



Programme ThermaBois (Chauffage bois)

Document technique Dimensionnement installation chauffage bois

Août 2016

Jean Yves MESSE – THERMEXCEL
Copyright © 2002 - 2016 - ThermExcel- All Rights Reserved

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES	2
1 - PROGRAMME DE CALCUL THERMABOIS	3
2 - ESTIMATION DE LA PUISSANCE CHAUFFAGE	4
3 - CONSOMMATION D'ENERGIE	7
4 - DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUDIERE BOIS	17
5 - STOCKAGE D'ENERGIE PAR HYRO-ACCUMULATION.....	25
6 - DIMENSIONNEMENT INSTALLATION HYDRAULIQUE (ANNEXE)	32

- Programme de calcul ThermaBois

Le programme de calcul ThermaBois permet de dimensionner très rapidement une installation de chauffage bois.

Le programme de calcul est constitué de **6 feuilles** de calcul distinctes pour le dimensionnement des installations, à savoir :

- ❖ Une feuille d'estimation des déperditions et des consommations d'énergie en chauffage et ECS et du coût que cela représente.
- ❖ Une feuille de dimensionnement pour les chaudières à bois à bûches et des volumes tampons de stockage d'énergie par hydro-accumulation,
- ❖ Une feuille de pré-dimensionnement des circuits hydrauliques.
- ❖ Une feuille de dimensionnement pour les vases d'expansion fermés.
- ❖ Deux feuilles de calcul pour les sélections des radiateurs.

Des modules de calculs complémentaires sont incorporés au programme, avec notamment :

- ❖ Un module d'affichage des sites météo pour évaluer les consommations d'énergie
- ❖ Un programme de calcul d'évaluation de la puissance motorisée de pompe en fonction de la charge calculée.

Le programme de calcul est pourvu d'une commande barre personnalisée donnant accès aux différentes procédures, boîtes de calcul et macro-commandes.

Les fichiers de travail sont créés séparément permettant d'alléger le stockage des données.

2 - ESTIMATION DE LA PUISSANCE CHAUFFAGE

2-1 - Historique réglementations

Depuis la création de la première réglementation thermique, celle-ci n'a jamais cessé d'évoluer, avec des exigences de plus en plus importantes.

- ❖ La première réglementation thermique date de 1974 (RT 1974). Elle ne s'appliquait qu'aux bâtiments neufs d'habitation.
- ❖ La deuxième réglementation thermique date de 1988 (RT 1988). Elle s'appliquait aux bâtiments neufs résidentiels et non résidentiels.
- ❖ La troisième réglementation thermique date de 2000 (RT 2000). Elle s'appliquait aux bâtiments neufs résidentiels (consommation maximale réduite de 20% par rapport à la RT 1988) et tertiaires (consommation maximale réduite de 40%).
- ❖ La RT 2005 a remplacé la RT 2000. Par rapport à la RT 2000, la RT 2005 demande une amélioration de 15% de la performance thermique et s'applique aux bâtiments neufs et aux parties nouvelles.
- ❖ La RT 2012 est, quant à elle, entrée en application le 1er janvier 2013 pour tous les bâtiments d'habitation (logement collectif et maisons individuelles)

2-2 - Estimation des déperditions dans des constructions existantes en résidentiel (Méthode selon le GV)

Les déperditions sont calculées pour la température extérieure de base du lieu définie dans le complément national à la norme NF EN 12831, référencé NF P 52-612/CN.

Les déperditions thermiques sont les pertes de chaleur que subit un bâtiment et se produisent principalement de trois façons :

- ❖ les déperditions à travers les parois, dites surfaciques,
- ❖ les déperditions par les ponts thermiques,
- ❖ les déperditions par renouvellement d'air.

Le calcul est basé sur une température extérieure minimale de référence, et sur une température intérieure de base (19 ou 20°C)

Méthode simplifiée

Dans la cadre d'une pré-étude, les déperditions d'un habitat peuvent être évaluées de manière empirique par la formule suivante :

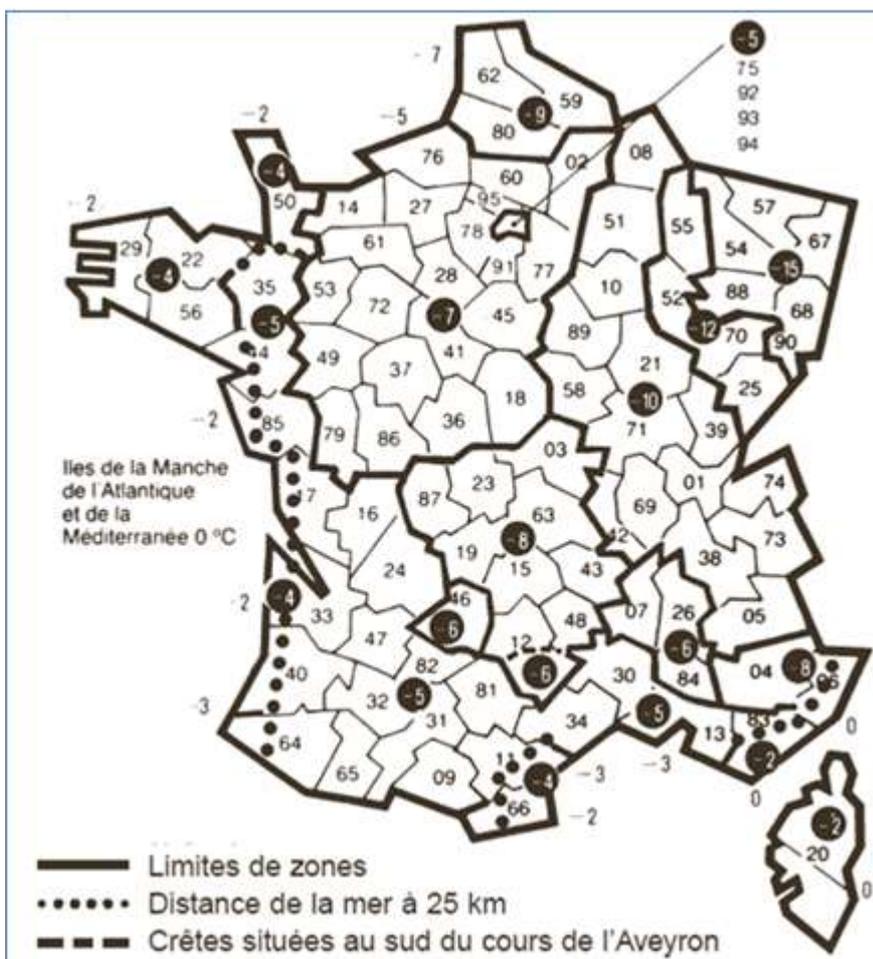
$$Deper = GV \cdot V \cdot (Ta - Te)$$

- ❖ Deper = Déperditions en W
- ❖ V = Volume chauffé du bâtiment en m³
- ❖ Ta : Température moyenne intérieure des différents locaux en °C;
- ❖ Te : Température extérieure de base en °C.
- ❖ G ou GV ou G1 = Coefficient de l'isolation bâtiment en W/m³. °C (somme de toutes les déperditions y compris celle liée au renouvellement d'air de l'habitat pour un degré d'écart entre les températures intérieures et extérieures). Le G ou GV dépend de la qualité thermique de l'enveloppe de la construction (ouvrants, murs, toitures, etc.) du volume chauffé et de la ventilation d'air neuf hygiénique.

Coefficient de l'isolation bâtiment en W/m3. °C (Type GV)	
Période et type de construction	G ou GV estimé
De 1955 à 1974 (Sans isolant)	2,3 W/m3 °C
De 1955 à 1974 (isolants combles + Calfeutrement)	1,8 W/m3 °C
De 1955 à 1974 (isolants combles + Calfeutrement, mur)	1,5 W/m3 °C
De 1975 à 1982 (1ère réglementation thermique)	1,3 W/m3 °C
De 1983 à 1988 (2ème réglementation thermique)	1,1 à 1,3 W/m3 °C
De 1989 à 2000 (3ème réglementation thermique)	0,9 à 1,1 W/m3 °C
RT 2000	0,75 à 0,9 W/m3 °C
RT 2005	0,6 à 0,75 W/m3 °C
Très bonne isolation	0,6 W/m3 °C
Bioclimatique	0,4 W/m3 °C

Température extérieure

La température extérieure de base à prendre en compte dépend à la fois de la région et de l'altitude où se trouve le site.



Des corrections sont à apporter en fonction de l'altitude du lieu considéré, selon le tableau ci-dessus.

Les valeurs non cerclées situées dans les mers et océans correspondent à une distance de la mer intérieure à 3 kilomètres.

Correction d'altitude

Les températures de base étant données au niveau zéro, il y a lieu d'appliquer les corrections selon le tableau ci-dessous.

Corrections à appliquer selon l'altitude et de la carte de température de base										
Altitude (m)	-2 °C	-4 °C	-5 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-12 °C	-15 °C
Distances cote <25km	-2 °C	-2 °C	-4 °C	-5 °C	-5 °C	-7 °C				
0 à 200	-2 °C	-4 °C	-5 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-12 °C	-15 °C
201 à 400	-3 °C	-5 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-13 °C	-15 °C
401 à 500	-4 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-14 °C	-16 °C
501 à 600	-4 °C	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-15 °C
601 à 700	-5 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-14 °C	-16 °C
701 à 800	-6 °C	-7 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-14 °C	-15 °C
801 à 900	-6 °C	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-14 °C	-15 °C	-16 °C
901 à 1000	-	-8 °C	-9 °C	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-14 °C	-15 °C	-16 °C
1001 à 1100	-	-	-10 °C	-11 °C	-12 °C	-13 °C	-14 °C	-15 °C	-16 °C	-17 °C
1101 à 1200	-	-	-10 °C	-	-	-17 °C	-18 °C	-19 °C	-20 °C	-21 °C
1201 à 1300	-	-	-11 °C	-	-	-18 °C	-19 °C	-20 °C	-21 °C	-22 °C
1301 à 1400	-	-	-11 °C	-	-	-19 °C	-	-21 °C	-23 °C	-25 °C
1401 à 1500	-	-	-12 °C	-	-	-	-	-22 °C	-24 °C	-25 °C
1501 à 1600	-	-	-12 °C	-	-	-	-	-23 °C	-	-
1601 à 1700	-	-	-13 °C	-	-	-	-	-24 °C	-	-
1701 à 1800	-	-	-13 °C	-	-	-	-	-25 °C	-	-
1801 à 1900	-	-	-14 °C	-	-	-	-	-26 °C	-	-
1901 à 2000	-	-	-14 °C	-	-	-	-	-27 °C	-	-
2001 à 2100	-	-	-15 °C	-	-	-	-	-28 °C	-	-
2101 à 2200	-	-	-15 °C	-	-	-	-	-29 °C	-	-
2201 à 2400	-	-	-16 °C	-	-	-	-	-30 °C	-	-
2401 à 2600	-	-	-17 °C	-	-	-	-	-30 °C	-	-
2601 à 2800	-	-	-18 °C	-	-	-	-	-30 °C	-	-
2801 à 3000	-	-	-19 °C	-	-	-	-	-30 °C	-	-
au dessus	-	-	-20 °C	-	-	-	-	-30 °C	-	-

Exemple de calcul des déperditions (Programme Thermabois)

