

Projet d'étude Option fluide

Réseau de chaleur à l'Eco-hameau du Plessis



Maya DOUBIA
&
Eric THIEBAUT

Sommaire

Système de chauffage collectif et type d'émetteur.....	3
Ventilation & déperditions.....	4
Ventilation & déperditions maison de Sandrine / SF.....	4
.....	4
Ventilation & déperditions - maison d'Abel / DF.....	7
Comparatif et choix pour la maison modèle.....	7
Ventilation & déperditions - maison commune – DF.....	7
Choix des VMCs.....	7
Mise en place des bouches en RDC.....	8
Tableau de répartition des débits suivant volume et usage.....	8
Problématique ventilation buanderie.....	9
Mise en place des bouches au 1 ^{er} et 2 ^e	9
Intérêt d'une DF simple entrée/sortie dite « décentralisée » à la place de la SF dans la buanderie.....	10
Dimensionnement d'un logement.....	11
Schéma de principe ECS/Chauffage générique pour un logement.....	11
Dimensionnement du plancher chauffant pour un logement.....	12
Pertes des émetteurs.....	13
Pertes de la régulation.....	14
Choix du système ECS pour un logement.....	14
Besoins ECS pour la maison commune.....	17
Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal.....	17
Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal – Habitat individuel.....	17
Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal – Maison commune.....	19
Récapitulatif besoins sur l'ensemble du hameau.....	20
Estimation de la puissance nominale en besoin ECS + Chauffage.....	20
Foisonnement.....	21
Géothermie à captage inter-saisonnier solaire expérimental.....	22
Schéma de production / délestage du réseau.....	23

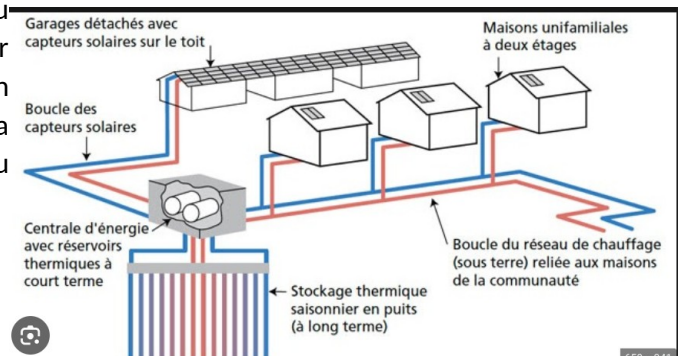
Schéma et dimensionnement du réseau de chaleur.....	24
Equilibrage du réseau de chaleur.....	25
Conformité RT 2012.....	25
Déperditions du réseau de chaleur et puissance chaudières.....	25
Estimation de la puissance de production – géothermie classique.....	26
Intégration du stockage inter-saisonnier.....	26
Rendement à long terme / inutilité de la PAC.....	27
Dimensionnement de la chaudière : pompe à chaleur sol/eau.....	27
Aller plus loin encore – allier surchauffe délestage & ... géocooling !!.....	28
UTES : état de l'art en France en comparaison à d'autres pays.....	29
Budget.....	29
Conclusion.....	29

Système de chauffage collectif et type d'émetteur

Ayant à cœur de trouver une solution de chauffage la plus optimale possible en termes d'impact environnemental, nous avons profité de nos connaissances acquises au cours de la formation et d'autres canaux d'informations pour proposer une solution originale voire expérimentale.

Nous nous sommes inspirés du modèle du quartier Drake Landing à Okotwaks, Canada, pour proposer un réseau de chaleur basé sur un système de stockage inter-saisonnier de la surchauffe estivale de capteurs solaires au niveau d'un réseau centralisé de sondes géothermiques.

Eco-quartier Drake Landing à Okotwaks



Souhaitant toute fois proposer un projet moins vaste en terme de capteurs ne pouvant pas subvenir dans une quasi totale autonomie à l'intégralité des besoins de chauffage et d'ECS, une chaufferie équipée d'une PAC géothermique vient remplacer la centrale d'énergie canadienne et ainsi faire l'appoint sur les systèmes délocalisés de SSC (Système Solaire Combiné) présents dans chaque bâtiment. Ceux-ci sont équipés d'un ballon hygiénique principal dont la fonction est de stocker la chaleur en provenance des capteurs solaires et de l'appoint du réseau de chaleur.

Pour les émetteurs, notre choix s'est porté sur des planchers chauffants, idéal en terme de diffusion de chaleur, autorisant des T° de confort 15 à 2° moins fortes que pour des radiateurs classiques, sans compter qu'une eau distribuée à 35-45° au lieu de 50-70° génère également moins de déperditions.

Le réseau de chaleur fonctionnant à une température de 35-45° (40° de moyenne), pour l'ECS, ce premier gradient de température sera complété par de petits ballons d'appoints instantanés pour chaque pièce d'eau dont l'utilité sera détaillée plus bas.

Afin de simplifier l'étude, nous sommes partis du principe que les 10 maisons mitoyennes couplées par 2 ont une isolation et une surface équivalente à une maison individuelle. Le reste de l'étude se basera donc sur un ensemble de $18 + 10/2 = 23$ logements individuels et 1 maison commune.

Afin de dimensionner correctement le système, il faut en premier lieu commencer par évaluer les déperditions de chaque bâtiment. Pour cela, nous allons dans un premier temps étudier et dimensionner correctement les systèmes de ventilations afin d'obtenir un calcul de déperdition complet incluant celles des parois opaques, des menuiseries, du renouvellement d'air et de la ventilation. Les trois premières déperditions étant déjà fixées ou facilement calculées à partir des fichiers fournis dans le dossier, ne reste plus qu'à travailler sur la ventilation, pour ensuite avoir une déperdition totale à partir de laquelle on pourra déterminer le besoin de chauffage puis envisager ensuite son dimensionnement.

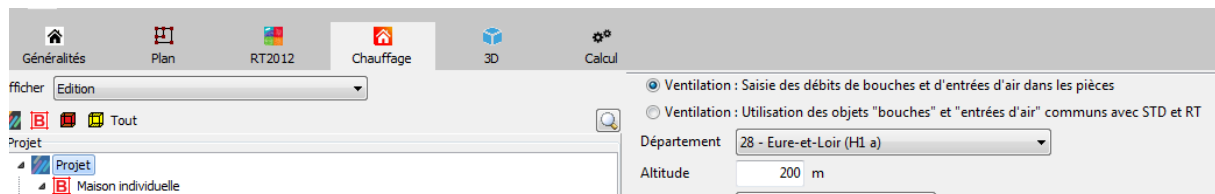
Enfin, plus globalement, nous détaillerons le mode de fonctionnement du réseau de chaleur.

Ventilation & déperditions

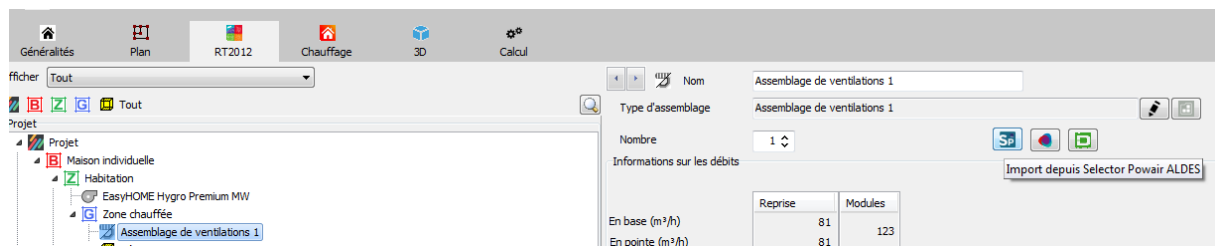
Ventilation & déperditions maison de Sandrine / SF

En respectant la norme en vigueur proposée par Pléiades nous avons dimensionnés les extractions d'air dans les pièces humides puis avons ensuite dimensionnés les entrées d'air suivant les étapes suivantes :

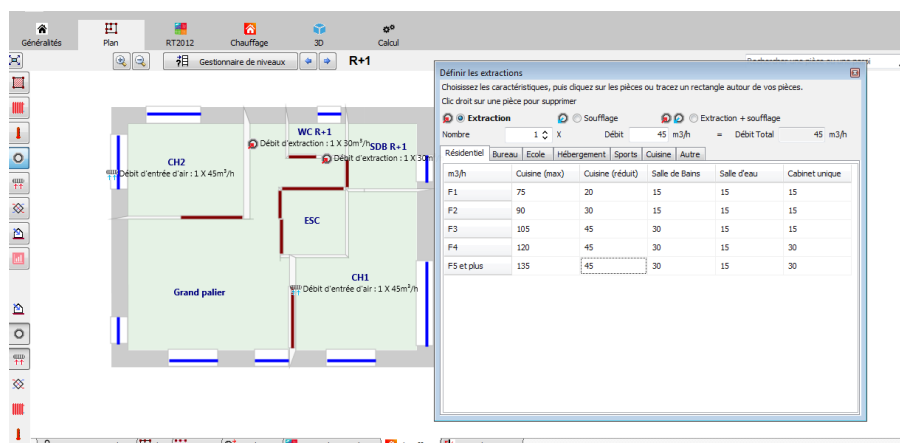
1 - A partir de l'onglet haut Projet, indication à Pléiades que la saisie de la ventilation SF se fera uniquement dans la partie chauffage et non pas en commun avec STD & RT.



2 - Ajout d'un assemblage de ventilation dans la zone chauffée de l'onglet haut « RT2012 ». Puis, clic sur le bouton « Aldes » pour aller rechercher une configuration se basant sur ses organes de ventilation.

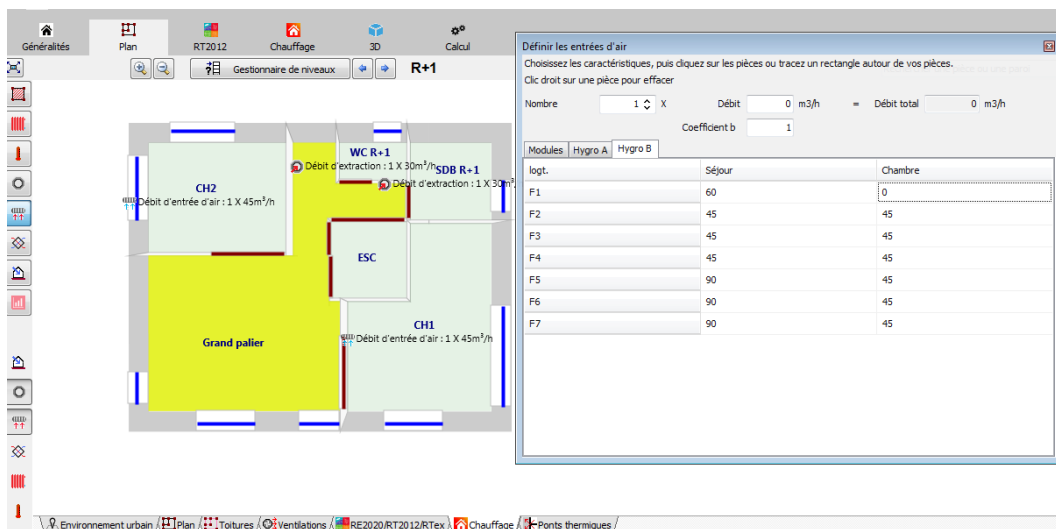


3 - Ajout des bouches d'extraction à partir de l'onglet bas Chauffage de l'onglet haut « Plan » et le 1^{er} bouton rond gauche « ventilation ». On sélectionne dans le tableau des valeurs réglementaires la valeur en correspondance puis on clique sur la pièce pour ajouter la bouche d'extraction

