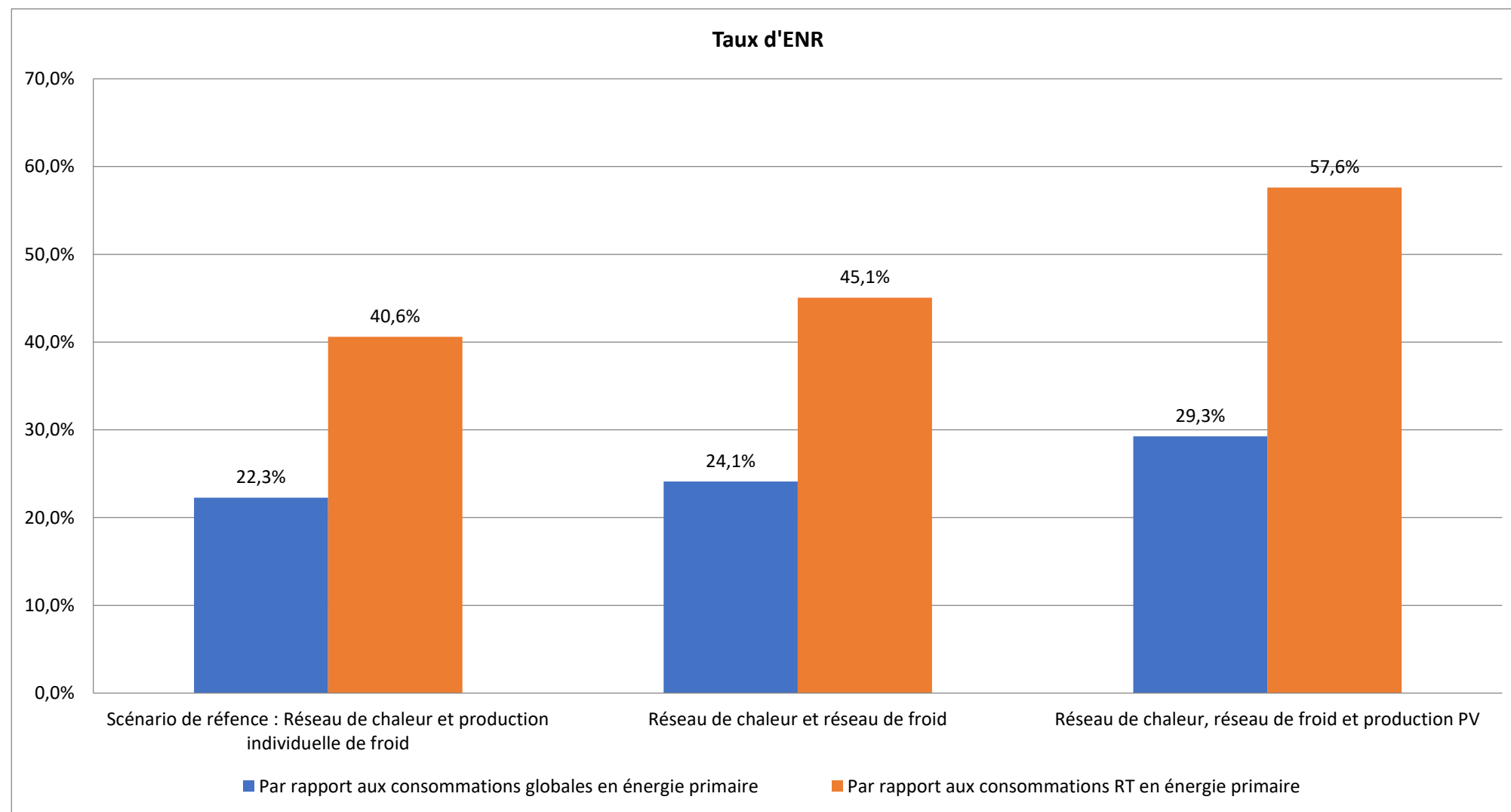
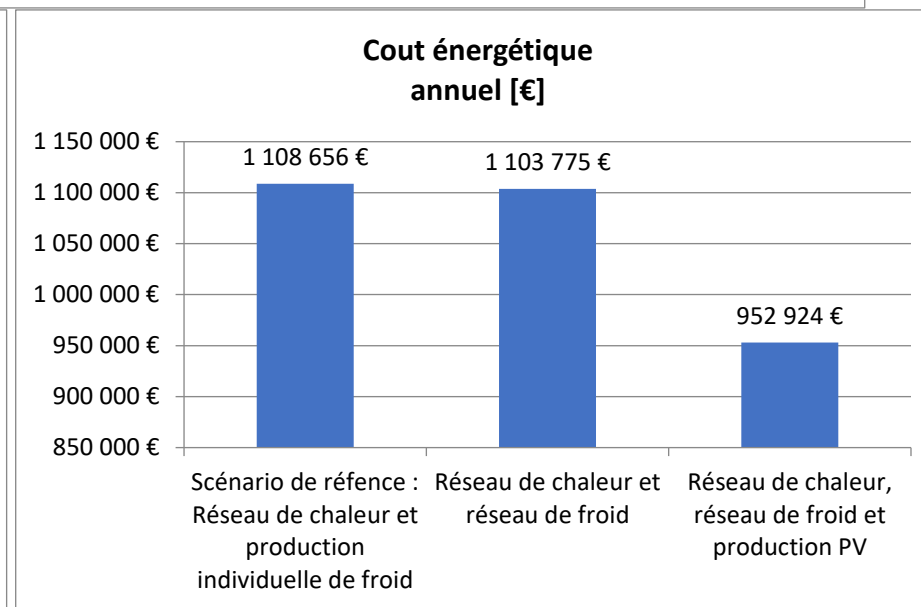