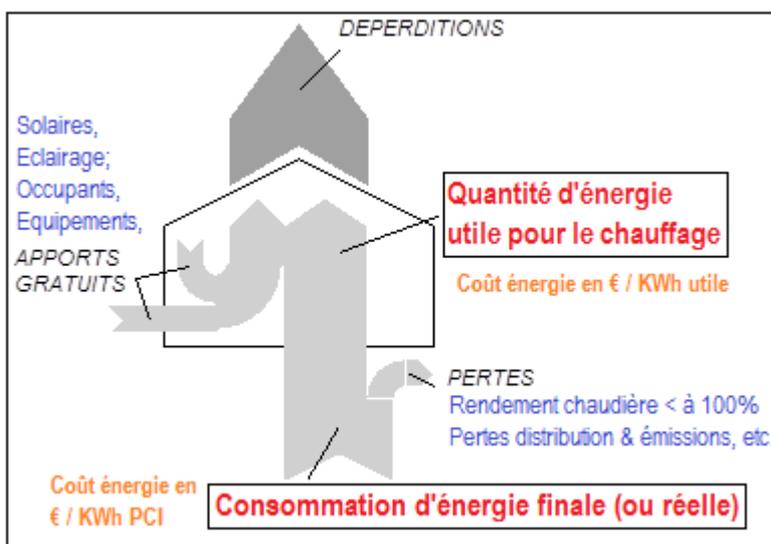
CALCUL DES DÉPERDITIONS GLOBALES D'UN HABITAT			
Date ou période de construction de l'habitat	G ou GV estimé	Estimation des déperditions du volume chauffé	
- 1955 à 1974 (Sans isolant)	2.3 W/m3 °C	Sélection du site : 3 - ALLIER - VICHY N° Départ : 3 3 - ALLIER - VICHY Alt. site : 430m T°température extérieure de base à -200m = -8°C Correction température à 430 m d'altitude = -10,0 °C Altitude que vous voulez (300m en + ou -) => -8°C	
- 1955 à 1974 (isolants combles + Chauffage)	1.8 W/m3 °C	Déperditions globales connues de l'habitat (en kW) =>	
- 1955 à 1974 (isolants combles & murs + Chauffage murs)	1.5 W/m3 °C	[GV estimé : 0 W/m3°C] Sinon, imputez le G correspondant => 1,10 W/m3 °C Volume total de l'habitat (VH : m3) = Imputez le volume chauffé => VH : 250 m3 Surface Habitabile (SHAB) => SH : 100 m2	
- 1975 à 1982 (1ère réglementation thermique)	1.3 W/m3 °C	ΔT (Ecart de température Int. - Ext) - Base intérieure 18°C) ΔT : 28 K	
- 1983 à 1988 (2ème réglementation thermique)	1.1 à 1.3 W/m3 °C		
- 1989 à 2000 (3ème réglementation thermique)	0.9 à 1.1 W/m3 °C		
- RT 2000	0.75 à 0.9 W/m3°C		
- RT 2005	0.6 à 0.75 W/m3°C		
- Très bonne isolation	0.6 W/m3 °C		
- Bioclimatique	0.4 W/m3 °C		
Formule d'évaluation des déperditions =>	$D = G \cdot V \cdot \Delta T \cdot 0,001$	Déperditions globales estimées (D) 7,7 kW	

3 - CONSOMMATION D'ENERGIE

3-1 - Bilan de consommation énergétique & Calcul des dépenses de bois de chauffage

La consommation énergétique d'un habitat dépend bien entendu de la qualité de l'isolation thermique et de la rigueur climatique ainsi que la température intérieure souhaitée. D'autres paramètres en plus influencent également la consommation d'énergie pour le chauffage tels que :

- ❖ les pertes thermiques du système de chauffage comme la chute de rendement du générateur de chaleur, ainsi que les pertes thermiques de distribution du fluide chauffant, des émetteurs de chaleur, etc.
- ❖ les apports gratuits récupérés (Apports internes tels que les occupants, l'éclairage, etc. + apports solaires externes)



En règle générale, les chaudières fournissent à l'eau qu'une partie de l'énergie **chaleur** contenue dans le combustible.

La consommation d'énergie finale (ou réelle) = Quantité d'énergie utile pour le chauffage + Pertes chaudière, et distribution, etc.

Les degrés jours unifiés (DJU)

Les DJU sont additionnés sur une période de chauffage de 232 jours (du 1er Octobre au 20 Mai), pour chaque jour, le nombre de DJU est calculé en faisant la différence entre une température de référence 18°C et la moyenne des températures minimales et maximales du jour en question.

Le principe de calcul des Degrés-Jours-Unifiés ou DJU consiste à additionner, jour après jour, les écarts de température existant entre l'intérieur et l'extérieur. Par exemple, si, en moyenne de la journée, il fait 18° à l'intérieur et 5° degrés à l'extérieur, on parlera de 13 degrés-jours. De même 3 journées à 0°C extérieurs seront comptabilisés comme 54 Degrés-Jours.

$$DJU_{18} = \sum_0^{232} (18 - \theta_i)$$

- ❖ DJU18 = degrés jour unifiés sur une base de température intérieure de 18°C
- ❖ θ_i = température moyenne journalière θ (C'est une variable journalière)
- ❖ $i = (\theta_{min} + \theta_{max})/2$ (moyenne journalière)

Les déperditions de base (puissance maximale) dans une habitation au cours d'une saison de chauffe s'avère être nécessaire que quelques jours dans l'année et encore.

La température extérieure de base étant très rarement atteinte (voir bien souvent jamais certains hivers), la température extérieure moyenne en hiver étant plutôt de l'ordre de +1...6°C selon la zone climatique.

On peut aussi établir la température moyenne hivernale sur une période de chauffage (Période hivernale)

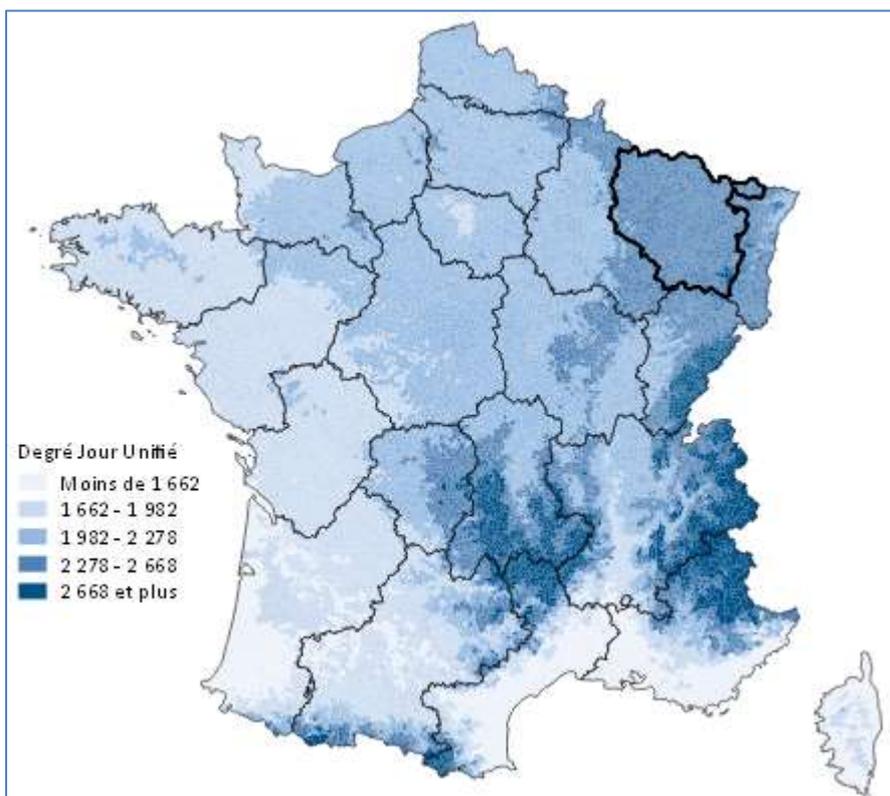
$$\text{Température moyenne hivernale} = 18 - \frac{DJU_{18}}{232 \text{ jours}}$$

Partant de là on peut établir le coefficient de pondération du nombres réel de remplissages du foyer de la chaudière en moyenne hivernale

$$\text{Prorata déperditions en moyenne hivernale} = \frac{DJU_{18} / 232 \text{ jours}}{18 - \text{Text_base}}$$

Ce coefficient de pondération sur les déperditions sera de l'ordre de 0,4 à 0,5 en moyenne hivernale

Les DJU (Degrés Jours Unifiés) annuels sont un indicateur de la rigueur climatique. Plus ils sont élevés, plus le climat est rigoureux et donc en conséquence plus le coût en consommation d'énergie sera importante. (Voir ci-dessous, la représentation graphique sur la carte de France).



Estimation des consommations de chauffage selon la méthode GV (Avant 2000)

La consommation d'énergie annuelle en chauffage d'une construction est calculées de la façon suivante :

$$Cch = \frac{Deper}{Ta - Te} \cdot 24 \cdot Dju \cdot (1 - F) \cdot \frac{1}{Rg} \quad \text{Ou} \quad Cch = G \cdot V \cdot 24 \cdot Dju \cdot (1 - F) \cdot \frac{1}{Rg}$$

Quand on a les déperditions
Sinon on utilise la méthode GV

- Cch : Consommation d'énergie finale ou réelle
- V = Volume du local chauffé (m3)
- G = Déperditions par les parois + déperditions par renouvellement d'air / volume du logement. (W/m3 °C)
- Ta : Température moyenne à l'intérieur des locaux (°C)
- Te : Température extérieure de base de référence (°C)
- ❖ F = Taux de couverture d'apports gratuits englobant à la fois les apports internes (éclairage, occupants, etc.) et apports externes. Les apports externes par ensoleillement et dépendent très fortement de l'importance des baies vitrées selon l'orientation du bâtiment (Les orientations telles que Sud, Sud-Est ; Sud-Ouest sont celles qui contribuent le plus à ces apports)
- ❖ Rg = Rendement général de l'installation de chauffage regroupant les différents rendements (générateur, distribution, régulation, émission)
- ❖ Dju : Degrés jours unifiés.

3-2 - Estimations de la consommation ECS

On peut estimer qu'en France, une personne consomme en moyenne par jour : 40 à 50 litres d'eau chaude sanitaire (ECS) à 45°...55°C.

Les rendements thermiques du chauffe-eau ou du générateur de chaleur sont variables selon le type d'énergie et de l'ancienneté de l'installation.

Les besoins énergétiques (Becs) en kWh/an liés à la consommation ECS ainsi que les pertes de distribution et autres peuvent se traduire de la façon suivante :

$$Cecs \text{ (kW en PCI)} = 1,163 \cdot \underbrace{(40 \text{ à } 50 \text{ litres / Pers}) \cdot Nbr \text{ pers} \cdot (T_{\text{puisage}}^{\circ\text{C}} - T_{\text{ef}}^{\circ\text{C}})}_{\text{Besoins énergétiques par jour}} \cdot \frac{1}{Re_{CS}} \cdot 350_{\text{jours}} \cdot 0,001$$

Avec :

- ❖ Cecs : Les besoins énergétiques (Becs) en kWh/an (PCI) pour l'eau chaude sanitaire;
- ❖ T_{puisage} : température de l'eau chaude sanitaire (55°C)
- ❖ T_{ef} : température de l'eau froide en °C (10°C par défaut)
- ❖ Re_{CS}: Rendement global (distribution, stockage et générateur de chaleur)

Dans le cas d'une installation bi-énergie, la puissance installée doit permettre de couvrir entre 80 et 90% des besoins.