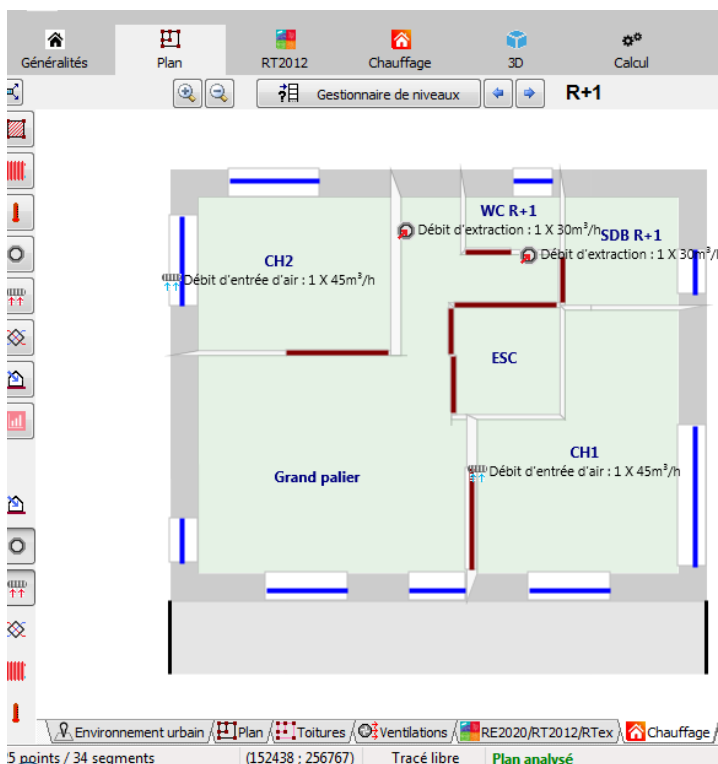


4 - Dans le même onglet, on clique sur le bouton gauche « Entrée d'air », puis on sélectionne la valeur réglementaire dans le tableau en fonction de la taille du logement après avoir choisi dans l'onglet le type de SF

entre Hygro A ou Hygro B, ici, hygro B. Une fois le débit d'air choisis on clique sur la pièce dans laquelle on souhaite ajouter une entrée d'air au-dessus de la fenêtre



5 – Toujours à partir du même onglet « chauffage », on vérifie que tout est bien configuré en cliquant sur les boutons de visualisation des bouches et entrée d'air situés en bas à gauche.



Pour la partie grenier en R+2, nous avons considéré que cette pièce ne serait pas réellement une pièce à vivre car moins de 2m² en surface « loi Carrez ».

Enfin, pour le grand palier, nous avons essayé deux scénarios avec et sans entrée d'air afin de voir les différences remontées par Pléiades en termes de déperditions.

Ainsi, seulement quelques w/k sont perdus pour un meilleur balayage de la pièce « Grand palier lorsqu'une extraction d'air est ajoutée. Par contre, aux vues de l'équilibrage de Pléiades sur les déperditions sur extraction d'air, on comprend que les chambres dans ce cas ont un renouvellement moindre.

Ce peu de différence se comprend par le rééquilibrage des mouvements d'air que Pléiades fait au cours de ses calculs, montrant sa capacité à modéliser dans l'espace le balayage entre les pièces.

Suivant l'usage souhaité du Grand palier par les habitants, il faudra ainsi faire un choix entre ces deux possibilités, sachant qu'il est tout de même plus important de renouveler l'air des chambres au cours de la nuit et que le Grand palier étant desservi par l'escalier, l'air chaud ayant tendance à monter, crée automatiquement un renouvellement dans cette pièce.

Donc, on choisit de ne pas mettre d'entrée d'air sur le grand palier.

Les déperditions indiquées dans le rapport Pléiades sont de 4344 W au total est de **4,6 kW** lorsqu'on somme toutes les pièces. Avec la surpuissance de **1kW** proposée par Pléiades équivaut à 38% des déperditions, on obtient alors une puissance de **5,6 kW**.

Ventilation & déperditions - maison d'Abel / DF

Pour la double-flux de Abel, nous avons, contrairement à la SF de Sandrine choisit le mode de saisie Chauffage commun avec STD et RT (cf (1) dans chapitre ci-dessus).



Des bouches d'aération sont placées dans toutes les pièces au RDC, sauf dans l'entrée. Une bouche d'extraction est placée au-dessus du poêle dans le séjour afin de répartir dans l'intégralité des pièces de vie une partie de la chaleur émise par le poêle. De manière aéralique la chaleur dissipée. Dans cette configuration, les déperditions de la maison d'Abel sont de 2293 ou **2,4 kW** en sommant toutes les pièces. En ajoutant les **2kW** de surpuissance, on obtient **4,4 kW**

Comparatif et choix pour la maison modèle

En comparant les déperditions par conduction entre Sandrine et Abel, on a 700 W en faveur d'une meilleure isolation chez Abel . En comparant les SHAB, $SHAB_{Abel}=133,5m^2$ et $SHAB_{Sandrine}= 136m^2$, on s'aperçoit qu'elles sont quasi équivalentes. En comparant les besoins de chauffage sans surpuissance, on a une différence de $4344 - 2293 = 2051W$. Sachant que la maison de Sandrine consomme 1300W de plus que celle d'Abel en annulant les différences de déperditions des parois opaques, on perçoit le réel intérêt de la VMC double-flux : plus de 50% de chauffage en plus. On pourrait alors choisir cette maison comme modèle, mais la réalité de la contrainte budgétaire et de préférences de chaque propriétaire pour diverses raisons comme le choix de limitation technologie fait que nous allons prendre comme modèle pour les déperditions une moyenne entre la maison d'Abel et la maison de Sandrine K. afin de prendre en compte le fait que chaque propriétaire ne fera pas les mêmes choix au niveau isolation et ventilation tout en respectant la contrainte de la RT2012 + 10 % (cf en fin d'étude, la vérification de cette conformité). Donc, on prend en puissance la moyenne : $(4,4+5,6)/2$ et pour la surpuissance : $(1 + 2) / 2 = 1,5kW$

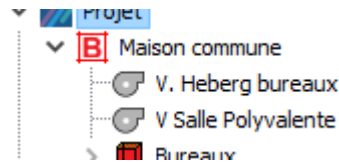
donc 5 kW de puissance de chauffage pour 133 m² de SHAB dont 3,5kW de déperditions 1,5kW de surpuissance.

. C'est pourquoi, dans la suite du projet nous allons choisir de la VMC double-flux pour l'ensemble des maisons et donc prendre la maison d'Abel comme référence.

Ventilation & déperditions - maison commune – DF

Choix des VMCs

Afin de pouvoir au mieux gérer au moins deux types d'activités différentes que dont d'un côté la réception sporadique de personnes au RDC et une utilisation plus quotidienne des bureaux et des logements intermédiaires, nous avons fait le choix de mettre deux VMCs double-flux. On considère qu'il y a un usage quotidien au niveau de l'étage intermédiaire parce que les personnes de l'espace de co-working utiliseront WC, lavabos et la cuisine de cet espace.



Le type de VMC pour la salle polyvalente : ComfoAir Maxiflat 550 tertiaire CO2 300/0 max 540

Le type de VMC choisie pour le 1e et le 2^e étage : Le type de VMC pour le RDC : ComfoAir Maxiflat 550 tertiaire CO2 300/0 max 540.

Mise en place des bouches en RDC

Au RDC, l'espace de vie est une salle polyvalente pouvant accueillir 30 personnes avec une cuisine annexe équipée d'un simple évier et d'un potentiel lave-vaisselle qui pourra être raccordé à l'ECS pour profiter du préchauffage solaire. C'est donc une zone à usage collectif qui se rapproche d'un usage de type « maison travailleurs ». Les bouches sont positionnées de la manière suivante :

Tableau de répartition des débits suivant volume et usage

La ventilation sur la maison commune(RDC, R+1, R+2) :

Au rez- de chaussée, la salle de réunion de 30 personnes insufflée au débit de 18 m³/h/pers est équilibrée entre l'extraction de la cuisine considérée comme un office de relais(15m³/h), du WC(60 m³/h au lieu 30m³/h) et du cagibi(30m³/h) pour compenser le manque de 90 m³ sur le débit d'air insufflé, la pièce principale, considérée comme un « local/réunion » n'ayant qu'un débit de 450 M³/h.

Pour le R+2, espace bureaux, on se base sur la surface plutôt que le nombre de personnes étant donné que le nombre de personnes au m² dépasse la norme habituelle.

Au R+1 et R+2, les débits d'air dans la salle de réunion et dans l'espace co-working sont arrondis pour obtenir en multiple de 15. Le débit dans le box de 9 m² est de 30 m³/h, car il n'aura pas plus d'une personne à la fois. La somme du débit insufflé dépasse un peu celle du débit extrait, sans dépasser 10%, ce dépassement est dans le bon sens car en dessus de la valeur maximum tolérée.

Salles	Surfaces m ²	N°--occupant	N°--pièce	Débit-air-régl m ³ /h	Débit m ³ /h		Salle coworking m ³ /m ²	Salle réunion m ³ /m ²	VMC tertiaire m ³ /per
RDC							2,5	5,1	25
Locaux-réunion		30	1	18	540				
Débit insufflé					540				
Office relais		30	1	15	450				
WC			1	30	60				
Un cagibi			1		30				
Débit extrait					540				
Pour le RDC , le débit insufflé est égal au débit extrait = 540 m³/h									
R+1									
Chambres 1 à 5			5	30	150				
Débit insufflé					150				
Cuisine		10	1	15	150				
T sèche1				30	30				
T sèche1				30	30				
Salle de bain1				45	45				
Salle de bain2				45	45				
Débit extrait					300				
R+2									
Salles-réunion	18	30,00		5,10	90,00	91,8			
Espace coworking	25	10		2,5	60	62,5			
Box	9			30	30				
Débit insufflé					180,00				
Pour R+1 et R+2 le débit d'air à insuffler est					330,00				
Dépassement du débit d'insufflage dépasse le débit d'extrait de 10%									

Problématique ventilation buanderie

La buanderie étant intégrée à la partie isolée du bâtiment, y installer une VMC simple flux créerait plus de déperditions thermiques puisque le mur entre buanderie et maison est beaucoup moins isolé qu'entre buanderie et extérieur.