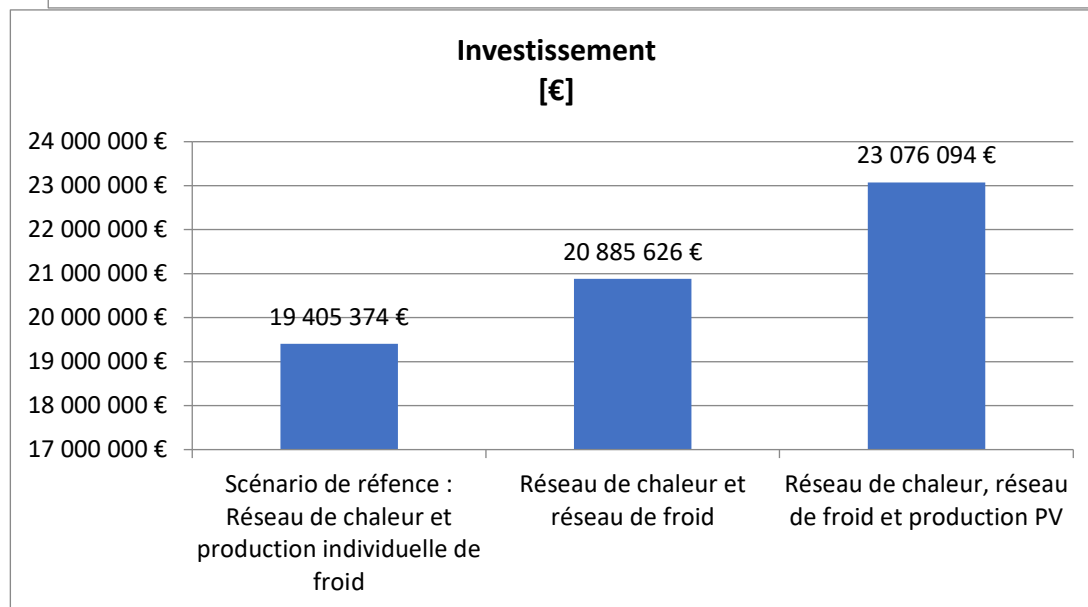
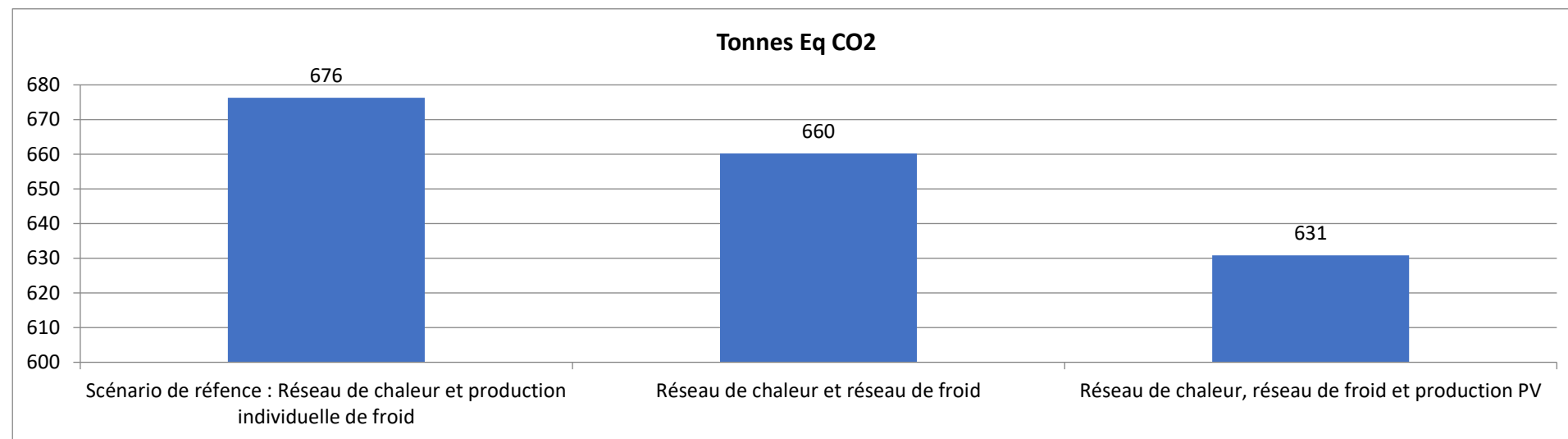