Le tableau ci-dessous permet de synthétiser les besoins thermiques et de coûts, liés à la consommation ECS :

DEPENSES DE CONSOMMATION POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS)			
Données de base de l'installation ECS			
- Consommation unitaire journalière ECS par personne	50 l/pers.j	Bois	Electricité
- Consommation journalière ECS pour le ménage	200 l/j	50 l/pers.j	50 l/pers.j
- Durée d'utilisation annuelle en chauffage bois (Jours / an)	232 jours	232 jours/an	133 jours/an
- Consommation annuelle ECS pour le ménage (Qecs)	46,40 m ³ /an	2159 kWh/an	1237 kWh/an
- Besoins énergétiques utiles pour l'ECS sur l'année	3084 kWh/an	Reqs =>	1375 kWh/an
- Rendement chaudière bois + Ballon ECS + Distribution (Pertes thermiques)	70 %	Reqs =>	98 %
- Consommation énergétique finale pour l'ECS (Becs + Pertes diverses)	3084 kWh/an	Cecs Finale =>	31 kWh/m ² /an
- Ratios consommations chauffage sur la surface Habitable (SHAB) par an =>	31 kWh/m ² /an	SH : 100 m ²	14 kWh/m ² /an
Coût du kWh de l'énergie (PCI), avec bois en bûches & Electricité :			
	0,034 €/kWh		Elect. 0,108 €/kWh
- Estimation du coût de l'énergie consommée	Economie avec le chauffage bois = 187,69 €/an	104,26 €/an	148,49 €/an

Pour produire une eau chaude à partir d'une eau froide à 10°C, pour un foyer de 4 personnes avec 50 litres par personne et par jour, les besoins énergétiques (Qecs) sont sur une année avec une base de 350 jours et un rendement (Rg) de 70% (hors absences) de 3084 kWh/an, ce qui correspond à 31 kWh/m² pour un logement de 100 m² auquel il faudra rajouter 14 kWh/h pour la production ECS par l'électricité pendant la période estivale.

Pour un logement moyen de 100 m² en surface habitable, les consommations énergétiques en ECS sont estimées de 22 à 42 kWh/m².an selon le type d'énergie utilisée. Plus la surface habitable de l'habitat est faible et plus les ratios seront élevés.

L'estimation du coût énergétique liée à la consommation ECS peut varier de 175 à 320 € par an selon le type d'énergie pour une famille de 4 personnes et la méthode utilisée (Soit environ de 44 € à 80 € par personne).

3-3 - Rendement chaudière

La puissance nominale d'une chaudière est celle indiquée par le fabricant correspondant à l'énergie de chaleur qui sera fournie à l'eau de chauffage. Cette puissance nominale est inférieure à celle reçue par la chaudière à l'énergie libérée lors de la combustion du bois dans le foyer de la chaudière (Rendement de combustion)

Le rendement de combustion de la chaudière est la proportion de chaleur transférée du combustible à l'eau de chauffage.

On indique les rendements de chaudière sur le PCI. Ceci veut simplement dire que l'on compare les quantités de chaleur 'libérées' par le combustible à la quantité de chaleur fournie à l'eau.

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) : C'est l'énergie thermique libérée par la combustion d'un kg de combustible sous forme de *chaleur sensible*.

Le pouvoir calorifique supérieur (PCS) = **Energie Chaleur (PCI) + chaleur de condensation de la vapeur lors de la combustion.**

Rendements énergétiques obtenus par différents types d'appareils de combustion de bois

TYPE DE CHAUFFAGE	Rendement	Autonomie
Cheminée à foyer ouvert	<25%, voire <10%	1 à 3 h
Insert/foyer fermé	30 à 70%	5 à 10 h
Poêles à bûches		
· Poêle de conception ancienne	40 à 50%	qq heures
· Poêle classique	60 à 80%	6 à 12h
· Poêle cheminée (ou scandinaves)	60 à 80%	6 à 12h
· Poêle « turbo » à combustion améliorée	70%	6 à 12h
· Poêle de masse	75 à 95%	12h
· Poêle massif à stéatite	70 à 85%	12h max
Chaudière à bûches		
· A combustion montante et tirage naturel	55%	4 à 8h
· à combustion horizontale et tirage naturel	60%	4 à 8h
· à combustion inversée et tirage naturel	65%	4 à 8h
· à combustion inversée et tirage forcé	>70%	<12h
Bois granulés ou pellets		
Poêles à granulés	80 à 85%	12 à 72h
Chaudière à plaquettes ou granulés avec silo de stockage.	75 à 90%	Plusieurs mois

Les performances des chaudières se sont beaucoup améliorées ces dernières années (chaudières turbo, chaudières automatiques à plaquettes ou à granulés).

Le rendement thermique est le rapport entre la quantité d'énergie restituée et celle consommée, plus le rendement augmente plus la consommation de bois diminue pour une puissance de chauffage donnée.

3-4 - Calcul du coût prévisionnel de la consommation de combustible sur l'année

Il est intéressant de calculer le coût annuel de la consommation en combustible d'une installation thermique. Les besoins annuels correspondent à la fois à la fois au chauffage et à la production ECS (Si c'est le cas car très souvent la production ECS sera tout électrique).

$$\text{Consommation d'énergie finale} = \text{Chauffage (Cch)} + \text{Eau chaude sanitaire (Cecs)}$$

Quel que soit le type de chauffage, la consommation annuelle en kg peut être évaluée à partir de la relation suivante :

$$\text{Consommations bois (Kg)} = \frac{\text{Cch} + \text{Cecs (Besoins annuels)}}{\text{PCI}} \rightarrow \text{Consommations (Stères m}^3) = \frac{\text{Cch} + \text{Cecs}}{\text{PCI} \cdot \text{Densité}}$$

- ❖ Densité : Densité ou masse volumique de la stère de bois.
- ❖ PCI le pouvoir calorifique inférieur du combustible utilisé en kWh/kg.

Ratios et coûts de consommation en chauffage (Comparatif des prix de l'énergie)

Le niveau de *consommation d'énergie* (kWh /m² an) est exprimé par le ratio des consommations d'énergie thermique annuelle pour le chauffage et l'ECS divisé par la surface habitable de l'habitat.

Il n'est pas toujours facile de comparer les prix des énergies pour le chauffage car ces prix ne sont jamais exprimés dans les mêmes unités. (Euros par litres, par m³, par stères, c'est donc difficile de s'y retrouver.

Ce prix est ensuite converti en €/kWh utile en prenant en compte le rendement annuel moyen du système de chauffage (chaudière, réseau de distribution ...). Ceci permet d'effectuer un comparatif équitable avec d'autres types d'énergies.

Voici donc un tableau comparatif donnant les prix indicatifs des différentes types d'installations et de combustibles dans une unité commune, les €/kWh PCI. (Attention aux prix du bois, ils varient beaucoup d'une région ou période à l'autre)

Coût énergétique en chauffage bois (bûches, granulés, etc.)						
Type d'installation chauffage	Densité Humidité 20%	Pouvoir Calorique PCI)	Pouvoir Calorique PCI)	Rendement global	Prix Moyen combustible	€/kWh utile (TTC)
Chaudière à bois déchiqueté (Grosse installation)		2500 KWh/tonne		80%	46,000 €/tonne	0,023 €/kWh utile
Plaquettes de bois d'industrie	300,00 kg/m ³	3,60 KWh/kg	2200 KWh/tonne	80%	20,000 €/tonne	0,023 €/kWh utile
Chaudière à plaquettes de bois forestières	300,00 kg/m ³	3,60 KWh/kg	2760 KWh/tonne	80%	20,000 €/tonne	0,023 €/kWh utile
Chaudière à granulés / Briquettes de bois en vrac	600,00 kg/m ³	5,00 KWh/kg	4600 KWh/tonne	80%	120,00 €/m ³	0,050 €/kWh utile
Poêle à granulés de bois alimentés en sac		5000 KWh/tonne		70%	300,000 €/tonne	0,086 €/kWh utile
Chaudière à bûches feuillus (Densité 800 kg/m ³)	455 kg/Stère	3,85 KWh/kg	1752 KWh/Stère	70%	60,00 €/Stère	0,049 €/kWh utile
Chaudière à bûches résineux (500 kg/m ³)	325 kg/Stère	4,04 KWh/kg	1313 KWh/Stère	70%	45,00 €/Stère	0,049 €/kWh utile
Insert bois à bûches	400 kg/Stère	4,00 KWh/kg	1680 KWh/Stère	60%	55,00 €/Stère	0,057 €/kWh utile
Cheminée à bûches ouvertes avec récupérateur	400 kg/Stère	4,00 KWh/kg	1680 KWh/Stère	25%	55,00 €/Stère	0,138 €/kWh utile
Cheminée ouverte sans récupérateur	400 kg/Stère	4,00 KWh/kg		15%	55,00 €/Stère	0,229 €/kWh utile

En revanche, dans ce tableau il n'est pas pris en compte l'entretien (ramonage, contrat SAV) de ces appareils.

Le bois est une énergie peu coûteuse mais attention aux rendements des installations, à la qualité des bois et aux prix des produits "industriels" de type pellets. Dans le cas d'une cheminée ouverte, le rendement énergétique sera catastrophique.

Unités et mode d'achats

Le calcul des dépenses de consommation du bois de chauffage à bûches est effectué sur la stère de bois (1 m³ apparent y compris les espaces vides)

Le stère de bois occupe 1 mètre cube apparent et est composée de bûches de 1 mètre de long mais si on coupe ces bûches en 2 bûches de 50 cm de long, elles occupent 0.8 m³ car il est plus facile de combler les vides, donc le volume apparent est plus faible.

La masse volumique d'une stère (y compris les espaces vides), est en moyenne de :

- ❖ 350...450 kg/stère de bois pour les feuillus.
- ❖ 250...350 kg/stère de bois pour les résineux

Le tableau ci-dessous permet de synthétiser les besoins thermiques liés aux déperditions et des coûts qui en résultent en fonction du site météo choisi (DJU).