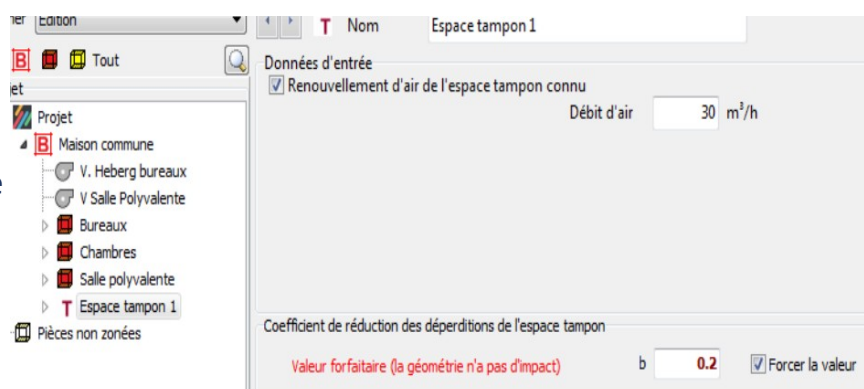
Comme cette pièce est complètement cloisonnée par rapport aux autres, il n'est pas possible d'y mettre une seule bouche d'extraction ou d'insufflation d'air attachée à la DF. La préconisation est donc d'y installer une bouche d'extraction et une bouche d'insufflation de chaque côté de la pièce afin de créer un courant d'air permettant de sécher le linge.

En effet, bien que cette pièce ne soit pas chauffée, donc pouvant potentiellement refroidir le flux d'air passant dans la DF, cette perte est moindre que si l'air est extrait par une Simple Flux dans cette buanderie puisque cet air extrait va créer une aspiration de froid au travers de la cloison non isolée.

La solution consistant à ne laisser qu'une simple entrée d'air naturelle nous paraît déraisonnable par rapport à la quantité de linge à sécher à savoir potentiellement une bonne partie du linge des habitants de l'éco-hameau, soit, environ 80 à 100 personnes. 3 machines à laver ont été prévues, il faut donc compter sur 60kg de linge max par jour, donc un gros dégagement d'humidité.

Cette solution de double bouches DF évite l'installation d'un système de ventilation complémentaire. Elle est simplement plus complexe à modéliser puisqu'il est assez inhabituel de mettre des entrée et extraction d'air dans des pièces non chauffées.

Mise en place
des bouches
au 1^{er} et 2^e

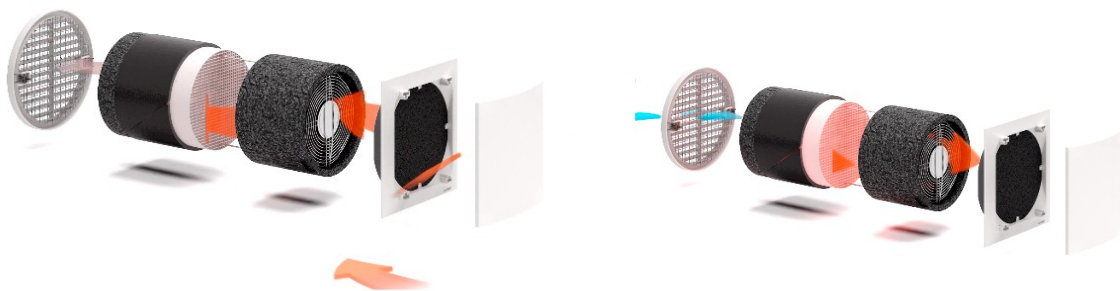


Après plusieurs tentatives de modélisation avec Pléiades en laissant la buanderie dans une zone tampon, on voit qu'on a les mêmes déperditions avec ou sans bouches. Les seuls paramètres faisant varier les déperditions étant le débit d'air en renouvellement et le coef « b » sur la zone tampon.

Afin d'essayer de voir la différence d'impact entre une bouche SF et des bouches DF, on déplace alors la buanderie dans une zone chauffée. En plaçant une SF avec 1 bouche puis une DF avec 2 bouches, on s'aperçoit qu'il y a plus de déperditions avec la DF (7,18kW) qu'avec la SF (7,14kW), ce qui paraît absurde. Il faudrait alors plutôt effectuer des calculs plus fins avec une STD, trop coûteux en temps, nous décidons de continuer l'étude en utilisant le résultat de la SF.

Nous prenons donc le parti de prendre les résultats approximatifs de Pléiade avec une VMC simple flux dans la buanderie qui indiquent une déperdition de 7,14 kW. En ajoutant 20 % de surpuissance, comme pour les autres bâtiments, nous avons donc une déperdition de **5,2 kW** une surpuissance de **2,4 kW** donc une puissance de chauffage de **7,6 kW** pour la maison commune.

Intérêt d'une DF simple entrée/sortie dite « décentralisée » à la place de la SF dans la buanderie.



CARACTÉRISTIQUES:

- Ventilateur a deux vitesses double flux 230 V
- échangeur de chaleur à accumulation en alluminium
- Section télescopique du canal de ventilatin réglée dans un plage de 260-405mm
- Le recuperateur local REC.THC est conçu pour la ventilation décentralisé avec récupération de chaleur destiné à un seul local

Vitesse	Niveau de bruit dB(A)		Débit m³/h	Puissance (W)	Classe de protection
	1 m.				
1a	37		50	3	IPX4
2a	42		70	4,5	

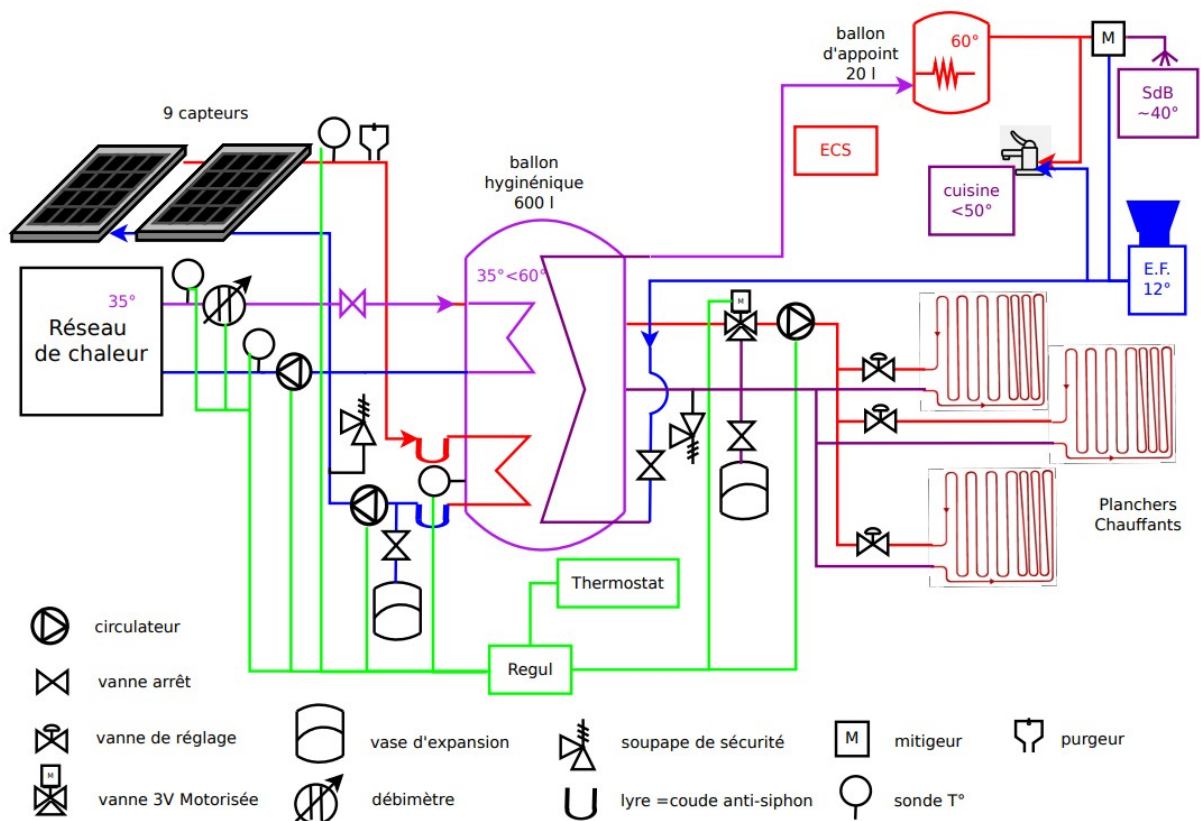
Code produit : REC.THC

Dimensionnement d'un logement

Schéma de principe ECS/Chauffage générique pour un logement

Solution retenue dans tous les logements et la maison commune :

1. Un ballon de stockage hygiénique stocke l'énergie nécessaire à l'ECS et au chauffage dont la température de consigne est maintenue au minimum à 35°. 3 serpentins : le plus grand pour l'ECS, le plus bas sert à la collecte de chaleur récupérée dans les capteurs solaire,
2. Le serpentin central du ballon sert à l'arrivée du réseau de chaleur en hiver. Il est également utilisé en été pour le déstaging de la surchauffe des capteurs, cf dernier chapitre.
3. Des capteurs solaires alimentent en chaleur pour ECS et chauffage le ballon par un circuit fermé équipé d'un circulateur et de coudes anti-siphon, sortes de clapets anti-retour.
4. Les planchers chauffants émettent la chaleur en provenance du circuit de distribution basse-température (35°C) relié direct au ballon donc utilisant son « eau morte ».
5. Des ballons d'appoints maintiennent une température à 60°. Utile contre la légionellose et l'arrivée quasi instantanée d'eau chaude. La douche doit être équipée d'un mitigeur thermostatique.



Ce schéma est valable pour une maison individuelle. Le dimensionnement est détaillé dans les chapitres suivants.

Dimensionnement du plancher chauffant pour un logement

Pour ce faire, nous allons prendre comme modèle pour la puissance à émettre nécessaire 5kw.

Étant donné que la chaleur monte, et que les maisons sont très bien isolées il ne sera pas à priori nécessaire de chauffer les pièces de nuit,

Les pièces chez Abel au RDC susceptibles de recevoir un plancher chauffant sont le séjour/cuisine, le sauna et le salon. Sachant qu'un sauna exige des températures extrêmes de 90/100° aux points de chauffe, on va considérer ce besoin comme hors sujet dans notre étude et considérer que cette pièce doit être chauffée au même régime que les autres, notamment pour étudier un cas exemple pur l'ensemble du hameau.

Le potentiel en surface de ces quatre pièces (avec l'entrée) est de $9 + 25 + 12 + 10 \text{ m}^2$, donc 56 m^2 . Il faudra prévoir un dégagement pour les meubles en périphérie des pièces, représentant, disons 20 % de la surface. Pour dimensionner le plancher chauffant, il existe 3 méthodes différentes : les méthodes de R. Cadiuergues et F. Clain exposé dans l'[article de Bruno Slama – Le calcul des Planchers Chauffants](#), celle du COSTIC ou encore la méthode européenne. Pour éviter des calculs complexes) la main, nous allons nous appuyer sur le logiciel **Emidal** disponible gratuitement.

Les données nécessaires pour les calculs sont , par pièces, les déperditions totales, les déperditions plancher et la résistance du revêtement. Pour le revêtement on considère que ce sera du carrelage partout, choix idéal pour un plancher chauffant, donc résistance de $0,01 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Si pose éventuelle d'un tapis superficiel plus tard, on évalue grossièrement que le R passera à $0,02 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Afin de prendre en considération le besoin de chauffage total de la maison, on répartit les 3,5kW (sans surchauffe puisque le logiciel demande des déperditions) en proportion sur ces 4 pièces. Comme le séjour est plus important que les autres, on enlève un peu de puissance qu'on rajoute dans l'entrée pour bien desservir l'étage.