Tableau 20 : Tonnes Eq CO2 – Investissements et coûts énergétiques



8.2 Analyse en cout global

Nous considérons 3 hypothèses d'évolution des prix des énergies : 3%, 6 et 9% par an. Le taux d'actualisation monétaire est quant à lui fixé à 4% par an et l'inflation de la maintenance est de 2% par an.

Terminologie :

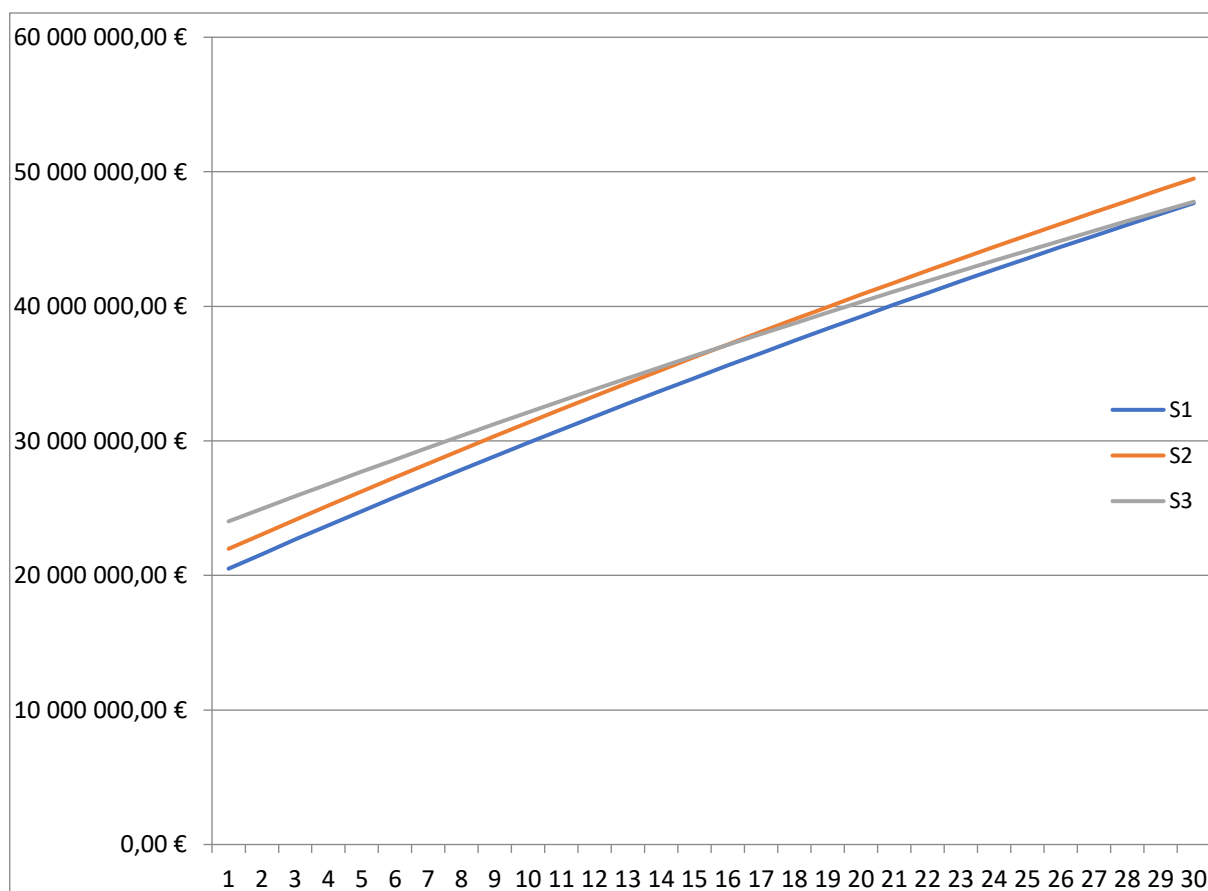
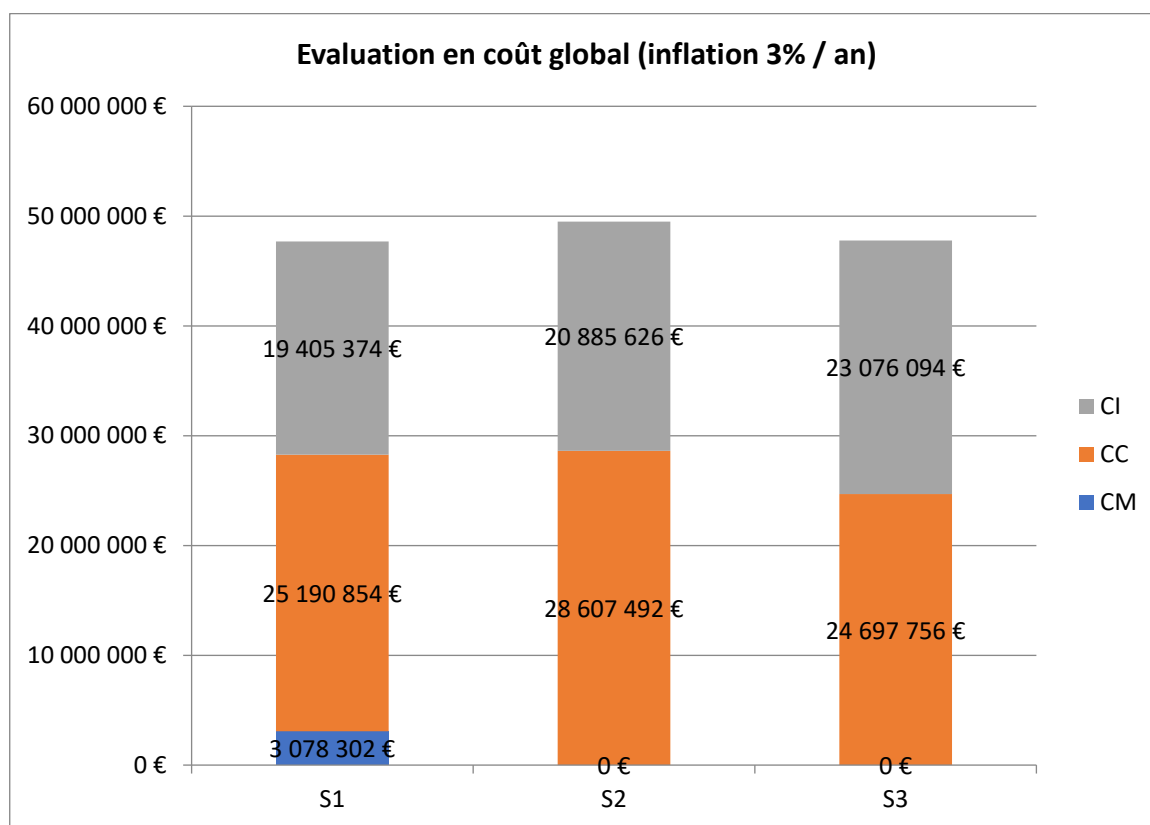
CI : Cout d'investissement - CC : Cout consommations sur 30 ans - CM : Cout maintenance sur 30 ans