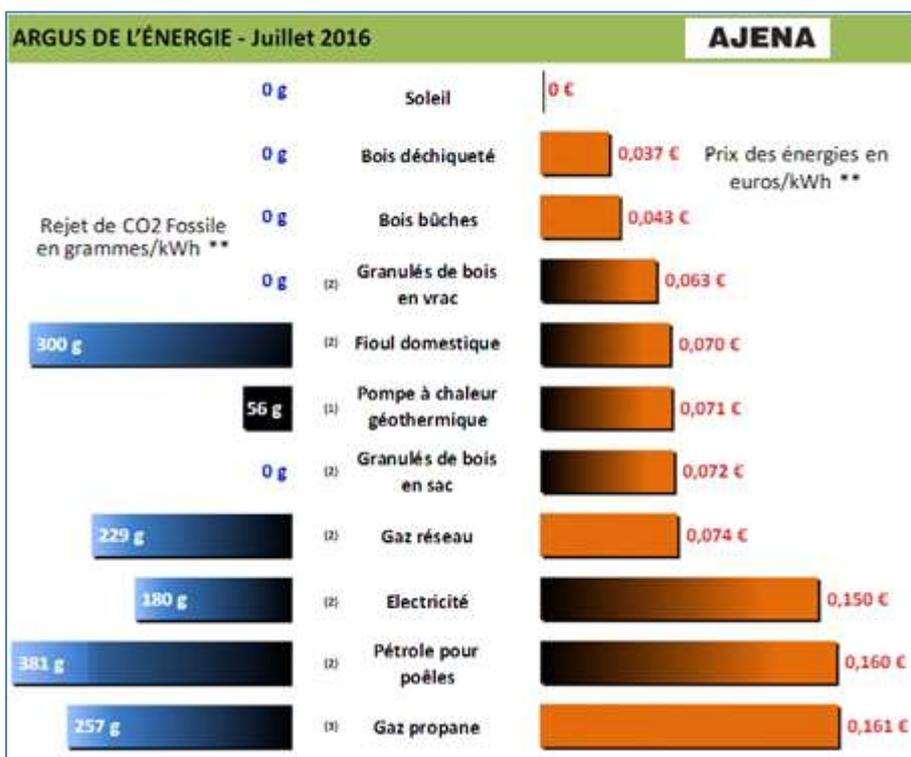
CALCUL BILAN D'EXPLOITATION SUR UNE PERIODE DE CHAUFFE HIVERNALE			
Les DJU sont additionnés sur une période de chauffage de 232 jours (du 1er Octobre au 20 Mai),	DJU bse 18°C =	DJU : 2508 K	
	Température moyenne hivernale =>	7,2 °C	
	Prorata des déperditions en moyenne hivernale par rapport aux déperditions de base =>	42%	
- Bilan thermique annuel = (24 . Gg . V . Dju . Bcg)		16 553 kWh/an	
- Coefficient réducteur (apports internes éclairage, apports externes ensoleillement, intermittence, etc.)		0,75	
- Quantité de chaleur utile sur l'année pour assurer le chauffage dans l'habitat	Bch (Energie utile)	12 415 kWh/an	
DEPENSES DE CONSOMMATION CHAUFFAGE (1 stère de bois = 1 m3 apparent y compris les espaces vides)			
Selon le type de bois utilisé =>	Granulés	Bûches (Feuillus)	Bûches (Résineux)
- Rendement de la chaudière sur le PCI (Rch) - (Voir avec le fabricant de la chaudière)	90% sur PCI	80% sur PCI	80% sur PCI
- Rendement global installation de chauffage (Distributions, émissions, etc.)	90%	90%	90%
Consommation thermique finale pour le chauffage (Cch sur PCI) =>	15 327 kWh/an	17 243 kWh/an	17 243 kWh/an
- Pouvoir calorifique du bois utilisé (PCI) (Valeur selon le bois et % humidité)	4,60 kWh/kg	3,90 kWh/kg	4,10 kWh/kg
- Consommation en kg de bois (Feuillus Pci 3,85 kWh/kg et Résineux Pci 4,04 kWh/kg)	3 332 kg granulés	4 421 kg de bois	4 205 kg de bois
- Densité bois sec (20%) : Feuillus (700kg/m3) et Résineux (500 kg/m3) - 1 stère = 0,65 m3	700 kg/m3	455 kg/Stère	325 kg/Stère
Valeur primaire d'énergie finale (PCI) par unité de combustible	4600 kWh/tonne	1775 kWh/Stère	1333 kWh/Stère
La stère de bois = 1 m3 avec des bûches de 1 m mais avec de bûches de 50 cm, elles occupent 0,8 m3 car il est plus facile de combler les vides, donc le volume apparent est plus faible	4,76 m3	9,717 m3/Stère	12,940 m3/Stère
Prix du bois combustible, TTC :	150,00 €/m3	60,00 €/Stère	48,00 €/Stère
Les bois durs (densité plus élevée) ont l'avantage de dégager une plus grande quantité de chaleur lors de leur combustion dans le foyer d'une chaudière contrairement aux bois « tendres »	713,98 €	583,01 €	621,12 €
Prix moyen énergie Finale en kWh PCI / an (Cch, pertes rendement non intégrés) =>	0,047 €/kWh	0,034 €/kWh	0,036 €/kWh
Prix moyen en énergie Utile kWh / an (Bch, intégration des pertes chaudière et distribution) =>	0,056 €/kWh utile	0,047 €/kWh utile	0,050 €/kWh utile
Ratios consommations chauffage sur la surface Habitable (SHAB) par an =>	SH 100 m2 153 kW/m2 an	172 kW/m2 an	172 kW/m2 an
Nota : La consommation de bois de chauffage en résineux est supérieure qu'en bois de feuillus mais le prix de la stère en feuillus est plus élevé (Compter 20 à 40% selon les tarifs fournisseurs)			

Nota : La consommation de bois de chauffage en résineux est supérieure par rapport au bois de feuillus mais le prix de la stère en feuillus est plus élevé (Compter 15 à 40% selon les tarifs fournisseurs)

ARGUS DE L'ÉNERGIE - Avril 2016 (Ajena)

Sources : www.ajena.org/ressources/argus-energie.htm

Le coût de chaque énergie est exprimé en euros TTC par kWh (kilowatt-heure) et tient compte du rendement des appareils produisant et émettant de la chaleur. En revanche, il ne tient compte ni de l'investissement, ni de l'entretien (ramonage, contrat SAV) de ces appareils.



- ❖ Bois déchiqueté : 0,037 €/kWh - Descriptif : Rdt moyen 80% - 104 € TTC la tonne (TVA 10%) - 3 500 kWh/t - Remarque : Vu les conditions de livraisons et de stockage, le bois déchiqueté convient rarement au chauffage individuel. En revanche, le coût de la chaleur fournie incite à étudier son utilisation lors d'un projet collectif de plusieurs logements.
- ❖ Bois en bûches: 0,043 €/kWh – Descriptif : Rdt moyen 70 % - 48 € TTC le stère en quartiers de hêtre sciés en 33 cm (TVA 10 %) -1600 kWh/stère
- ❖ Granulés de bois en vrac : 0,063€/kWh - Descriptif: Rdt moyen 85 % - 245 € TTC la tonne - livraison 3 tonnes (TVA 10 %)
- ❖ Granulés de bois en sac : 0,071€/kWh - Descriptif: Rdt moyen 85 % diamètre 6 mm, conditionnés en sacs de 15 kg livrés par palette entière (70 ou 66 sacs). 277 € TTC la tonne (TVA 10 %) - 4 600 kWh/tonne. Astuce : pensez au big-bag de 1000 kg vendu à un prix attractif.

En termes de tendances, on note que le prix de l'électricité connaît actuellement une hausse soutenue, tandis que les prix des combustibles à base d'énergies fossiles (gaz naturel, fioul, propane) ont engagé une baisse suite à la chute des cours du pétrole et du prix du gaz sur les marchés de gros. On s'attend à une stabilisation ou à une légère hausse du prix de ces énergies dans le courant de 2016.

3-5 - L'étiquette DPE indiquant la classe énergétique

L'unité utilisée pour caractériser la consommation d'énergie dans un habitat est le kWh par mètre carré de surface habitable par an.

Le DPE donne une estimation de la consommation annuelle d'énergie (en kWh/m² par an) afin de mieux évaluer la facture à payer. Sont pris en compte : le chauffage, l'eau chaude sanitaire (ECS), le refroidissement et la ventilation. Le nombre d'occupants, le climat local et l'isolation sont aussi comptabilisés.

En divisant la consommation moyenne de chauffage en kWh / an par la surface habitable (SHAB) de l'immeuble, on obtient la consommation de chauffage en kWh / m² SHAB.an.

Les performances énergétiques vont de A pour les logements économes (niveau du label BBC) à G pour les logements les plus gourmands en énergie.

Pré-diagnostic de performance énergétique pour les maisons (Ceci n'est donné qu'à titre indicatif, donc non valable pour le DPE)			
Chauffage (Cch) (Consommation & Ratio énergie sur SHAB)	17243 kWh/an	172 kW/m ² an	← Ratio consommation énergie en chauffage
Eau chaude sanitaire (Consommation & Ratio énergie sur SHAB)	4459 kWh/an	45 kW/m ² an	← Ratio consommation énergie en ECS
L'étiquette Energie en kWhEP/m ² .an	Surf. Habitable => SH : 100 m ²	217 kW/m ² an	
<51 A	Bioclimatique (Bâtiment économe)		L'étiquette Energie évalue la consommation annuelle d'énergie (en kWh/m ² par an) afin de mieux évaluer la facture à payer. Sont pris en compte : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement et la ventilation. Le nombre d'occupants, le climat local et l'isolation sont aussi comptabilisés. Les performances énergétiques vont de A pour les logements économes (niveau du label BBC) à G pour les logements les plus gourmands en énergie
51 à 90 B	RT 2005		
91 à 150 C	RT 2000		
151 à 230 D	De 1983 à 1988 (2ème réglementation thermique)	←	
231 à 330 E	De 1975 à 1982 (1ère réglementation thermique)		
331 à 450 F	De 1955 à 1974 (construction lourde non isolée)		
>450 G	De 1955 à 1974 (Sans isolant) - Bât. énergivore		

Note : Tous les labels sont comptabilisés en énergie primaire. En France, on considère les équivalences suivantes :

- 1 kWh électrique (Facturé au compteur EDF) = 2.58 kWh_{ep} de façon à prendre en compte le rendement de production et de transport de l'électricité.
- 1 kWh (énergie, fioul, gaz, bois, etc.) = 1 kWh_{ep} (en énergie primaire)

Le chauffage électrique à consommation utile équivalente (kWh/m².an) par rapport à un chauffage gaz, fuel, bois, etc. est dégradé pratiquement de 2 rangs à cause du coefficient de majoration de 2,58 (Coefficient de conversion en énergie primaire en kWhHP/m².an)

FACTEURS DE CONVERSION DES ÉNERGIES (DPE)

Les compteurs d'énergie affichent une quantité d'énergie finale PCS. Le diagnostiqueur convertit ces quantités en énergie finale PCI suivant les facteurs mentionnés dans la présente annexe. Il convertira ensuite les valeurs d'énergie finale PCI en énergie primaire (voir le 2 de l'annexe 3).

Plaquettes d'industrie	2 200 kWh PCI par tonne
Plaquettes forestières	2 760 kWh PCI par tonne
Granulés, briquettes	4 600 kWh PCI par tonne
Bûches	1 680 kWh PCI par stère

Environnement (Écologie)

L'utilisation de bois-énergie présente plusieurs intérêts d'un point de vue environnemental :

- ❖ Une préservation des ressources fossiles épuisables,
- ❖ Un bilan relativement neutre sur le plan des émissions de gaz à effet de serre, le CO₂ rejeté lors de la combustion correspondant à celui qui a été capté par l'arbre pendant sa croissance.