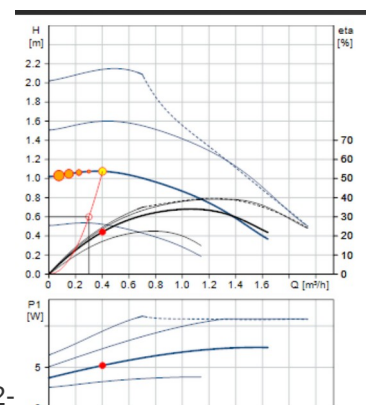
Pour les surfaces en bordure, on les calculs en prenant un écart de 50cm sur les murs extérieurs dotés d'ouverture. On prends les résultats de Pléiades pour les déperditions au plancher . Pas d'apport aux plafonds. On considère que les émissions vers le bas sont les mêmes que les déperditions, l'explication dans l'aide de l'outil n'étant pas assez claire. Pour les conduites en arrivée, on considère que le ballon se trouve dans l'entrée et donc on a des conduites de 0m pour l'entrée, 4m vers le sauna, 2m vers le séjour et 2m vers le salon.

Nom pièce	Surf pièce m²	Surf en limite	Surf pl.ch. m²	Dppts pièce W	Dppts sol W	Long. arrivée m	Chute Temp °C	Pas pièce cm	D. tuyau	Long. boucle m	Débit l/h	Perte charge mmCE	Perte à ajuster mmCE
Entrée	9	1	9	900	20	0	5	20	20		162	612	
Séjour	25	4	10	1000	56	4	5	20	20	111	193	506	107
Sauna	12	2	9.5	800	25	2	5	20	20	34	158	430	183
Salon	10	2	8	700	22.5	2	5	20	20	51	134	272	340
Total	47	8	36,5	2400	103,5					255	647	638	

En cumulant les débits, on a **307 l/h** en point d'entrée du distributeur et du collecteur de notre réseau hydro-câblé à 3 branches. Pour choisir un bon collecteur avec tous les éléments, vannes thermostatiques en entrée, débitmètres en sortie et purgeur, on peut s'orienter vers [Caleosol](#).

On pourra alors équilibrer les pertes entre planchers avec les vannes.

Le site [Sizing result page | Grundfos](#) paraît simple d'utilisation pour rechercher le meilleur circulateur en fonction du débit et de la perte de charge. Ainsi on a 8 circulateurs possibles pour un débit de 0,3m³/h et une perte de 0,6 m. La première, la plus économe est la UPM3 DHW 32-20 180 AZA



System: X
Product name: UPM3 DHW 32-20 180 AZA
U [V]: 230
Q [m³/h]: 0.402 (+34%)
H [m]: 1.076
Product No: 59C98117 + ..
Phases: 1
Max. operating [bar]: 10
Q-dev [%]: 33.9
H-dev [%]: 79.3

Diamètres des tuyaux et vitesse

Pour le diamètre des tuyaux, les trois boucles ont été simulées avec du DN20 soit un 16/20. Il faudra donc un tuyau primaire de diamètre intérieur $D = \sqrt{(16^2 + 2 \cdot 13^2)} = 24$ soit 27/32, donc DN32. La surface de la section est de $= 27^2 \cdot 3.14 / 4 = 572 \text{ cm}^2$

vitesse = $0,3[\text{m}^3/\text{h}] / 3600 / (572/10000 [\text{m}^2]) \ll 1 \text{ m/s}$

Cette vitesse est correcte puisque largement inférieure au maximum toléré de 1 m/s

Pertes des émetteurs

Pour le plancher chauffant, il n'y a pas de perte dû à l'inconfort de la stratification spatiale mais plutôt des pertes au dos à prendre en compte. Pour ce faire, on prend la formule $\%P_{per} = R_i \cdot U_e$ où R_i = résistance thermique extérieur (au-dessus) et U_e conductivité thermique du plancher (en dessous). La résistance thermique du revêtement de sol, y compris l'isolation phonique éventuelle située au-dessus du tube, ne doit pas dépasser $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. (Extrait du DTU 65).

La nature, le type et la résistance thermique du revêtement de sol sont indiqués dans les Documents Particuliers du marché. En l'absence de précisions sur ces données, les calculs sont faits avec la valeur de $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \Rightarrow R_i = 0,15$

Dans la maison d'Abel, Pléiades nous indique une résistance thermique pour le sol de 4 pour l'isolant liège et 0.1 pour la dalle de chaux $\Rightarrow U_e = 1/(4+0,04+0,1) = 0,24$

%Pemet=3,6%

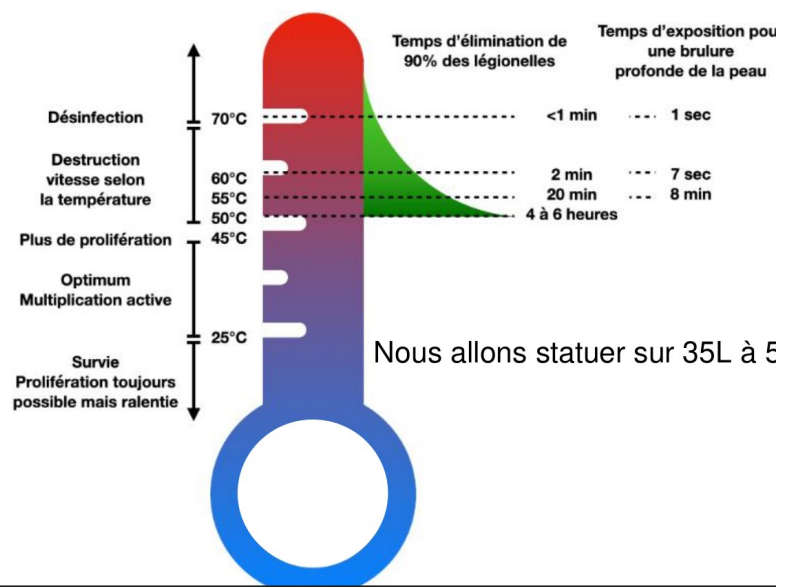
Pertes de la régulation

La régulation par la vanne trois voies va permettre de faire varier la T° en entrée des planchers en fonction de la température extérieure en mettant en place une loi d'eau avec une pente de 0,7. Ainsi les pertes due à la régulation sont considérées négligeables.

Choix du système ECS pour un logement

Le ballon principal délivre une eau (de chauffage et ECS) pouvant être à basse température, mini 35°C ; ceci afin de limiter les pertes sur le réseau de chaleur et d'optimiser l'usage de pompes à chaleur au meilleur régime.

L'eau de l'ECS stagnante dans un serpentin à 35° est une condition idéale pour la multiplication de la légionellose. La législation indique que pour un volume de plus de 3l, il faut maintenir l'eau soit à 70° pendant au moins 1', soit à 60° pendant 2' afin de détruire toute trace éventuelle de légionellose. Dans le cas d'un chauffe-eau instantané c'est impossible car on ne peut avoir une montée à 70° qu'au mieux pendant quelques secondes entre chauffe-eau et pommeau de douche.



Afin de choisir entre ces deux températures conseillées, nous allons estimer en premier lieu pour la salle d'eau le volume minimum des petits ballons d'appoints afin qu'ils puissent répondre à ces deux contraintes différentes.

Premier calcul : estimer le volume d'ECS nécessaire à 60° pour une douche de 35l à 37° .

Pour ce faire, on calcule en premier lieu le ratio d'eau à 60° mixé à une eau à 12° pour atteindre 37° :

$$\text{ratio}_{60} \cdot 60[^\circ] + (1 - \text{ratio}_{60}) \cdot 12[^\circ] = 37[^\circ] \Rightarrow \text{ratio}_{60} = (37 - 12) / (60 - 12)$$

$$\Rightarrow \text{ratio}_{60} = 52\%$$

$$V_{60} = 35[l] \cdot \text{ratio}_{60}$$

$$\Rightarrow V_{60} = 18,2 \text{ l}$$

Et pour un maintien à 70° :

$$\text{ratio}_{70} * 70 + (1 - \text{ratio}_{70}) * 12 = 37 \Rightarrow \text{ratio}_{70} = (37 - 12) / (70 - 12)$$

$$\Rightarrow \text{ratio}_{70} = 43 \%$$

$$V_{70} = 35 * \text{ratio}_{70}$$

$$\Rightarrow V_{70} = 15 \text{ l}$$

Considérant que les personnes habitant le hameau sont sobres donc prennent des douches de 3' avec une quantité d'environ 35l à 37°, puisque le débit est de 0,2 l/s et que, d'autre part, l'intervalle de temps entre la fin d'une douche et la prochaine est de 10' (le temps de se sécher et de s'habiller), donc un intervalle de 13' en tout, on calcule alors l'énergie puis la puissance nécessaire pour que la résistance réchauffe l'eau de 35° à 60° ou 70° dans cet intervalle de temps moins le temps de 2' ou 1' respectivement nécessaire à l'élimination de la légionellose :

L'énergie nécessaire pour réchauffer les 35l à 37° est de :

$$E_{60} = 1,16 * 35 * \text{ratio}_{60} * (60 - 35) = 1,16 * 18,2 * (60 - 35) \Rightarrow E_{60} = 528 \text{ Wh}$$

$$\text{Sachant que } P = E/t = 528 / (11/60)$$

$$P_{60} = 2,9 \text{ kW}$$

$$E_{70} = 1,16 * 35 * \text{ratio}_{70} * (70 - 35) = 1,16 * 15 * (70 - 35) \Rightarrow E_{70} = 609 \text{ Wh}$$

$$\text{Sachant que } P = E/t = 609 / (12/60)$$

$$P_{70} = 3 \text{ kW}$$

On voit ici qu'il est plus intéressant de tenter de conserver l'eau à 60° pendant 2' plutôt qu'à 70° pendant 1', tout en sachant qu'il y aura, de plus, moins de déperditions sur un maintien de T° à 60° plutôt qu'à 70°. Le seul désavantage est qu'on devra avoir un ballon un peu plus gros. Mieux vaut cela que de gaspiller de l'énergie sachant qu'on est ici sur des volumes de ballon très petits.

Reste à vérifier qu'on n'aura jamais une eau restant à 60° pendant moins de 2'.

Pour calculer le volume mini du ballon, il faut alors appliquer la règle suivante : on calcule le débit de l'ECS avec 0,2l/s * ratio₆₀ = 0,1l/s donc, pour 2 minutes on a une quantité mini de 120 * 0.1 = 12l.

Étant parti sur des calculs à minima, on peut dimensionner un peu plus large à 20l avec une résistance à 3 kw sans trop grever le budget.

Un abonnement pour la maison de type mitoyenne de 9kVA devrait largement suffire.

Pour la maison individuelle, type Abel, on aura deux douches simultanées, il faudra donc prévoir une puissance de 6 kW, donc un abonnement de 12kVA, soit 6€ de plus par mois, donc 72€/an par rapport à une puissance de 6kW. Ce surcoût d'abonnement montre que, d'un point de vue économique nous fait dire que, pour deux douches, il vaut mieux alors privilégier l'usage d'un ballon de 200l quitte à avoir plus de déperditions, celle couleront moins cher. Le choix entre les deux solutions devra être laissé aux propriétaire en fonction de leurs autres usages d'appareils électriques au quotidien.