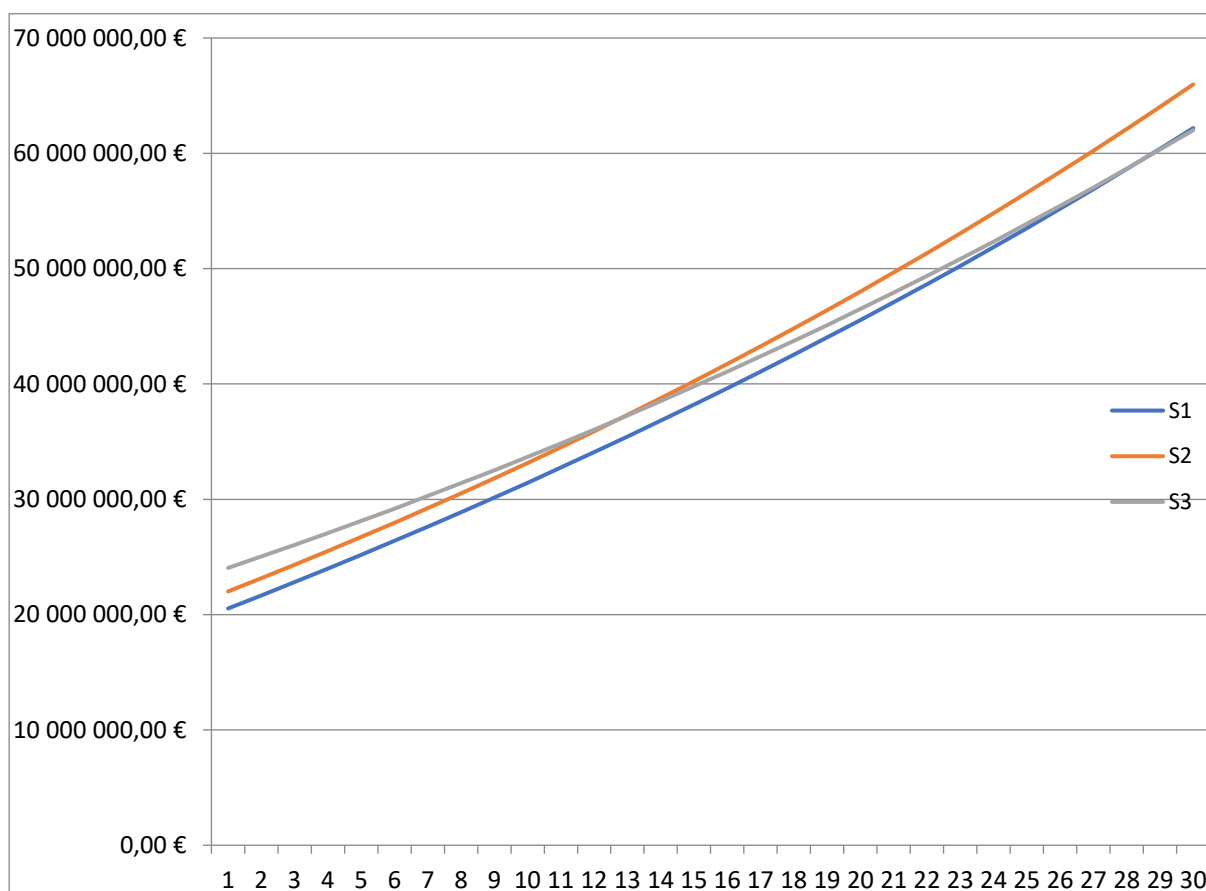
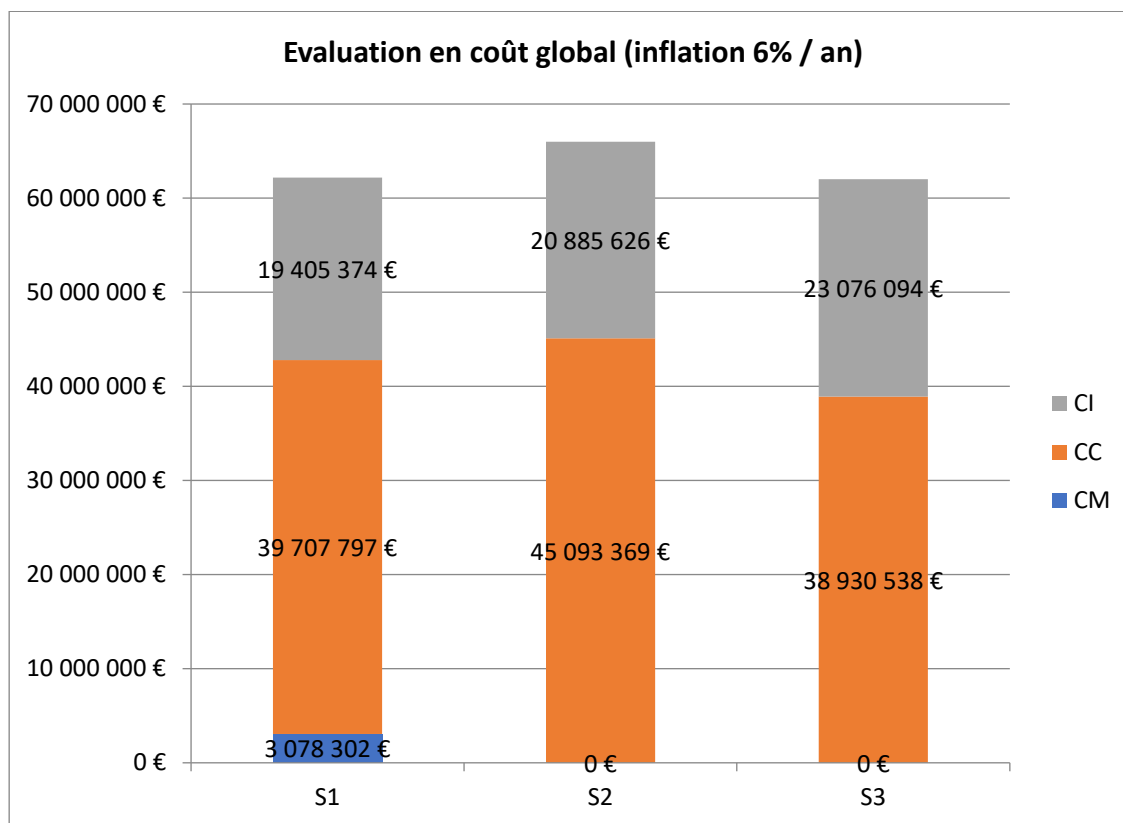
Tableau 21 : Analyse en coût global