3-6 - Exemple de la feuille de calcul du programme ThermaBois

CALCUL DES DÉPERDITIONS GLOBALES D'UN HABITAT			
Date ou période de construction de l'habitat		G ou GV estimé	Estimation des déperditions du volume chauffé
- 1955 à 1974 (Sans isolant)	2,3 W/m ³ °C		Selection du site : 3 - ALLIER - VICHY N° Départ : 3
- 1955 à 1974 (isolants combles + Calfoutrement)	1,8 W/m ³ °C		3 - ALLIER - VICHY Alt. site : 430m
- 1955 à 1974 (isolants combles & murs + Calfoutrement murs)	1,5 W/m ³ °C		T° température extérieure de base à -200m = -8°C
- 1975 à 1982 (1ère réglementation thermique)	1,3 W/m ³ °C		Correction température à 430 m d'altitude = -10,0 °C
- 1983 à 1988 (2ème réglementation thermique)	1,1 à 1,3 W/m ³ °C		Altitude que vous voulez (300m en + ou -) => -9°C
- 1989 à 2000 (3ème réglementation thermique)	0,9 à 1,1 W/m ³ °C		Déperditions globales connues de l'habitat (en kW) =>
- RT 2000	0,75 à 0,9 W/m ³ °C	[GV estimé : 0 W/m ³ °C]	Si on impose le G correspondant => 1,10 W/m³ °C
- RT 2005	0,6 à 0,75 W/m ³ °C	Volume total de l'habitat (VH - m ³) =	Imputez le volume chauffé => VH : 250 m³
- Très bonne isolation	0,6 W/m ³ °C		Surface habitable (SHAB) => SH : 100 m²
- Bioclimatique	0,4 W/m ³ °C	ΔT (Ecart de température Int. - Ext) - Base intérieure 18°C)	ΔT : 28 K
Formule d'évaluation des déperditions => $D = G \cdot V \cdot \Delta T \cdot 0,001$		Déperditions globales estimées (D) 7,7 kW	
CALCUL BILAN D'EXPLOITATION SUR UNE PERIODE DE CHAUFFE HIVERNALE			
Les DJU sont additionnés sur une période de chauffage de 232 jours (du 1er Octobre au 20 Mar),		DJU base 18°C =	DJU : 2508 K
		Température moyenne hivernale =>	7,2 °C
		Prorata des déperditions en moyenne hivernale par rapport aux déperditions de base =>	42%
- Bilan thermique annuel = (24 · Gg · V · Dju · Bcg)			16 553 kWh/an
- Coefficient réducteur (apports internes éclairage, apports externes ensoleillement, intermittence, etc.)			0,75
- Quantité de chaleur utile sur l'année pour assurer le chauffage dans l'habitat		Bch (Energie utile)	12 415 kWh/an
DEPENSES DE CONSOMMATION CHAUFFAGE (1 stère de bois = 1 m ³ apparent y compris les espaces vides)			
Selon le type de bois utilisé =>			
	Granulés	Bûches (Feuillus)	Bûches (Résineux)
- Rendement de la chaudière sur le PCI (Rch) - (Voir avec le fabricant de la chaudière)	90% sur PCI	80% sur PCI	80% sur PCI
- Rendement global installation de chauffage (Distributions, émissions, etc.)	90%	90%	90%
Consommation thermique finale pour le chauffage (Cch sur PCI) =>	15 327 kWh/an	17 243 kWh/an	17 243 kWh/an
- Pouvoir calorifique du bois utilisé (PCI) (Valeur selon le bois et % humidité)	4,60 kWh/kg	3,90 kWh/kg	4,10 kWh/kg
- Consommation en kg de bois (Feuillus Pci 3,85 kWh/kg et Résineux Pci 4,04 kWh/kg)	3 332 kg granulés	4 421 kg de bois	4 206 kg de bois
- Densité bois sec (20%) : Feuillus (700kg/m ³) et Résineux (500 kg/m ³) - 1 stère = 0,65 m ³	700 kg/m ³	455 kg/Stère	325 kg/Stère
Valeur primaire d'énergie finale (PCI) par unité de combustible	4600 kWh/tonne	1775 kWh/Stère	1333 kWh/Stère
La stère de bois = 1 m ³ avec des bûches de 1 m mais avec de bûches de 50 cm, elles occupent 0,8 m ³ car il est plus facile de combler les vides, donc le volume apparent est plus faible	4,76 m³	9,717 m³/Stère	12,940 m³/Stère
Prix du bois combustible TTC	150,00 €/m³	80,00 €/Stère	48,00 €/Stère
Les bois durs (densité plus élevée) ont l'avantage de décharger une plus grande quantité de chaleur lors de leur combustion dans le foyer d'une chaudière contrairement aux bois « tendres »	713,98 €	583,01 €	621,12 €
Prix moyen énergie finale en kWh PCI / an (Cch, pertes rendement non intégrés) =>	0,047 €/kWh	0,034 €/kWh	0,036 €/kWh
Prix moyen en énergie Utile kWh / an (Bch, intégration des pertes chaudière et distribution) =>	0,058 €/kWh utile	0,047 €/kWh utile	0,050 €/kWh utile
Ratio consommations chauffage sur la surface habitable (SHAB) par an =>	SH : 100 m ²	153 kWh/m ² an	172 kWh/m ² an
Nota : La consommation de bois de chauffage en résineux est supérieure qu'en bois de feuillus mais le prix de la stère en feuillus est plus élevé (Compter 20 à 40% selon les tarifs fournisseurs)			
DEPENSES DE CONSOMMATION POUR LA PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS)			
Données de base de l'installation ECS			
- Consommation unitaire journalière ECS par personne	50 l/pers j	50 l/pers j	50 l/pers j
- Consommation journalière ECS pour le ménage	4 pers	200 l/j	200 l/j
- Durée d'utilisation annuelle en chauffage bois (Jours / an)	232 jours	232 jours/an	133 jours/an
- Consommation annuelle ECS pour le ménage (Qecs)	46,40 m ³ /an	46,40 m ³ /an	26,00 m ³ /an
- Besoins énergétiques utile pour l'ECS sur l'année	Beccs Utile =>	2159 kWh/an	1237 kWh/an
- Rendement chaudière bois + Ballon ECS + Distribution (Pertes thermiques)	Reccs =>	78 %	90 %
- Consommation énergétique finale pour l'ECS (Beccs + Pertes diverses)	Cecs Finale =>	3084 kWh/an	1375 kWh/an
- Ratio consommations chauffage sur la surface habitable (SHAB) par an =>	SH : 100 m ²	31 kWh/m ² an	14 kWh/m ² an
Coût du kWh de l'énergie (PCI), avec bois en bûches & Electricité :			
- Estimation du coût de l'énergie consommée	Economie avec le chauffage bois = 187,69 €/an	104,26 €/an	148,49 €/an
Pré-diagnostic de performance énergétique pour les maisons (Ceci n'est donné qu'à titre indicatif, donc non valable pour le DPE)			
Chauffage (Cch) (Consommation & Ratio énergie sur SHAB)	17243 kWh/an	172 kWh/m ² an	← Ratio consommation énergie en chauffage
Eau chaude sanitaire (Consommation & Ratio énergie sur SHAB)	4458 kWh/an	45 kWh/m ² an	← Ratio consommation énergie en ECS
L'étiquette Energie en kWhEPI/m ² an	Surf. habitable =>	SH : 100 m²	217 kWh/m² an
<51 A	Bioclimatique (Bâtiment économe)		L'étiquette Energie évalue la consommation annuelle d'énergie (en kWh/m ² par an) afin de mieux évaluer la facture à payer. Sont pris en compte : le chauffage, l'eau chaude sanitaire, le refroidissement et la ventilation. Le nombre d'occupants, le climat local et l'isolation sont aussi comptabilisés. Les performances énergétiques vont de A pour les logements économes (niveau du label BBC) à G pour les logements les plus gourmands en énergie
51 à 90 B	RT 2005		
91 à 150 C	RT 2000		
151 à 230 D	De 1983 à 1988 (2ème réglementation thermique)		
231 à 330 E	De 1975 à 1982 (1ère réglementation thermique)		
331 à 450 F	De 1955 à 1974 (construction lourde non isolée)		
>450 G	De 1955 à 1974 (Sans isolant) - Bât. énergivore		

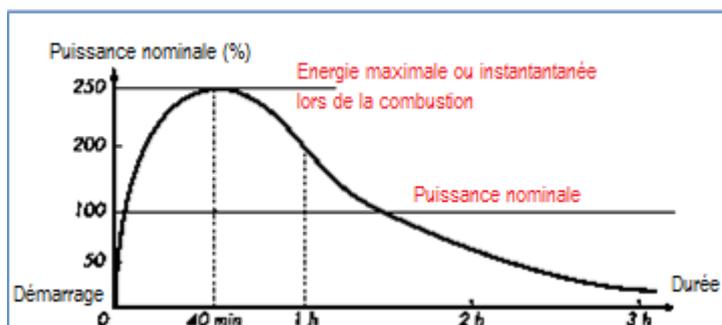
4 - DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUDIERE BOIS

4-1 - Préambule

Puissance nominale des appareils de chauffage au bois

La puissance des appareils de chauffage utilisant des combustibles solides (charbon, bois comme en particulier les bûches ou briquettes) varie fortement sur la durée car l'énergie dégagée par la combustion d'un feu de bois par exemple n'est pas du tout constante.

L'énergie utile produite lors de la combustion d'une charge de bois dans la chaudière peut être représentée sur la durée de fonctionnement de la manière suivante.



Au travers de cette courbe lors de la combustion d'un feu de bois comme par exemple dans un foyer, un insert ou un poêle, on constate que l'énergie maximale émise peut atteindre 250% par rapport à la valeur de la puissance nominale de l'appareil indiquée par le fabricant. Par exemple un appareil d'une puissance nominale de 20 kW, peut atteindre sur un temps relativement court une puissance éphémère maximale de 50 kW pour ensuite décroître progressivement sur quelques heures.

La puissance nominale est la seule valeur qu'il faut retenir lors d'un achat d'une chaudière bois, d'un insert, d'un poêle, etc. – Normes EN 13229 (foyer fermé), EN 13240 (poêles à bois) et EN 14785 (poêles à granulés de bois).

Cette puissance nominale en kW est indirectement lié au concept du foyer de la chaudière bois et de la combustion du volume de chargement bois. La puissance indiquée par le fabricant correspond à la moyenne de la puissance délivrée lors d'un chargement nominal.

Choix de la puissance chaudière

Les installations de chauffage avec une chaudière à bois peuvent assurer la totalité des besoins thermiques (Chauffage + Eau Chaude Sanitaire) d'une habitation.

Tout d'abord, il faut déterminer les déperditions thermiques du bâtiment concerné par rapport à la température extérieure de base (Comme indiqué dans un chapitre précédent). La qualité d'isolation de la maison joue un rôle important dans le calcul de la puissance de chauffage.

Contrairement aux appareils de chauffage gaz ou fuel où le débit de combustible est contrôlé, une chaudière bois n'est pas dimensionnée de la même façon.

Le dimensionnement de la chaudière dépend en particulier du nombre maximal de chargements (En période de grand froid) que l'utilisateur souhaite faire chaque jour. En fait plus le nombre de chargements en bois du foyer de la chaudière sera limité et plus il va falloir produire de la chaleur lors de la combustion dans le foyer de la chaudière et stocker le surplus de cette énergie thermique libérée en trop vers le réservoir tampon pour être ensuite réutilisée pour maintenir le chauffage des différents locaux lors des phases de ralenti de la chaudière.

Les durées habituelles de combustion d'une charge (à puissance nominale) sont de l'ordre de 3 à 6 heures selon les modèles, ce qui correspond à 4 à 8 chargements par jour. En effet, avec une chaudière non surdimensionnée et une durée de combustion de 4 heures, 6 chargements par jour sont nécessaires.

Si pour l'utilisateur, la limite acceptable du nombre de charges quotidiennes ne doit pas dépasser 2 voire 3 lors des jours les plus froids, la chaudière sera largement surdimensionnée (facteur de surdimensionnement compris entre 1,5 et 2,5).

En fonction de l'autonomie recherchée, on peut stocker l'énergie calorifique dans un ballon tampon par hydroaccumulation, pour plus de confort et de durée entre deux chargements, .



Si la puissance nominale (en kW) de la chaudière bois doit être supérieure aux déperditions, mais c'est surtout le volume du foyer qui a son importance. Une chaudière de 20 kW avec un foyer de remplissage de 60 litres ne dégagera pas autant d'énergie thermique qu'une autre avec un foyer de 100 litres, donc il faudra prévoir plus de remplissage de bois par jour.

Si durant les jours les plus froids, l'utilisateur accepte de charger plusieurs fois sa chaudière dans la journée (4 ou 5 fois ou plus durant la journée), la puissance de la chaudière sera peu surdimensionnée par rapport aux déperditions. (facteur de surdimensionnement limité à 1,5). Le ballon d'hydroaccumulation sera relativement petit mais va permettre à la chaudière de se décharger sans phases de ralenti.

4-2 - Méthodes de dimensionnement d'une chaudière bois

Dans le cas d'une chaudière à bois on peut définir sa puissance en fonction du nombre de charges à envisager par jour ce qui déterminera la capacité d'hydro-accumulation. Plus le nombre de charge sera important et plus le volume ballon sera réduit.

Puissance nominale (Utile) de la chaudière

Le choix de la puissance utile à installer de la chaudière bois doit pouvoir assurer le chauffage du bâtiment et la production d'eau chaude sanitaire (ECS) le cas échéant.