Ceci dit, restons sur notre proposition initiale. Il faut prévoir pour les maisons mitoyennes équipées d'une seule douche un ballon d'appoint ECS de 20l d'une puissance de 4kw et un ballon de 40l avec une puissance de 8 kW pour les maisons individuelles équipées de 2 douches. Comme des petits ballons existent dans le commerce mais pas avec cette puissance, on couple un chauffe-eau électrique instantané de 3kw ([exemple à 83€](#)) avec un petit ballon de 20l ([exemple à 200€](#)) pour une douche et un instantané de 6kw ([exemple à 83€](#)) avec un ballon de 40l ([exemple à 200€](#)) pour deux douches qui ne servira que de maintien de T° dans le ballon.

Comme le temps de patienter avant d'obtenir l'eau chaude est plus crucial pour une douche qu'au niveau d'un l'évier, il faudra privilégier l'emplacement de ce couple instantané+ballon d'appoint plutôt à proximité de(s) de la douche(s).

Besoins ECS pour la maison commune

Pour ce qui concerne la maison commune, on a 2 douches à l'étage, un évier à l'étage et un évier en RDC qui peut être plus sollicité, car vaisselle pour 30 personnes. Donc, à l'étage on part sur un dimensionnement ECS équivalent à une maison individuelle (deux douches).

Au RDC, on doit pouvoir servir 30 repas, donc pour calculer les besoins d'ECS, on se réfère au chapitre 3.2.2 du guide Costic besoin ECS – Pour le tertiaire : « 10 à 25 litres pour une cuisine préparant les repas sur place équipée de machines alimentées en ECS », sachant qu'on préconise l'usage d'un lave-vaisselle avec entrée eau chaude pour utiliser au mieux l'ECS solaire.

En prenant la moyenne de 17l/repas, on arrive à un besoin d'un volume d'eau de 510l pour 30 personnes par repas. En calculant le cycle complet d'un service de la préparation jusqu'au lavage, on compte un peu après 5h.

On prend la formule pour calculer la puissance d'un semi-instantané dans le tertiaire suivant :

$$P_{ecs} = 1.16/1000 * (V_s - V_{ph}) * (T_{ph} - T_s) / t$$

On essaye la formule avec un volume de stockage de 35l, une T°ECS de 60° toujours pour se débarrasser de la légionellose de l'eau arrivant du ballon principal

$$P_{ecs} = 1.16/1000 * (510 - 35) * (60 - 35) / 5$$

$$P_{ecs} = 2,75 \text{ kW}$$

Cette puissance correspond à la puissance à choisir pour le ballon d'appoint.

Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal

Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal – Habitat individuel

Le ballon principal devra stocker une partie de l'énergie nécessaire au chauffage et à l'ECS. Suivant le [Guide RAGE pour les SSC](#), page 42, on comprend qu'il faut déterminer les besoins à l'année pour estimer la surface de capteurs :

1 m² de capteur solaire (orienté plein Sud et incliné à 45°) reçoit, en valeur moyenne, une irradiation annuelle de 1500 kWh. Une installation solaire thermique fonctionnant correctement a un rendement global de l'ordre de 30 %. Il faut donc installer en moyenne 1 m² de capteur pour récupérer 450 kWh par an, ce qui est du même ordre de grandeur que les 430 kWh calculés précédemment.

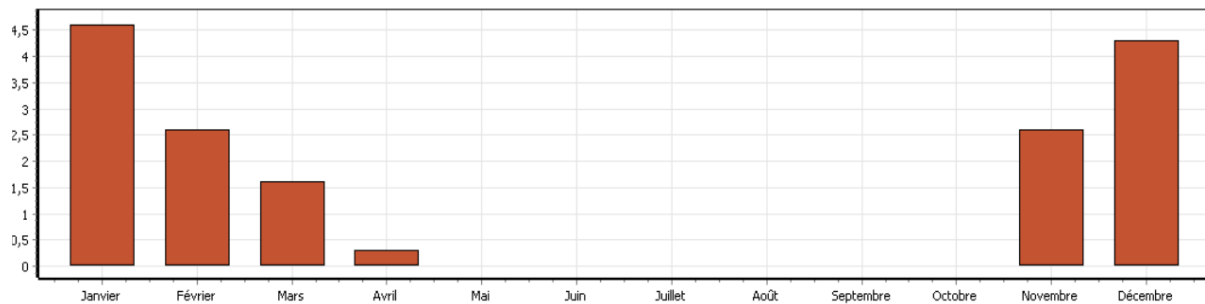
Cette surface peut être modulée en fonction de l'irradiation disponible. Elle dépend aussi du type de SSC choisi et des préconisations du fabricant. Les besoins de chauffage considérés sont ceux obtenus après les travaux de rénovation éventuellement préconisés et réalisés.

6.4.1. • Système solaire avec charge directe

Pour les systèmes solaires combinés à charge directe (avec ou sans ballon de stockage), les préconisations constructeurs doivent être strictement respectées.

Commentaire

Il est préconisé, pour des systèmes à charge directe avec ballon de stockage, 0.5 à 2 m² de capteurs solaires pour 10 m² de plancher chauffant.



Pour connaître le besoin annuel en chauffage, nous allons utiliser un calcul rapide en RT 2012 à partir de Pléiades en ajoutant à la modélisation d'Abel donnée un poêle à rendement à 90% (uniquement afin de pouvoir débloquer le moteur de calcul!!). On ajoute ensuite un ratio de 5/4,4 pour ajuste la maison d'Abel à une maison 'moyenne' et 5 % de déperditions dû aux pertes du ballon, sachant que celui-ci est correctement isolé. Le calcul RT2012 de Pléiades donne (en sommant les mois d'hiver) 16kWh/m². Sachant que nous avons calculé des pertes sur le circuit de chauffage (émetteur/distrib/regul) de x % La SHON (SRT) étant de 170 m², on a donc un besoin annuel de chauffage de

$$\text{Bchauff}_{\text{année}} = 16 \cdot \frac{5}{4,4} \cdot 90\% \cdot 170 \cdot (1+5\%) \cdot (1+3,5\%)$$

Bchauff_{année} = 2,1 MWh

Pour le besoin annuel pour le chauffage de l'ECS **du ballon principal**, on multiplie le besoin journalier par 365 auquel on ajoute également 5 % de déperditions toujours dues aux pertes du ballon (principal). Pour la température à atteindre dans le ballon, soit on prend 35° le minimum pour le ballon principal, mais dans ce cas, on va trop solliciter la résistance électrique de l'apport, soit on prend une température de 60° pour le minimiser au max, en sachant que nous sommes ici en train de faire ces calculs pour dimensionner une surface de capteurs qui ne sera jamais suffisante au plus fort de l'hiver et dont la surchauffe sera délestée l'été. On a donc :

$$\text{Becs}_{\text{année}60} = 1,16 \cdot 47[l] \cdot \text{ratio}_{60} \cdot \text{nb_hab} \cdot \Delta T \cdot 365 \cdot (1+5\%) = 1,16 \cdot 47 \cdot 0,52 \cdot 4 \cdot (60-12) \cdot 365 \cdot 1,05$$

Becs_{année60} = 2086 kWh

$$\text{Becs}_{\text{année}35} = 1,16 \cdot 47[l] \cdot \text{ratio}_{60} \cdot \text{nb_hab} \cdot \Delta T \cdot 365 \cdot (1+5\%) = 1,16 \cdot 47 \cdot 0,52 \cdot 4 \cdot (35-12) \cdot 365 \cdot 1,05$$

Becs_{année35} = 999 kWh

Chauffage + ECS :

B_{année60} = 4,1 Mwh

B_{année35} = 3,1 Mwh

Etant donné que nous avons affaire à des toitures à deux pentes comprise entre 35° et 45°, on part du principe qu'elles sont en moyenne à 40°.

Les maisons déjà construites ont un pan de toiture orientée complètement Sud, cf ci-contre la capture Google Maps.

il est possible que certaines soit orientées sud-est, mais, dans ce cas, le facteur de correction très faible de 0,96 par rapport à 1 est assez négligeable pour être ignoré.

Donc, à 450kwh/m², il faut compter 4/0,45, soit **9 à 10m2 de capteurs**

Toujours à partir du même guide, page 44, on a :

volume de stockage solaire sur surface de capteurs installée.

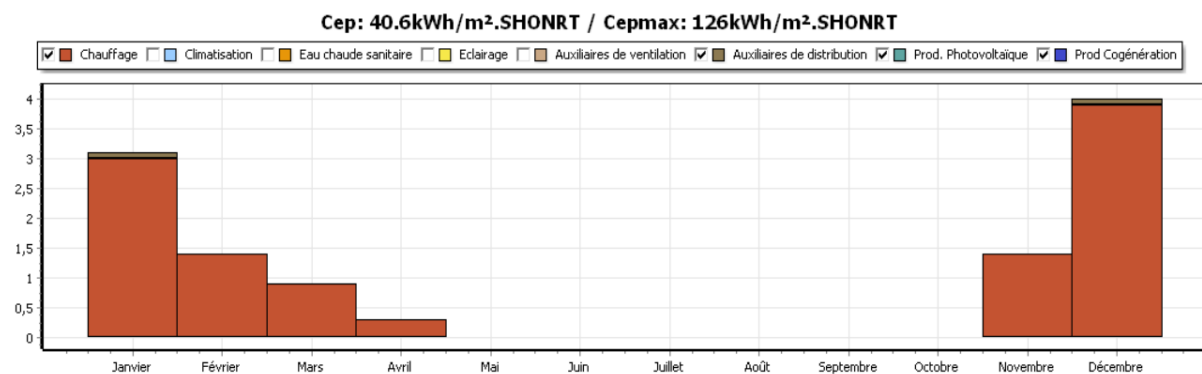
On constate que le ratio « volume de stockage solaire sur surface de capteurs » optimal est de 160 l/m². Ce ratio implique un stockage très important. La performance est peu impactée pour un ratio compris entre 50 et 300 l/m². Néanmoins, le ratio « volume de stockage solaire sur surface de capteurs » doit être strictement supérieur à 50 litres par m².

En appliquant un ratio intermédiaire de 70l/m², on a donc besoin d'un **ballon d'ECS + chauffage de 600l**, si on prend la surface de capteurs préconisée de **10m2**.

Dimensionnement capteurs solaires et ballon principal – Maison commune

A partir du même raisonnement que la maison individuelle, nous allons calculer surface de capteurs et volume du ballon principal nécessaires.

Le calcul RT2012 rapide de Pléiades donne 10,6kWh/m².



La SHON étant de 298 m², on a donc un besoin annuel de chauffage de :

$$\text{Bchauff}_{\text{année}} = 10,6 \times 97\% \times 298 \times (1+5\%) \times (1+3,6\%)$$

$$\text{Bchauff}_{\text{année}} = 3,3 \text{ MWh}$$

Remarque 1 : Ce calcul rapide ne prend pas en compte les besoins réels au regard du taux effectif d'occupation des lieux. En effet, il n'est pas possible à l'avance de déterminer comment se bâtiment sera utilisé au quotidien. Simplement, sachant qu'il pourra être utilisé par moment à son plein régime et que les besoins de chauffage annuel sont la simplement pour estimer une surface de capteur set un volume de stockage de ballon qui seront utilisés à plein régime comme si le bâtiment fonctionnait comme cela à l'année, nous n'allons pas chercher à calculer le réel usage effectif.