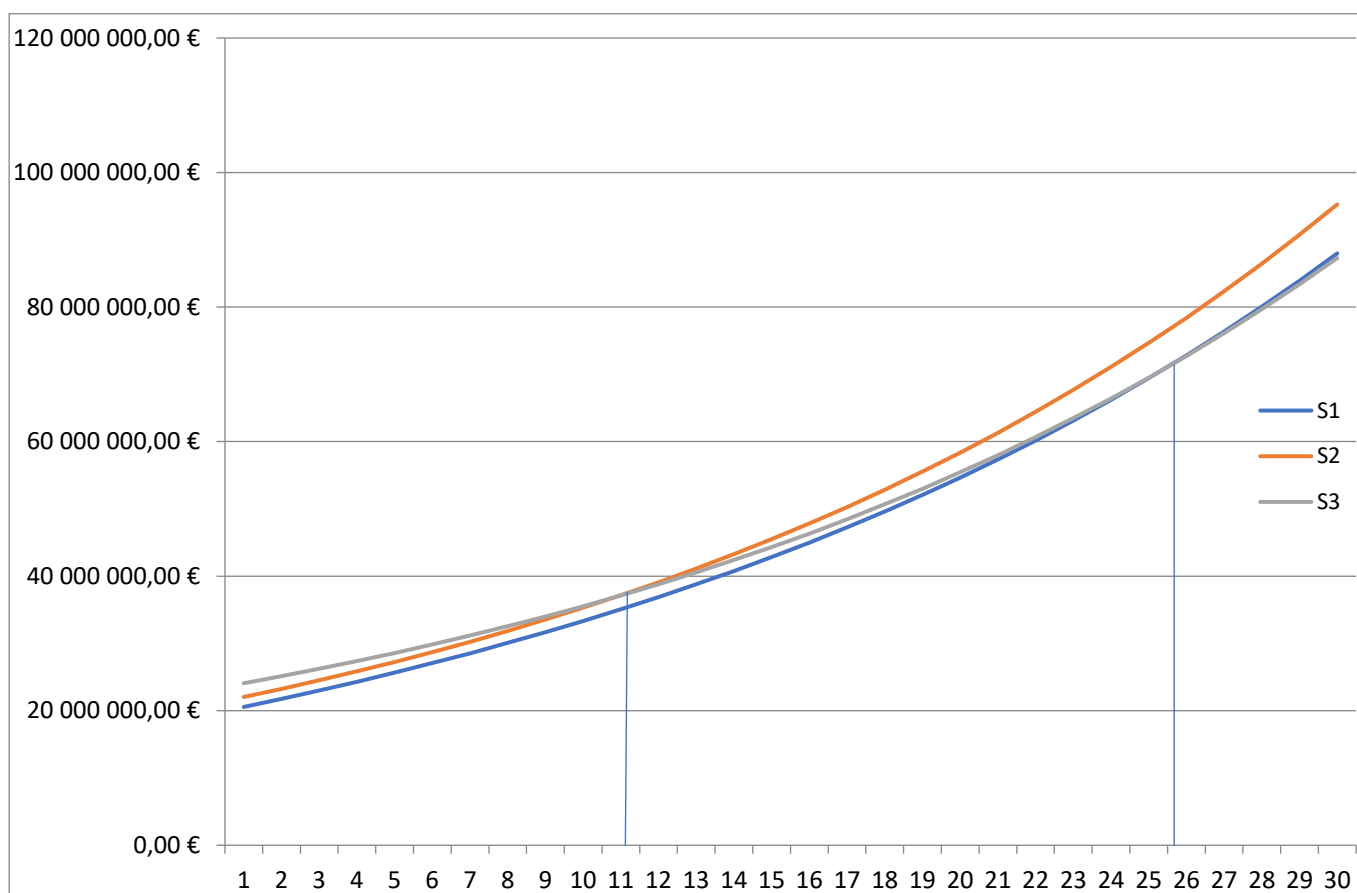
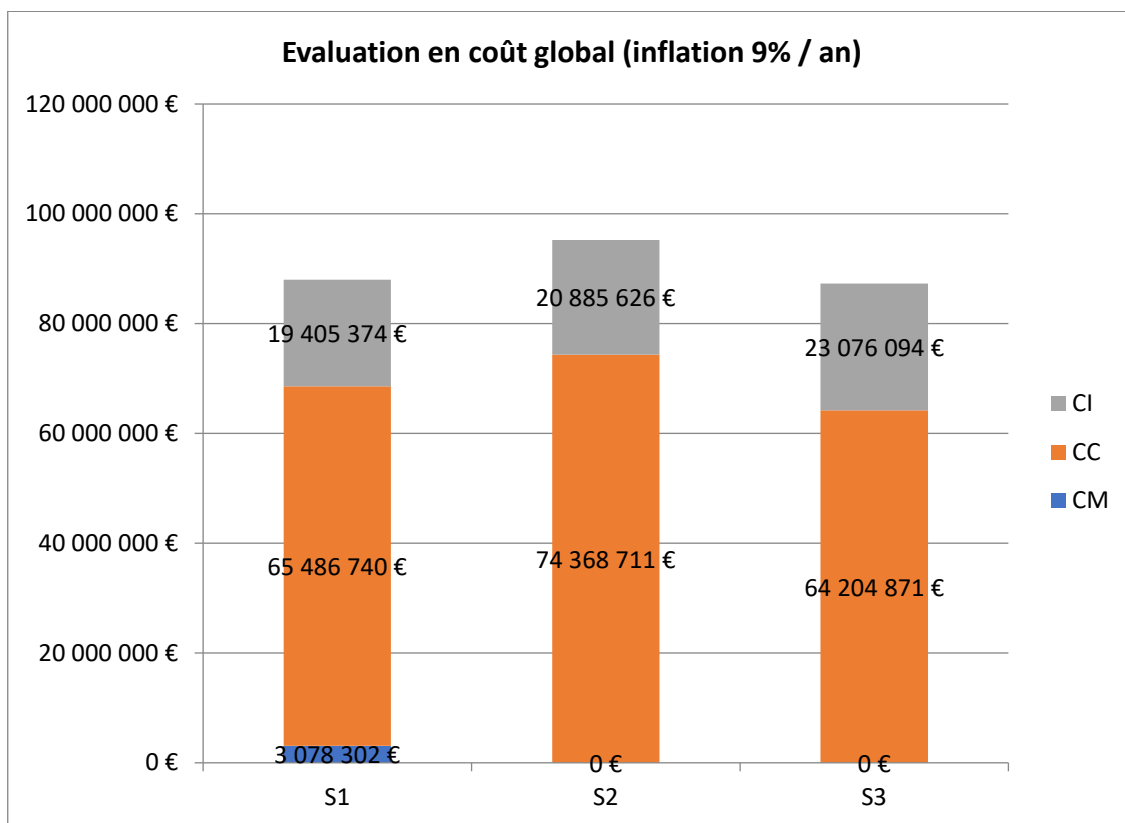
	Cout global sur 30 ans 3% [€]	Cout global sur 30 ans 6% [€]	Cout global sur 30 ans 9% [€]
Scénario de référence : Réseau de chaleur et production individuelle de froid	47 674 531 €	62 191 474 €	87 970 417 €
Réseau de chaleur et réseau de froid	49 493 118 €	65 978 995 €	95 254 337 €
Réseau de chaleur, réseau de froid et production PV	47 773 850 €	62 006 631 €	87 280 964 €