La puissance nominale (PN) de la chaudière choisie doit être dans tous les cas supérieure de :

$$PN \text{ (en kW)} > \left(P_{dep} + \frac{Q_{ecs} \cdot \Delta T \cdot 1,163}{8 \text{ (heures)}} \right) \cdot 0,001$$

Option ECS bois

- ❖ P_{dep} : Déperditions du bâtiment,
- ❖ 8 heures : Durée moyenne de réchauffage de l'ECS généralement adoptée,
- ❖ Q_{ecs} : Consommation ECS journalière (si l'option ECS par la chaudière bois est retenue),
- ❖ ΔT = Ecart de température d'amenée d'eau froide et la température de distribution ECS.

Quantifier l'énergie utile nécessaire pour un chargement de bois (QE)

Le facteur essentiel de dimensionnement des chaudières à bûches n'est pas la puissance de la chaudière mais l'énergie utile produite par une charge.

La quantité d'énergie utile qu'il va falloir produire lors de la combustion d'une charge de bois (QEcharge en kWh) dans le foyer de la chaudière bois sera:

$$QE_{charge} = \frac{\text{Déper} \cdot 24 + Q_{ecs} \cdot \Delta T \cdot 1,163}{\text{Nbre_de charges}} \cdot 0,001 \text{ en kWh}$$

En fonction de la période la plus froide, le nombre de charges journalières du foyer de la chaudière est déterminé par le confort d'exploitation souhaité. Il sera :

- ❖ 4 à 6 chargements par jour (contrainte de présence dans la journée pour recharger la chaudière)
- ❖ 2 tout au plus permettant d'assurer un confort d'utilisation (Ce qui correspond plus ou moins à un chargement en moyenne hivernale)

Calcul de la charge de bois minimale de la chaudière

La puissance nominale (Utile) d'une chaudière est celle indiquée par le fabricant et qui sera fournie à l'eau de chauffage. Elle est inférieure à celle reçue par la chaudière (Rch) fournie par le combustible lors de la combustion.

La masse de bois (Mbois) consommé durant une charge dans le foyer de la chaudière doit être au moins de :

$$M_{bois} (\text{Mini}) \geq \frac{QE_{charge}}{Rch \cdot PCI} \text{ (Masse de bois de chargement en Kg)}$$

- ❖ QEcharge : Quantité d'énergie générée lors d'une charge de bois en kWh
- ❖ Rch : Rendement de la chaudière
- ❖ PCI : Pouvoir calorifique inférieur du combustible utilisé en kW/kg.

Les fabricants de chaudières ne donnent pas systématiquement la masse d'une charge de bois (Mbois). Sur la fiche technique d'un fabricant de chaudière on peut avoir par exemple, seulement la capacité de chargement en bois de la chaudière.

Dans ce cas là, le volume utile de chargement de la charge en bois (VUbois) doit être supérieur à :

$$VU_{bois} (\text{Mini}) \geq \frac{QE_{charge}}{Rch \cdot PCI \cdot \tau_{bois}} \text{ [Volume Utile de chargement bois en Litres]}$$

- ❖ τ_{bois} : Ratio de remplissage bois du foyer de la chaudière (Densité bois / Volume : en Kg/litre)

Les bois durs (masse volumique importante) ont l'avantage de dégager une plus grande quantité de chaleur (avec un volume de bois identique) lors de leur combustion dans le foyer d'une chaudière contrairement aux bois dits « tendres », principalement issus des résineux tels qu'épicéas ou sapins.

Le volume occupé par les bûches dans le foyer est plus élevé, les ratios de remplissage en bois « masse/volume foyer », généralement adopté sont :

- ❖ Pour les résineux : 0,29 kg/litre
- ❖ Pour les feuillus : 0,35 kg/litre

Energie utile restituée (QEbois utile) dans une charge de bois de la chaudière choisie

L'énergie utile restituée durant la combustion d'une charge de bois (QEbois) est de :

$$QE_{bois_utile_restituée} = VU_{bois} \cdot Rch \cdot PCI \cdot \tau_{bois} \text{ en kWh}$$

- ❖ VUbois : Volume utile de chargement de la charge en bois de la chaudière (en litres)

Durée de combustion selon la puissance nominale de la chaudière :

A noter que la puissance nominale ou « dite utile » donnée par le fabricant de la chaudière correspond approximativement à la moyenne de l'énergie thermique délivrée lors de la combustion d'un chargement complet du foyer de la chaudière.

La durée de combustion complète (Tc) peut être estimée plus ou moins de la manière suivante :

$$\text{Temps de combustion estimé lors d'une charge complète (Tc)} = \frac{QE_{\text{bois_utile}} \text{ (énergie restituée du foyer chaudière)}}{\text{Puissance nominale chaudière (PN en kW)}}$$

4-3 - Calcul du volume en eau du réservoir d'hydro-accumulation

Les chaudières à bûches à alimentation manuelle doivent être exploitées le maximum de temps à pleine charge. Le fractionnement des chargements en combustible est difficile et dangereux, ainsi les fabricants préconisent fortement l'installation d'une chaudière avec hydro-accumulation

L'avantage du ballon tampon est qu'il permet de faire fonctionner la chaudière à son **régime nominal**. Si ce dernier est correctement dimensionné, il sera capable d'absorber toute la chaleur produite par la chaudière à pleine puissance, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de combustion.

Le stockage d'énergie dans le réservoir se fait par stratification thermique, l'eau chaude a tendance à se déplacer vers le haut, alors que l'eau froide descend vers le bas du réservoir.

Selon l'usage auquel on la destine (35...40°C pour le chauffage par le sol, 60°C pour l'eau chaude sanitaire), la chaleur est conservée dans une strate spécifique. Dans le réservoir, la température peut grimper jusqu'à 95°C, ce qui permet de stocker une grande quantité d'énergie.

$$V = \frac{QE_{\text{bois_utile}} \cdot 0,86}{\Delta T \text{ (Ecart entre } T^{\circ} \text{ stockage et } T^{\circ} \text{ retour distribution)}} \text{ en m}^3$$

Donc plus la température de retour du circuit chauffage vers le tampon est basse et plus la quantité d'énergie d'énergie disponible pour le chauffage sera importante.

NOTA : Une directive allemande « BImSchV (first Federal EmissionControl Act) » exige un minimum de 55 litres par kW de puissance chaudière (nominale). Ceci correspond en fait à l'équivalent d'un ΔT de 15,64 K et si on raisonne sur une durée de chauffe en moyenne de 3,5 h ce qui correspond à l'équivalent d'une montée en température de 54,7 K sans demande de chauffage.

$$V = \text{Max} \left(0,055 \cdot PN ; \frac{QE_{\text{bois_utile}} \cdot 0,86}{\Delta T} \right) \text{ en m}^3$$

❖ PN : Puissance nominale de la chaudière

La température de départ de la chaudière peut être considérée égale à 90°C. La différence de température « ΔT » à plein régime généralement est de :

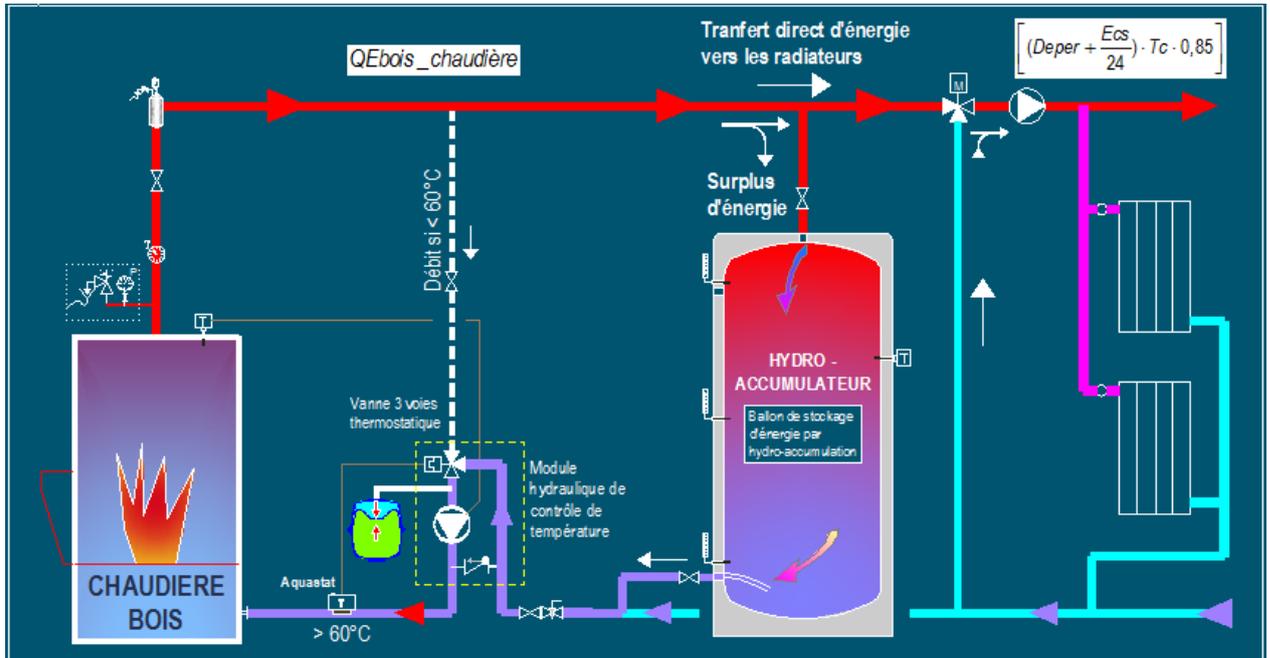
- ❖ 50 K si on dessert un chauffage basse température comme un plancher chauffant par exemple et si on ne produit pas de l'ECS par bain-marie.
- ❖ 40 K si on dessert un réseau de radiateurs moyenne température et si on ne produit pas d'ECS par bain-marie.
- ❖ 30 K si on alimente un réseau de radiateurs à température élevée ou si on produit de l'ECS par bain-marie (une deuxième cuve immergée en **tank-in-tank**)

Le temps de chauffe du ballon dépend de la taille de celui-ci et de la puissance de la chaudière. Pour 1 m³ d'eau stockée et dont la température baisse de 1°C, la quantité de chaleur restituée sur une heure est de 1,163 kW et donc pour :

- ❖ une chute de température de 10°C ce qui correspond à une quantité d'énergie de 11,163 kWh soit en moyenne l'équivalent aux déperditions en général d'un habitat ancien.

- ❖ une exploitation en chauffage avec une décharge thermique passant de 90 à 40°C, soit un ΔT de : 50 K = 58,15 kWh en énergie thermique disponible dans le cadre d'un chauffage basse température (Ex : Chauffage par le sol). Ceci correspond soit à 4 heures et très souvent beaucoup plus en période de très grand froid.

Lors de la phase de la durée combustion dans le foyer de la chaudière une grande partie de l'énergie en période de grand froid est envoyée directement par le réseau de distribution de chaleur vers les émetteurs et qui ne va pas donc pas dans le ballon de stockage d'énergie (Réservoir 2 tubes).



D'où la possibilité d'appliquer la formule suivante

$$V_{cor} = \text{Max} \left(0,055 \cdot PN ; \frac{QE_{bois_utile} - [Deper \cdot Tc \cdot 0,85]}{\Delta T \cdot 1,163} \right) \text{ en m}^3$$

- ❖ T_c : Durée de combustion complète (T_c) lors d'une charge complète de bois
- ❖ QE_{bois_utile} : Energie utile restituée dans une charge de bois de la chaudière choisie
- ❖ 0,85 : Coefficient atténuateur. Dans la phase finale de combustion la puissance de la chaudière peut être inférieure aux besoins chauffage et en outre la stratification de température n'est pas forcément parfaite.