Remarque 2 : Pour que Pleiades puissent lancer ses calculs RT2012 sur le modèle existant sans moyen de chauffage au départ, nous avons ajouté, non pas un poêle à bois mais un réseau de chaleur avec émetteur direct dont le rendement est de 97 %

Calcul des besoins ECS de la maison commune :

$$\text{Becs}_{\text{année60}} = 1,16 * (47[l] * \text{nb_hab} + 510[l]) * \text{ratio}_{60} * \Delta T * 365 * (1+5\%) = 1,16 * (47*5+510) * 0,52 * (60-12) * 365 * 1,05$$

$$\text{Becs}_{\text{année60}} = 8,3 \text{ MWh}$$

$$\text{Becs}_{\text{année35}} = 1,16 * (47[l] * \text{nb_hab} + 510[l]) * \text{ratio}_{60} * \Delta T * 365 * (1+5\%) = 1,16 * (47*5+510) * 0,52 * (35-12) * 365 * 1,05$$

$$\text{Becs}_{\text{année35}} = 4 \text{ MWh}$$

Les besoins ECS+chauffage sur l'année sont de :

$$\text{B}_{\text{année60}} = 4 + 8,3 \Rightarrow \text{B}_{\text{année60}} = 12,3 \text{ Mwh}$$

$$\text{B}_{\text{année35}} = 4 + 4 \Rightarrow \text{B}_{\text{année35}} = 8 \text{ Mwh}$$

En prenant les mêmes ratios que pour la maison individuelle, on peut partir sur **26 m²** de capteurs solaires et un volume de ballon de **1600l**.

Récapitulatif besoins sur l'ensemble du hameau

En partant du principe qu'on a l'équivalent de 23 logements individuels et une maison commune, les données globales donnent :

$$\text{Besoin chauffage \& ECS}(35^\circ) = 12,3 + 4,2 * 23 = 109 \text{ Mwh/an}$$

$$\text{Surface capteur solaire} = 26 + 23 * 9 = 233 \text{ m}^2$$

$$\text{Stockage ballons} = 1600 + 600 * 23 = 15 \text{ m}^3$$

Estimation de la puissance nominale en besoin ECS + Chauffage

Cette puissance correspond à la puissance hors puissance d'appoint puisqu'elle ne nous intéresse pas pour dimensionner le réseau. Cette puissance se calcule en additionnant la puissance en besoin de chauffage que nous avons déjà calculée plus haut à la puissance ECS qui est l'énergie nécessaire sur une année divisée par $24 * 265$. Pourquoi diviser par 24 alors que, la nuit au plus froid, la puissance sera monopolisée par le chauffage ? Simplement parce que les ballons ont suffisamment de volume pour lisser les besoins en chauffage et en ECS sur au moins une journée.

Dans des conditions extrêmes : pas de soleil pendant 3 jours et températures très basses en admettant que pendant ces trois jours il n'y a donc que très peu de soleil et la nuit, le ciel est complètement dégagé donc froid extrême. Dans ce cas, on peut considérer qu'au troisième jour, tous les ballons ont épuisés leur stock des jours précédents et que toute la puissance doit venir du réseau de chaleur. Il faut également estimer le besoin ECS pour ce jour spécial où la température de l'eau froide ne sera qu'à 7°. Dans ce cas on calcule Pecs_maisons et Pecs_commune avec, suivant la 3CL 2021, une conso de 56l/jour à 40°. On calcule la différence entre 60-7 et 40-7 pour connaître quelle conso en l pour une eau instantanée à 60°. ce qui fait une conso de 34,87l/jour à 60°.

$$P_{\text{ecsmaisons}_{35}} = 1,16 * 34,87[l]/24 * \text{nb_hab} * \Delta T * (1+5\%) = 1,16 * 34,87/24 * 82 * (35-7) * 1,05$$

$$P_{\text{ecsmaisons}_{35}} = 4\text{kW}$$

Pour calculer la puissance ECS pour la maison commune, même raisonnement en prenant 2 repas par jour nécessitant chacun 510l.

$$P_{\text{ecscommune}_{35}} = 1,16 * 34,87[l]/24 * (\text{nb_hab} + 510 * 2[l]) * \Delta T * (1+5\%) = 1,16 * (34,87 * 5 + 510) / 24 * (35 - 7) * 1,05$$

$$P_{\text{ecscommune}_{35}} = 2\text{kW}$$

$$P_{\text{chauff}} = (5 * 23 + 7,6) * (1+3,6\%) \Rightarrow P_{\text{chauff}} = 127 \text{ kW}$$

$$P_{\text{ECS}_{35}} = 4 * 23 + 2 \Rightarrow P_{\text{ECS}_{35}} = 94 \text{ kW}$$

$$P_{\text{TOTAL}} = 221 \text{ kW}$$

Foisonnement

Le foisonnement permet de réduire la puissance nécessaire en répartissant les besoins en fonction d'une régulation possible grâce au stockage intermédiaire des ballons.

Pour foisonner la surpuissance des maisons qui est de 1,5kW, on va considérer que la surpuissance sur 2h demandée le matin va pouvoir être préparée dans la nuit. L'idée est alors, passé minuit, que chaque régul individuelle monte sa température au-delà de 35° pour que chacune puisse 'préparer' le surplus d'énergie demandée le matin pour la surpuissance. On calcule donc le besoin de surpuissance puis le dT° nécessaire en fonction du ballon.

$$B_{\text{surp_maison}} = 1,5 * 2 * 1000 = 3000\text{wh}, B = 1,16 * V_{\text{ballon}} * dT \Rightarrow dT = (T_{\text{surp}} - 35) = 3000 / 1,16 / 600$$

$$\Rightarrow T_{\text{surp_maison}} = +4^{\circ}$$

$$B_{\text{surp_commune}} = 2,4 * 2 * 1000 = 4800\text{wh}, B = 1,16 * V_{\text{ballon}} * dT \Rightarrow dT = (T - 35) = 4800 / 1,16 / 1600$$

$$\Rightarrow T_{\text{surp_commune}} = +3^{\circ}$$

Ayant géré la surpuissance en demandant à toutes les régul des maisons de monter leur demande à 39° et pour la maison commune à 38° de minuit à 7h, on reprend alors le besoin de puissance total en lui retirant la surpuissance :

$$P_{\text{TOTAL}} = 221 - 1,5 * 28 - 2,4$$

$P_{\text{TOTAL}} = 176 \text{ kW}$

Géothermie à captage inter-saisonnier solaire expérimental

Comme nous l'avons évoqué en introduction, nous sommes ici dans un projet non standard. Jusqu'alors nous nous sommes appliqués à travailler en aval sur les besoins ECS / Chauffage / Stockage et production solaire suivant un schéma classique. Il nous faut désormais déterminer le taux de maintien sur une plage de temps déterminée de la chaleur renvoyée en excès par la production solaire estivale afin d'évaluer au plus juste la longueur des sondes nécessaire et suffisante à une production de chaleur durant la saison froide.

Ci-contre, un schéma global du système canadien. Nous allons essentiellement reprendre le principe de stockage inter-saisonnier du solaire. Notre projet privilégiant plutôt en amont l'usage d'une PAC géothermique et en aval un appoint ECS effet Joule.

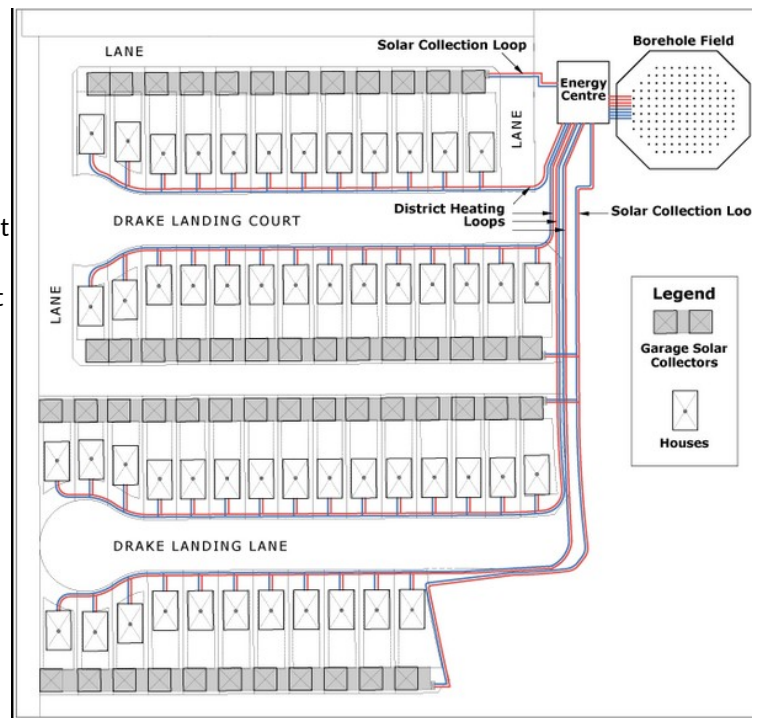
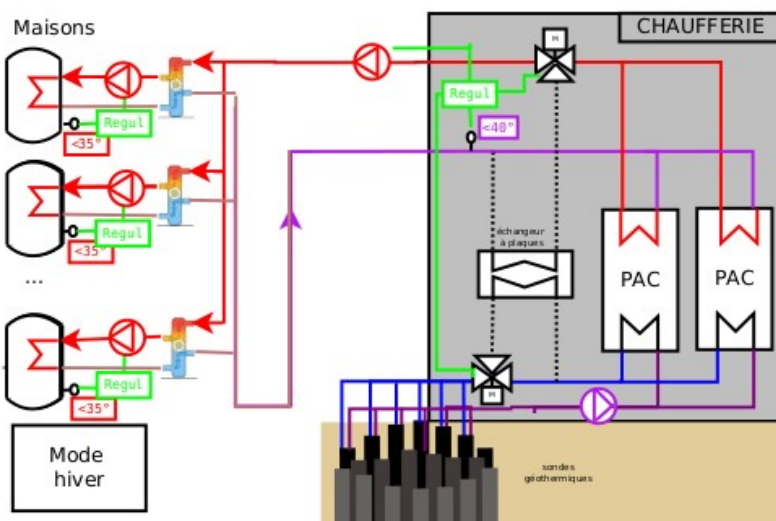
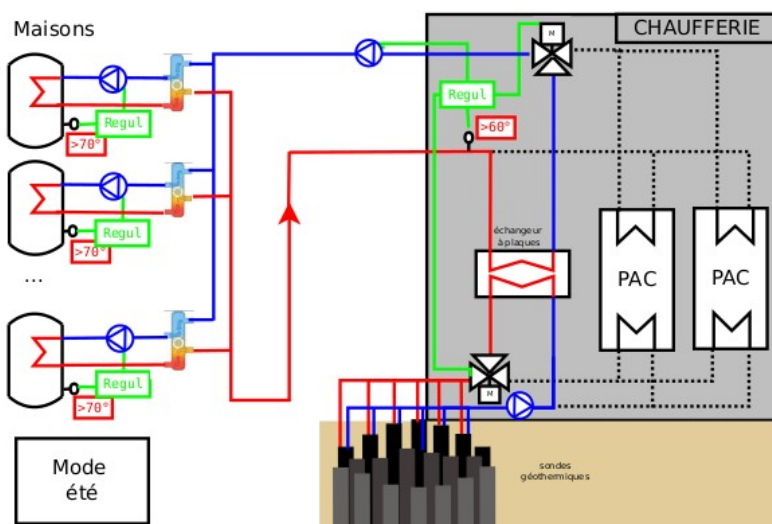


Schéma de production / délestage du réseau

En hiver, les Pacs en cascade vont, de manière classique, utiliser un circuit froid passant par des sondes enterrées pour ensuite générer une eau à 40° permettant au ballons de dispatcher dans les maisons de maintenir une température à 35°. Chaque circulateur autonome dans les maisons viendra tirer l'eau chaude du circuit primaire lorsque la sonde du ballon descendra en-dessous de 35° (ou jusqu'à 40° au moment les plus froids, en fonction de la régulation . Une hysteresis de 4° pourra être mise en place afin que le circulateur s'arrête lorsque le ballon aura atteint 39°.