Avec une hypothèse d'augmentation du prix de l'énergie à 3%, le cout global sur 30 ans de la solution de référence demeure le plus bas. A partir de 6% d'augmentation par an, la solution intégrant une production photovoltaïque dispose d'un cout global légèrement inférieur. Nota : l'obligation d'achat de l'énergie produite est néanmoins limitée à 20 ans.

Tableau 22 : Evaluations en coût global







Temps de retour de la S3 par rapport à la S2 : 11 ans (temps de retour du photovoltaïque) et temps de retour de la S3 par rapport à la S1 : 26 ans.

9 CONCLUSION

Tableau 23 : Avantages et inconvénients de chaque scénario

Scénario	Points forts	Points faibles
Scénario 1 : Solution de référence	<ul style="list-style-type: none"> • Cout d'investissements le plus faible grâce à l'extension du réseau de chaleur existant • Extension et investissement du réseau anticipé lors de la création d'Archipel 1 • Taux d'ENR > 20% • Bilan carbone • Faible encombrement dans les bâtiments 	<ul style="list-style-type: none"> • Production de froid décentralisée réalisée par des machines tournantes (compresseurs) limitant la durée de vie des équipements et source de pannes • Pas d'apport ENR pour la production de froid • Effet ilot de chaleur accentué par la multiplicité des productions de froid • Intégration architecturale des unités extérieures de production de froid sur chaque bâtiment (visuelle, acoustique, etc.)
Scénario 2 : Scénario 1 et réseau d'eau glacée	<ul style="list-style-type: none"> • Externalisation / sécurisation de la production de froid et de la gestion • Maîtrise des technologies proposées • Faible encombrement dans les bâtiments grâce à la mutualisation • Recours aux ENR pour la production de froid • Optimisation des consommations et puissances énergétiques sur le réseau électrique • Réduction de l'effet ilot de chaleur • Taux d'ENR > 20% • Bilan carbone faiblement amélioré (2%) • Réduction de la puissance globale d'électricité par stockage de glace et réduction de la puissance appelée en pleine journée (réduction de 40% environ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement important • Etude de faisabilité et de rentabilité à mener à l'échelle de tout le réseau d'eau glacée. • Facture énergétique de production de froid plus élevée que la solution individuelle

<p>Scénario 3 : Scenario 2 et production photovoltaïque</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Facture énergétique à l'échelle de la ZAC allégée par l'autoconsommation et la revente au réseau de la production électrique. • Externalisation / sécurisation de la production de froid et de la gestion • Maîtrise des technologies proposées • Faible encombrement dans les bâtiments grâce à la mutualisation • Recours aux ENR pour la production de froid • Optimisation des consommations et puissances énergétiques sur le réseau électrique • Réduction de l'effet îlot de chaleur • Taux d'ENR proche de 30% sur les consommations globales en énergie primaire • Bilan carbone faiblement amélioré (7%) • Réduction de la puissance globale d'électricité par stockage de glace et réduction de la puissance appelée en pleine journée (réduction de 40% environ) 	<ul style="list-style-type: none"> • Investissement important • Facture énergétique de production de froid plus élevée que la solution individuelle • Etude de faisabilité et de rentabilité à mener à l'échelle de tout le réseau d'eau glacée. • Ratio solaire non maîtrisé lié à l'architecture et à la densité urbaine • Intégration architecturale des panneaux photovoltaïques en toiture
---	---	--

Tous les scénarii envisagés intègrent un taux d'ENR supérieur à 20% sur les consommations globales en énergie primaire et 40% sur les consommations conventionnelles de la RT. A minima, le scénario de référence sera mis en œuvre dans le cadre de Archipel2, l'extension du réseau de chaleur étant en cours de réalisation.

En rapport avec les objectifs communautaires, il est recommandé également de fixer des objectifs de réduction de consommation en énergie aux preneurs de chaque lot à travers le cahier des charges des lots (performance RT2012 – X % , label E3C1 à minima selon le référentiel E+C-par anticipation à la future RE2020, etc.).

Ainsi, les concepteurs travailleront sur l'enveloppe thermique des bâtiments afin d'obtenir un coefficient Bioclimatique Bbio en cohérence avec le niveau de performance global exigé (Bbio projet < Bbio max –X%). Le raccordement au réseau de chaleur voire à l'éventuel réseau d'eau glacée ainsi que la performance des équipements techniques dans chaque bâtiment permettra d'atteindre le niveau énergétique Cep de la RT2012.

Enfin, le recours à une installation photovoltaïque sur les bâtiments permettra d'atteindre le niveau E3 du référentiel E+C-.