Un ratio compris entre 55 à 100 litres par kW de puissance nominale sur l'eau de la chaudière semble être raisonnable. En fait tout dépend du rapport de la puissance nominale de la chaudière et du volume de chargement en bois du foyer d la chaudière (Quantité d'énergie restituée durant la combustion d'une charge de bois) ainsi que des types d'émetteurs de chauffage.

Un stockage d'eau trop important avec une chaudière faiblement surdimensionnée par rapport aux déperditions peut devenir un handicap avec des émetteurs de chauffage à haute température (90/70°C) en période de grand froid car il faudra beaucoup de temps pour assurer une remontée en température du réservoir dans un délais raisonnable..

Par exemple avec 120 litres par kW de puissance chaudière, ce qui sera correspond à un ΔT de 7,2 K et si on raisonne sur une durée de chauffe en moyenne de 3,5 h ce qui sera l'équivalent d'une montée de température de 25,08 K (hors demande de chauffage) et si en outre on doit assurer le chauffage en même temps, on se retrouve donc dans une situation ou la remontée en température sera très lente du stockage d'eau et donc par conséquence d'être dans l'impossibilité d'assurer correctement le chauffage des différents locaux lors d'une journée de très grand froid avec des radiateurs dimensionnés avec un circuit chauffage en 90/70°C ce qui sera ne sera pas le cas avec un

chauffage basse température (Chauffage sol) ou on pourra toujours assurer normalement le chauffage avec de l'eau dans le ballon à 40°C.

En règle de base pour le calcul de la capacité du réservoir tampon pour les systèmes de chauffage bois, il faudrait si possible ::

- ❖ Un minimum de 55 litres par kW de puissance nominale chaudière (20 litre / kW pour les chaudières à pellets)
- ❖ Avec des réservoirs tampons standard, ne pas aller au-delà de 100...110 litres par kW de puissance nominale chaudière pour un chauffage à haute température.

Pré-dimensionnement de la chaudière (Feuille de calcul du programme ThermaBois)

Soit le pavillon de construction relativement récente avec

- ❖ des déperditions de 7,7 kW
- ❖ Production ECS avec 200 litres/jour = 9,3 kWh sur 8 heures, soit une puissance jour de 1,16 kW en plus
- ❖ Utilisation de bois feuillus (0,35 kg/litre)
- ❖ Circuit de distribution chauffage 65/50°C

PRE-DIMENSIONNEMENT D'UNE INSTALLATION CHAUFFAGE BOIS (Chaudières bûches uniquement)			
Calcul thermique d'une chaudière à partir des déperditions et du nombre de chargement bois souhaitez			
Déperditions du bâtiment (T° extérieure de base de référence) =>		7,70 KW (Déperditions)	
Besoins thermique ECS (Si l'option ECS bois est retenue) : 200 l/j		9,30 KWh (ECS jour)	
Besoins énergétique utile par jour (QEjour : chauffage + ECS) =>		194,10 KWh jour	
Puissance utile minimale de la chaudière (Chauffage + ECS / 8h) : 1,16 KW (ECS)		8,86 KW (Déper + ECS sur 8h)	
Rendement de la chaudière sur PCI (Rch) - (Voir avec le fabricant) =>		85% sur PCI	
Autonomie de fonctionnement de l'installation souhaitée :			
	Autonomie réduite	Autonomie moyenne	Autonomie élevée
Nombres de remplissage du foyer de la chaudière par jour =>		6,0 charges/jour	4,0 charges/jour
Durée d'autonomie de fonctionnement du chauffage par très grand froid		4,0 h	6,0 h
Pouvoir calorifique du bois utilisé (Résineux Pci 4.04 kWh/kg / Feuillus Pci 3.3) : Feuillus (3.9 kWh/kg)		3.90 kWh/kg	3.90 kWh/kg
Ratio de remplissage du foyer de la chaudière : Densité bois / Volume (Kg/litre)		0,350 kg/litre	0,350 kg/litre
Energie finale nécessaire lors de la combustion d'une charge de bois (QE)		36,06 KWh	57,09 KWh
Masse de bois consommé lors d'une charge dans la chaudière (Mbois) =>		≥ 9,76 kg bois	≥ 14,64 kg bois
Volume utile équivalent de la charge en bois (Foyer) =>		27,9 litres	41,8 litres
Pré-sélect puissance nominale chaudière	- Ratio de combustion : puissance nominale (PN) / Volume chargement bois (M)	0,25 kW/L	0,25 kW/L
	- Evaluation de la puissance nominale ou utile de la chaudière à installer	8,86 kW	10,46 kW
Pré-Dimensionnement : Volume du ballon d'hydroaccumulation :			
Energie utile restituée durant la combustion d'une charge de bois : QEbois		32,35 KWh	48,53 KWh
Température de départ chaudière maxi (Fonctionnement à pleine charge)		90 °C	90 °C
Température de retour du circuit chauffage accepté en fin de charge		50 °C	50 °C
Différence de température entre le haut et le bas du volume tampon (ΔT)		ΔT 40 K	ΔT 40 K
Volume ballon hydro-accumulateur (≥ 55L/kW & ≤ 110L/kW)		0,70 m3	1,04 m3
Nota : Un ratio entre 60 et 100 litres par kW puissance chaudière est généralement admis =>		78.46 Litres/Kw	99.76 Litres/Kw

Dans le cas de l'exemple ci-dessus, le tableau indique en présélection d'installation 3 possibilité avec :

- ❖ 6 charges/jour, une chaudière de 8,86 kW et un foyer de 27,9 L + un stockage de 0,70 m3
- ❖ 4 charges/jour, une chaudière de 10,46 kW et un foyer de 41,8 L + un stockage de 1,04 m3
- ❖ 2 charges/jour, une chaudière de 20,91 kW et un foyer de 83,6 L + un stockage de 2,09 m3

Dimensionnement de la chaudière (Feuille de calcul du programme ThermaBois)

A partir d'un fabricant de chaudière et selon les fiches techniques, on choisira une chaudière pour chaque cas en fonction de la puissance et du volume de chargement en bois qui sera la plus adaptée par rapport au tableau de pré-dimensionnement précédent.

DIMENSIONNEMENT INSTALLATION CHAUFFAGE BOIS A BÛCHES (Selon les critères des fabricants)			
Dépense du bâtiment (T° extérieure de base de référence) =>	7,70 KW (Déperditions)		
Besoins thermique ECS (Si l'option ECS bois est retenue) 200 l/j	9,30 KWh (ECS jour)		
Besoins énergétique utile par jour (QEjour : chauffage + ECS) =>	194,10 KWh jour		
Puissance utile minimale de la chaudière (Chauffage + ECS / 8h) : 1,16 KW (ECS)	8,86 KW (Déper + ECS sur 8h)		
Rendement de la chaudière sur PCI (Rch) - (Voir avec le fabricant) =>	85% sur PCI		
Calcul thermique d'une chaudière bois d'un constructeur (selon la puissance nominale et le volume de chargement)			
CHOIX DE CHAUDIERES BOIS SELON FICHES FABRICANTS	Autonomie réduite:	Autonomie moyenne:	Autonomie élevée:
Puissance nominale (PN) ou puissance utile de la chaudière selon le fabricant. Choisissez une chaudière bois dont la puissance nominale en KW doit être supérieure aux déperditions. Cette valeur donnée par le fabricant de la chaudière est indirectement liée au concept du foyer et de la combustion du volume de chargement bois.	14,0 KW	16,0 KW	32,0 KW
Volume foyer de chargement bois (Chambre de combustion) : C'est surtout le volume du foyer qui a son importance. Une chaudière de 20 KW avec un foyer de remplissage de 60 L ne dégagera pas autant d'énergie qu'une autre avec foyer de 100 L, donc il faudra prévoir plus de remplissage bois par jour.	42 litres	60 litres	120 litres
1 Ou bien ==> Masse de la charge bois (Chambre de combustion) :			
- Ratio de combustion : puissance nominale (PN en KW) / Volume chargement bois (litres)	0,33 kW/L	0,27 kW/L	0,27 kW/L
- Pouvoir calorifique du bois utilisé (Résineux Pci 4,04 kWh/kg / Feuillus Pci 3,9 kWh/kg)	3,90 kWh/kg	3,90 kWh/kg	3,90 kWh/kg
- Ratio de remplissage du foyer de la chaudière : Densité bois / Volume (Kg/litre)	0,350 kg/litre	0,350 kg/litre	0,350 kg/litre
- Masse de bois consommé durant une charge dans la chaudière	Mbois 17,29 kg	24,71 kg	49,41 kg
- Energie finale restituée durant la combustion d'une charge de bois	QEbois 57,33 KWh	81,90 KWh	163,80 KWh
- Durée moyenne de combustion selon la puissance nominale de la chaudière	3,48 h	4,35 h	4,35 h
- Nombres réel de remplissages du foyer de la chaudière par jour par très grand froid	3,98 charges/jour	2,79 charges/jour	1,39 charges/jour
- Durée d'autonomie de fonctionnement du chauffage par très grand froid	6,0 h	8,6 h	17,2 h
- Nombres de remplissages du foyer de la chaudière en moyenne hivernale Δ = 7,2 °C	1,41 charges/jour	0,99 charges/jour	0,49 charges/jour
- Durée d'autonomie de fonctionnement du chauffage en moyenne hivernale	17,0 h	24,4 h	48,7 h
Calcul : Volume du ballon d'hydroaccumulation (Chaudières bûches uniquement)			
- Energie utile restituée durant la combustion d'une charge de bois	QEbois 48,73 KWh	69,62 KWh	139,23 KWh
- Température de départ chaudière maxi (Fonctionnement à pleine charge)	90 °C	90 °C	90 °C
- Température de retour du circuit chauffage acceptée en fin de charge	60 °C	60 °C	60 °C
- Différence de température entre le haut et le bas du volume tampon (ΔT)	ΔT 30 K	ΔT 30 K	ΔT 30 K
Volume ballon hydro-accumulateur (≥ 55L/KW & ≤ 110L/KW)	≤ 110 litres/KW	1,40 m3	1,76 m3
Un ratio entre 55 l (min) et 110 litres par KW puissance chaudière est généralement admis ==>	99,75 Litres/Kw	110,00 Litres/Kw	110,00 Litres/Kw
- Estimation de la durée de combustion jour de la chaudière en période de grand froid	13,86 h/jour	12,13 h/jour	6,07 h/jour
Volume ballon hydro-accumulateur corrigé (≥ 55L/KW & ≤ 110L/KW)	≥ 55 litres/KW	0,77 m3	1,18 m3
(Chauffage direct vers les émetteurs lors de la combustion sans passer dans le ballon)	55,00 Litres/Kw	73,71 Litres/Kw	99,22 Litres/Kw

Dimensionnement de la chaudière à granulés (pellets) (Chauffage bois modulant)

Avec des appareils de chauffage au bois automatisés (Utilisation de pellets par exemple dont le débit est régulé), le problème se pose moins car on est plus proche dans ce cas d'un appareil fonctionnant à énergie liquide ou gazeuse (Possibilité de moduler la puissance thermique).

Les plus petites chaudières automatiques à pellets présentent une puissance nominale d'environ 10 kW et sont donc particulièrement adaptées aux maisons individuelles. Normalement ces appareils s'allument et s'éteignent de façon entièrement automatisées.

Si la puissance nominale de la chaudière correspond à la puissance requise de la chaudière, l'installation d'un ballon tampon n'est pas obligatoire pour autant que la puissance peut être réglée sur une plage de 30 % à 100 %. Si la chaudière à pellets est combinée à une installation solaire, un l'hydro accumulateur de chaleur peut s'avérer intéressant.

NOTA : Une directive allemande « BImSchV (first Federal Emission Control Act) exige un minimum de 20 litres par kW puissance chaudière.

Il faut éviter de trop surdimensionné la chaudière et s'assurer que le camion de livraison doit pouvoir s'approcher à moins de 20 mètres du silo.