En été, la surchauffe des capteurs solaires thermiques sera repérée lorsque le ballon principal de chaque maison dépassera 64°. Le circulateur derrière le ballon se mettra alors en route pour que cette eau chaude circule dans le réseau de chaleur. Côté chaufferie la régule détectera une température à plus de 60°, ce qui fera basculer les deux vannes trois voies, l'une sur ce même circuit allant vers l'échangeur à plaques pour by-passer les PACs à l'arrêt, l'autre côté circuit sondes by-passera également les PACS vers l'échangeur à plaques.



La bascule été/hiver se fera donc par l'intermédiaire de ces deux vannes trois vannes. Le laps de temps sera suffisamment long entre le moment où les capteurs ne seront plus en surchauffe ($T_{\text{ballons}} > 70^\circ$) et le moment où ils commenceront à solliciter la PAC ($T_{\text{ballons}} < 35^\circ$). Il pourra même être possible dans une période de temps de couper le circulateur du réseau sous-terrain afin que les ballons s'équilibrent entre eux. Si les rapports besoin chauffage/surface capteurs seront déséquilibrés entrer maisons, la période assez longue de bascule été/hiver permettra aux bâtiments les plus optimisés d'envoyer leur chaleur de surchauffe à la fois aux ballons voisins et/ou au sol en fonction des T° 'eau dans le circuit.

Schéma et dimensionnement du réseau de chaleur

Ce schéma n'est pas complet : seule une maison '0736' a été raccordée. Il manque également le réseau de sonde géothermiques.

Pour des raisons d'optimisation, nous avons décidé de déplacer la chaufferie au centre pour minimiser les conduites et donc les déperditions, sachant que la géothermie ne nécessite pas de volume important pour la PAC et surtout ne nécessite pas de conduit de cheminée.

Nous avons découpé ce réseau en 4 sous-réseaux afin de servir au mieux les habitats. Une boucle de Tickelman par sous-réseau permet d'équilibrer les pertes de charge dans ce même sous-réseau.

BOUCLE NORD 290m

BOUCLE OUEST 130m

BOUCLE SUD 140m

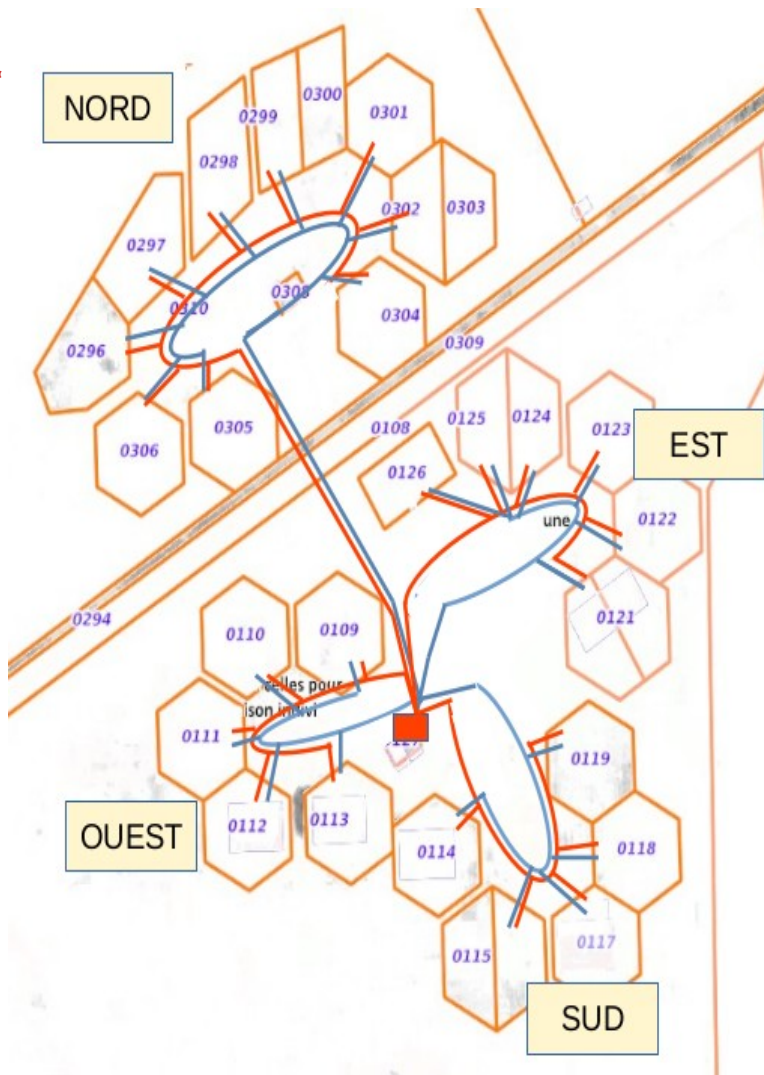
BOUCLE EST 140m

Reste équilibrer les charges entre sous-réseaux en fonction des distances et des tailles des tuyaux eux-mêmes proportionnels aux puissances nécessaires par sous-réseau, mais également calculer les pertes dues aux déperditions des conduites qu'il faudra combattre en ajoutant une puissance demandée à la chaufferie

Pour évaluer le diamètre des conduites de chaque tronçon de chaque boucle, il faut déterminer les puissances de chaque sous-réseau.

On trouvera toutes ces répartitions dans le tableau dimensionnement_rc.ods. Ce tableau est capable de dimensionner autant des réseaux en bi-tubes en Tickelman ou en bi-tubes. Pour notre cas, nous allons dimensionner en Tickelman, c'est pourquoi les débits et donc les diamètres seront les mêmes de maisons en maisons. Du DN100 sera choisi pour toutes les conduites. Il faudra simplement équilibrer les charges entre les 4 circuits C1, C2, C3 & C4.

Dans cette feuille de calcul, on trouve également un onglet pour dimensionner au mieux les surfaces des capteurs (solaire) et diamètre du BTES de façon à être complètement autonome et se passer complètement de la PAC. Ce genre de technologie n'étant pour le moment pas aussi développée qu'au nord de l'Europe, il est important d'assurer au maximum son fonctionnement et notamment au moment des pics de demande, lorsque les premières années, la montée en charge progressive de la terre autour des sondes oblige à utiliser pour le moment une PAC. Ce calcul sert néanmoins à déterminer la taille idéalement intermédiaire avec laquelle on peut lancer le projet. C'est pourquoi, nous conserverons une surface de 8 m² de capteurs, donc et nous maintiendrons la PAC.



Equilibrage du réseau de chaleur

Nous avons quatre circuits qui partent de la chaufferie. Un répartiteur en sortie de chaudière après un circulateur principal va envoyer l'eau dans chaque circuit équipé d'une vanne de réglage sur chaque tronçon en fonction des pertes de charges calculées, cf tableau de dimensionnement, onglet « circuits ».

Débit [m³/h]	Pertes charges
18.41	7.70

TA partir de [Sizing result page | Grundfos](#) , en indiquant les caractéristiques de débit et de pertes de charge donné, on tombe sur des circulateurs au maximum en DN40. Hors, il faudrait à minima du DN100, comme les diamètres des circuits secondaires.

Conformité RT 2012

Afin de vérifier la conformité RT 2012, nous avons pris le parti de faire une composition de générateurs chauffage et ECS avec un SSC comme base, un ballon de 600l à 35° et enfin un appoint à,partir d'un réseau de chaleur créé pour l'occasion.Nous avons pris la maison d'Abel en exemple. Le fichier Pleiades est disponible à côté.

Pour le chauffage instantané du complément d'ECS, nous avons pris le parti de créer un deuxième système de production parallèle au principal que nous avons alors réduit à 20 % des usages pour intégrer le fait que celui-ci ne gère qu'un delta de température de 5° (40-35°), comparativement au principal qui lui, gère un delta 5x plus important 35-12= 23°

Déperditions du réseau de chaleur et puissance chaudières

Après élaboration de la stratégie de foisonnement,la puissance d'appel des maisons au plus fort était donc de 176kw. Cependant, les conduites passant en extérieur, celles-ci ont des déperditions.

Il est donc nécessaire de les additionner à la puissance demandée à la chaufferie :

$$P_{chaufferie} = P_{total} + P_{pertes}$$

Pour les pertes thermiques, nous les avons extraites du tableau de dimensionnement en addition les pertes de chaque circuit (cf onglet circuit de dimensionnement_rc.ods)

$$P_{chaufferie} = 176 + 0,4$$

$$P_{chaufferie} = 176,4kW$$

Estimation de la puissance de production – géothermie classique

Sachant que nous allons renvoyer la surchauffe estivale des capteurs dans les sondes comme système de délestage, donc une forme de stockage inter-saisonnier, nous allons devoir estimer comment utiliser au mieux cette énergie emmagasinée avec des déperditions, somme toute, assez conséquentes puisque la période entre le moment où cette énergie va être emmagasinée et le moment où elle va être utilisée sera assez longue.

Les toitures étant inclinées à 38°, une production de surchauffe des capteurs solaires assez stable devrait se faire entre les mois d'avril à septembre. On peut ensuite considérer que les mois d'octobre, novembre et mi-mars/mi-avril devraient, à quelques exceptions prêtes être des mois d'auto-suffisance complète.

Cet emmagasinement de chaleur va permettre d'augmenter la puissance par mètre que les sondes vont pouvoir extraire du sol. En effet, sur une géothermie à sonde verticale, on estime de manière classique sur un sol typique qu'on peut aller chercher 50W/m.

Sans délestage, donc si nous n'avions qu'une géothermie classique, nous aurions besoin de $176,4/50$, soit **3500m** de sondes. Si on prend 35m (comme Drake Landing) par sonde et qu'elles sont espacées de 6m, suivant [la page de l'AFPG](#), l'une par rapport à l'autre, on aurait donc besoin de 100 sondes occupant une superficie ronde d'environ 76m de diamètre. $2\sqrt{(100 \cdot 6 \cdot 6 / 3,14 / 0,78)}$.

Intégration du stockage inter-saisonnier

Ce type de projet (cf https://fr.wikipedia.org/wiki/Communaut%C3%A9_solaire_de_Drake_Landing, <http://www.dlsc.ca/borehole.htm>) n'est pas finalement si expérimental que cela, aux dires de cet article qui décrit entre autres le système BTES : https://fr.wikipedia.org/wiki/Stockage_intersaisonnier_de_chaleur*

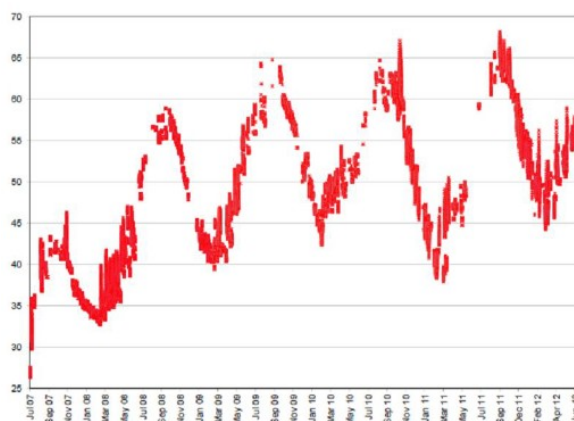
On y apprend, entre autres que les sondes seraient espacées d'environ 4m. D'autres projet proposent également 3m d'intervalle et cela peu descendre jusque 1m50. Le principe étant de trouver la valeur optimale entre rapprochement maximum pour isoler plus facilement l'ensemble et éloignement suffisant pour que les émissions de chaque sondes interagissent le moins possible entre elles Si on part du principe qu'on conserve le même nombre de sondes que pour une PAC géothermique classique mais avec espacement deux fois moindre de 3m entre elles on arrive à une surface d'un diamètre de **38m**.

Un des constats très positif relevé au niveau de l'éco-quartier canadien est que le système est devenu de plus en plus performant au fil des premières années.

Cela pourrait se traduire par un inconvénient de prime abord parce qu'il faudrait surestimer la puissance la première année, cependant, en raisonnant différemment, on peut y entrevoir plutôt des avantages :

1 – En général, la construction d'un tel éco-quartier peut s'étaler sur plusieurs années. Ainsi, on pourrait penser que l'augmentation en efficacité du réseau de chaleur va suivre progressivement l'installation des maisons. Comme la PAC sera dimensionnée au départ pour servir l'intégralité du parc, elle pourra répondre à un besoin plus important par maison pour ensuite la répartir plus justement sur les suivantes.

2 – Il est également possible de parier sur le fait que le réseau de chaleur, si tenté qu'il soit efficace, va faire des émules dans le quartier et qu'au moment où celui-ci montrera une capacité de chaleur accrue, de nouveaux logements ou des logements voisins viendront se raccorder à celui-ci.



Rendement à long terme / inutilité de la PAC

Il est possible d'évaluer le rendement que peut donner un tel système cf usage du modèle « TRNSYS » model détaillé dans [3. Simulated System Performance de ://www.dlsc.ca/reports/bjul15/DLSC_SHC_2012_final.pdf](http://www.dlsc.ca/reports/bjul15/DLSC_SHC_2012_final.pdf)

Plus grossièrement, on peut estimer qu'avec une saison hivernale moins froide qu'au Canada et avec un ensoleillement équivalent (1600h/an) on pourrait atteindre dès la première saison au cœur du « Champ de sondes » 33° au pire, en fin de saison, (p8 du dernier document cité) . Avec une moyenne de 12° à l'extérieur(sol), on aurait alors 23° en moyenne au niveau des sondes. Les années suivantes le cœur serait plus à 38° au pire, donc 28° en moyenne sur toutes les sondes. La pompe à chaleur n'aurait plus alors qu'une dizaine de degrés à compenser.

Au lieu de devoir faire une relève de T° de 12 à 35 donc 23° d'écart, on aurait seulement une relève de 23° à 35° donc 12° d'écart, donc $12/23 = 52\%$. C'est 52 % représentent la puissance économisable par rapport à un système sans délestage. Ainsi on a plus besoin que d'une puissance de $176,4 * (1-52\%) = 85 \text{ kW}$

On peut raisonner également différemment. Au lieu de raisonner sur une diminution du besoin de puissance, on peut raisonner sur une amélioration du SCOP. On peut alors tabler sur un SCOP d'au moins 6, mettant au placard direct ces bonnes vieilles reliques que seront alors les PACs air-air, vestiges d'un autre âge !! A lire à propos du COP cet [article sur un projet développé par ABSolar en Gironde à Cadaujac](#) qui parle d'un COP de 7 !!

Pour intégrer cela le tableau excel de dimensionnement prend en compte un COP de 6, cf onglet « Rdmt Prod ». On se retrouve alors avec une PAC d'une puissance de **34,3kw**.

Dimensionnement de la chaudière : pompe à chaleur sol/eau

Ci-dessous le détails des produits (PACs proposés par Novency, le fournisseur français de PAC géothermiques le plus réputé.



			N3GP-20		N3GP-24	N3GP-28	N3GP-36	
			Monophasé	Triphasé				
			1 / 2 comp	1 / 2 comp	1 / 2 comp	1 / 2 comp	1 / 2 comp	
norme EN 14511	BOW25 Capteur : 0/-3°C Émetteur : 22/25 °C	Puissance calorifique (kW)	10,98 / 21,15	10,93 / 21,05	13,39 / 25,80	15,51 / 29,94	19,29 / 36,98	
		Puissance absorbée (kW)	1,87 / 3,85	1,80 / 3,71	2,23 / 4,62	2,45 / 5,07	3,10 / 6,49	
		Puissance frigorifique (kW)	9,22 / 17,59	9,24 / 17,92	11,29 / 21,55	13,20 / 25,27	16,38 / 31,08	
		COP	5,88 / 5,50	6,08 / 5,68	5,99 / 5,59	6,32 / 5,90	6,21 / 5,70	
	BOW35 Capteur : 0/-3°C Émetteur : 30/35 °C	Puissance calorifique (kW)	10,49 / 20,27	10,43 / 20,16	12,81 / 24,75	14,90 / 28,86	18,55 / 35,68	
		Puissance absorbée (kW)	2,20 / 4,49	2,13 / 4,35	2,63 / 5,40	2,83 / 6,02	3,70 / 7,66	
		Puissance frigorifique (kW)	8,41 / 16,00	8,42 / 16,03	10,33 / 19,62	12,14 / 23,14	15,07 / 28,41	
		COP	4,77 / 4,51	4,91 / 4,64	4,86 / 4,58	5,09 / 4,80	5,02 / 4,66	

<http://novency.com/wp-content/uploads/2023/04/Pompe-a-chaaleur-Novency-Catalogue-technique-N3P.pdf>

Il est possible de choisir soit 2 PACs à 24kw avec le meilleur rendement, soit une kW moins bon en rendement mais moins chère.

Le choix de deux PACs N3GP24 est plus sécurisé, plus cher et moins sobre. Ce choix doit donc être laissé à la discrétion des habitants

Si on prend la N3GP24, c'est le modèle plus efficace de la gamme et que, les sondes étant boostées à au moins 10° de plus, on peut partir du principe que notre besoin en eau à 35/40° serait plus proche d'un delta 0°-25°, ce qui donnerait donc, suivant la première ligne du tableau constructeur un COP de 5,90 pour une puissance max de 29,94kw. On se situe donc, avec 3 machines en cascade de 89,82kw se situant au-dessus des **86,3 kW** de besoin de puissance ECS+chauffage du hameau, sachant que les pertes réseaux ne sont pas encore intégrées mais qu'on pourra compter sur l'efficacité redoutable du stockage inter-saisonnier pour les compenser très facilement.

Afin de réduire les pertes, on pourrait délocaliser une PAC au nord avec un tiers des sondes. Choisir de conserver quand même des conduites entre les réseaux pourrait alors s'avérer utile en cas de panne de cette PAC.

Après consultation des spec techniques, on s'aperçoit que ... la sortie de la PAC est également en DN40 (1" 1/2), donc, comme le circulateur Grunfos, pas en phase avec le DN100 des conduites.

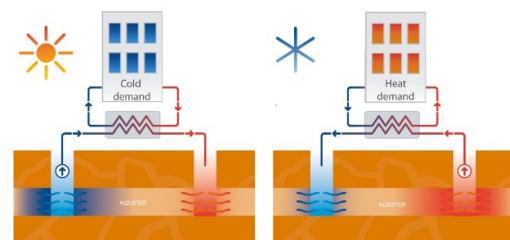
Il doit donc y avoir une erreur au niveau feuille de calcul sur le coef de perte de charge, notamment au niveau de la rugosité entre acier et acier galva ou inox.... A étudier, on entre dans un domaine de compétence au-delà des connaissances acquises au cours de la formation.

Enfin, il serait nécessaire de vérifier que les pertes de charges max et débits mini sur le circuit géothermiques acceptables par la PAC sont respectés, soit respectivement, pour deux N3GP-28, $2 \times 7,1 = 14,2 \text{ m}^3/\text{h}$, et KVS de 17,2.

Aller plus loin encore – allier surchauffe délestage & ... géocooling !!

Le sujet mériterait d'être étudié un peu plus en profondeur, mais il serait possible d'utiliser le même réseau pour faire à la fois du stockage inter saisonnier et du géocooling en exploitant le sens du passage du fluide dans le BTES en fonction du besoin. Ici dans le schéma on observe ce genre d'installation plutôt que les ATES (Aquifères)

Dans notre cas, il pourrait s'agir simplement d'ajouter un échangeur à plaques en parallèle du ballon entre réseau de chaleur et réseau de plancher chauffant (donc réfrigérant) dans chaque maison et également prévoir d'écarter suffisamment aller et retour des bitubes du réseau de chaleur qui ne seraient plus du tout à la même température en été.



L'idée serait que l'échangeur à plaque restituerait le froid venant de la périphérie du BTES (12°) aux planchers des maisons, qui, en retour emmagasinerait leur chaleur, puis passerait par le ballon pour collecter la surchauffe venue des panneaux qui serait ensuite envoyée au centre du BTES qui petit à petit se refroidirait vers les côtés.

Gros intérêt : investissement complémentaire assez minime à priori pour gagner une climatisation gratuite !!

Reste à travailler plus en détail le sujet, notamment sur l'épuisement de la source froide en fin d'été.

UTES : état de l'art en France en comparaison à d'autres pays

UTES = Underground Thermal Energy Storage

Pour finir, un article relatant le retard d'allumage de la France dans ce domaine qui pourrait bientôt s'inverser, maintenant que des entreprises très innovantes, particulièrement ABSolar ont développé le sujet, traité par le deuxième article.

- [Article très intéressant de Boris Bourdoncle en 2020](#)

[Le projet pionnier de AbSolar en Gironde.](#)

Budget

Une esquisse rapide du budget a été réalisée pour la partie géothermie. Loin d'intégrer tous les postes, elle tente d'aller à l'essentiel en estimant les plus importants. Elle est disponible dans la feuille de calcul dans l'onglet BTES.

.

Conclusion

Sujet plus qu'intéressant, mais comme très innovant, a nécessité énormément de recherches qui rend le rapport peu abouti sur certains côtés pour manque de temps, notamment sur l'approximation des longueurs des tronçons ou la proposition plus détaillée d'un schéma de principe du réseau intérieur d'une maison intégrant tous les éléments nécessaires et permettant de calculer toutes les pertes de charges linéaires et singulières afin de calculer, dimensionner, la puissance des pompes à chaleur requises...