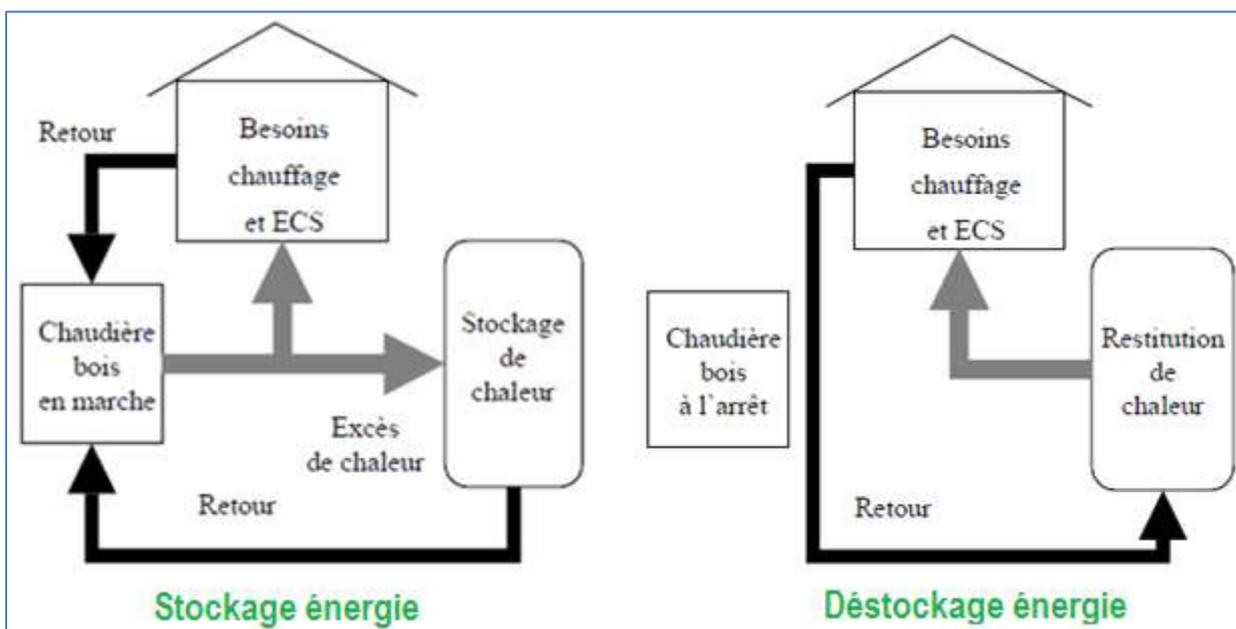
5 - STOCKAGE D'ENERGIE PAR HYRO-ACCUMULATION

5-1 - Préambule

La mise en oeuvre d'un réservoir de stockage d'énergie permet un fonctionnement de l'installation optimal en mi-saison, lorsque le réseau de distribution est peu utilisé. Le réservoir sert aussi de découplage hydraulique entre le réseau lié à la production de chaleur (chaudière) et le réseau de distribution du fluide chauffant vers les émetteurs de chaleur (radiateurs).

Le rôle du stockage d'énergie par l'hydroaccumulation sera de permettre au ballon tampon d'absorber de façon optimale le surplus d'énergie produit par la chaudière pour permettre une plus grande autonomie de fonctionnement du chauffage central.

Le ballon tampon constitue une **réserve de chaleur** stockée dans de l'eau qui est réchauffée par la chaudière. Le système de distribution (radiateurs, plancher chauffant), piloté par la régulation, vient se réchauffer dans cette réserve **au fur et à mesure des besoins**.



Cette réserve d'eau stocke en partie ou toute l'énergie produite par la chaudière. L'énergie ainsi stockée sera restituée au chauffage et à l'eau chaude sanitaire quand la chaudière sera arrêtée.

Nombreux sont les avantages de l'hydroaccumulation, on peut citer en particulier que :

- ❖ la chaudière bois fonctionne à puissance nominale (à pleine charge), même en demi-saison et on supprime le problème délicat du dimensionnement de la chaudière,
- ❖ on augmente l'autonomie de l'installation et on évite donc le fonctionnement au ralenti pouvant engendrer un risque de corrosion pour la chaudière.
- ❖ la production d'ECS peut être assurée par la chaudière bois en été,
- ❖ on augmente le rendement de combustion et le rendement annuel de l'installation et on diminue de façon très sensible **les émissions atmosphériques** .

5-2 - Principe de l'hydro-accumulation

PHASE 1 - DEBUT OU NOUVELLE PHASE DE COMBUSTION

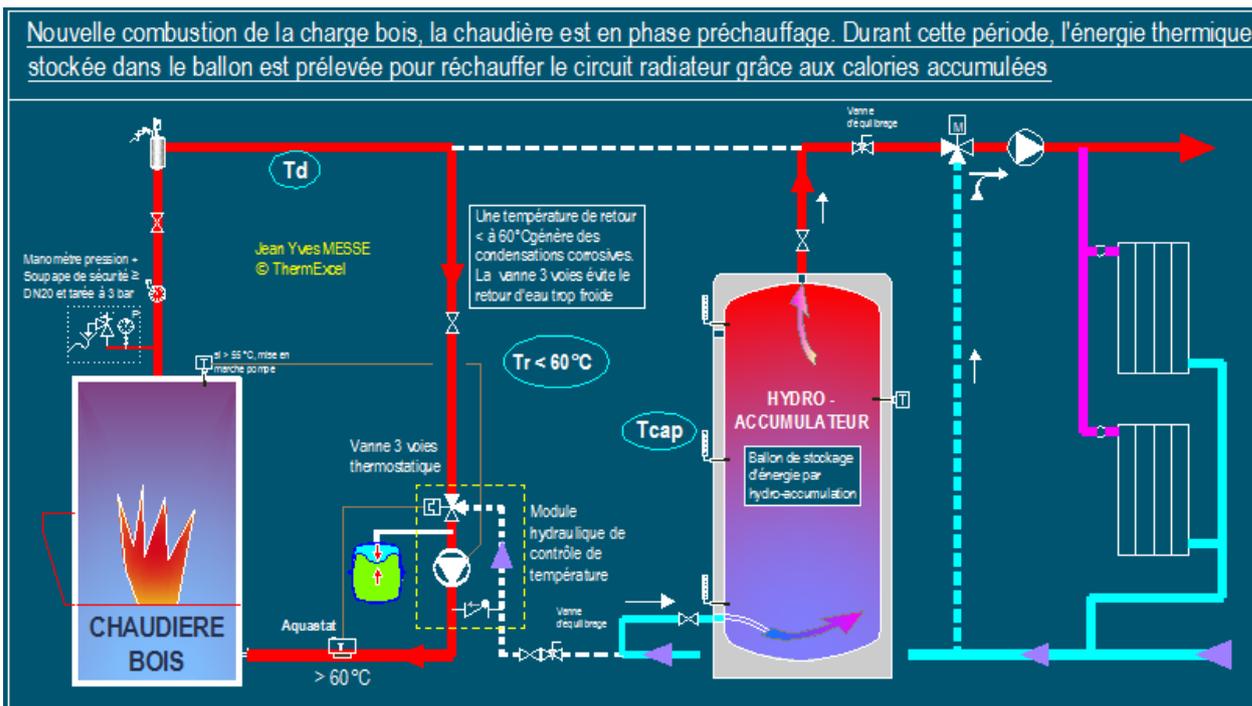
La chaudière à bois est allumée et au démarrage lors d'une nouvelle phase de combustion, la pompe de charge est mise en service et tant que la montée en température de la chaudière n'atteint pas au

minimum 65...80°C, la pompe de circulation irrigue seulement la chaudière, ce qui permet une montée rapide en température.

La circulation d'eau entre la chaudière et le stockage d'énergie est inexistante aussi longtemps que la chaudière n'a pas atteint ce régime de température.

Durant cette phase, c'est le ballon tampon chargé en énergie thermique par hydro-accumulation qui fournit la chaleur à l'habitation selon les besoins en chauffage.

Une option pour commander la pompe de circulation consiste éventuellement à placer un thermostat sur le conduit de fumée détectant la montée en température des fumées de la chaudière et donc de démarrer automatiquement la pompe.

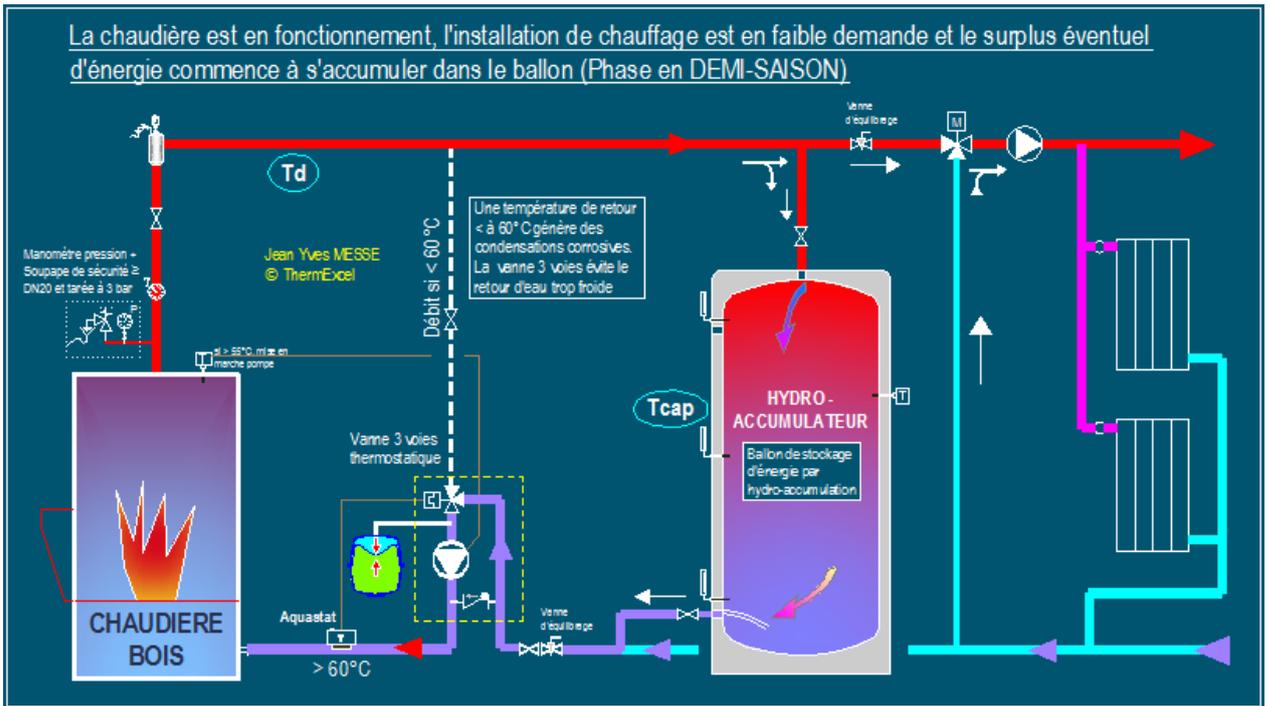


PHASE 2 - DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ET MISE en CHARGE DU BALLON DE STOCKAGE

Lorsque la chaudière bois remonte en température dans un régime de fonctionnement au-delà de 65...80°C, soit parce qu'un lit de braises agit par inertie, soit parce qu'elle a été rechargée, l'énergie thermique délivrée par la chaudière est transmise en priorité au circuit de chauffage. Seul transit dans le ballon le différentiel de débit d'eau entre la pompe de charge de la chaudière et le débit recyclé (vanne de mélange) de la pompe du circuit chauffage.

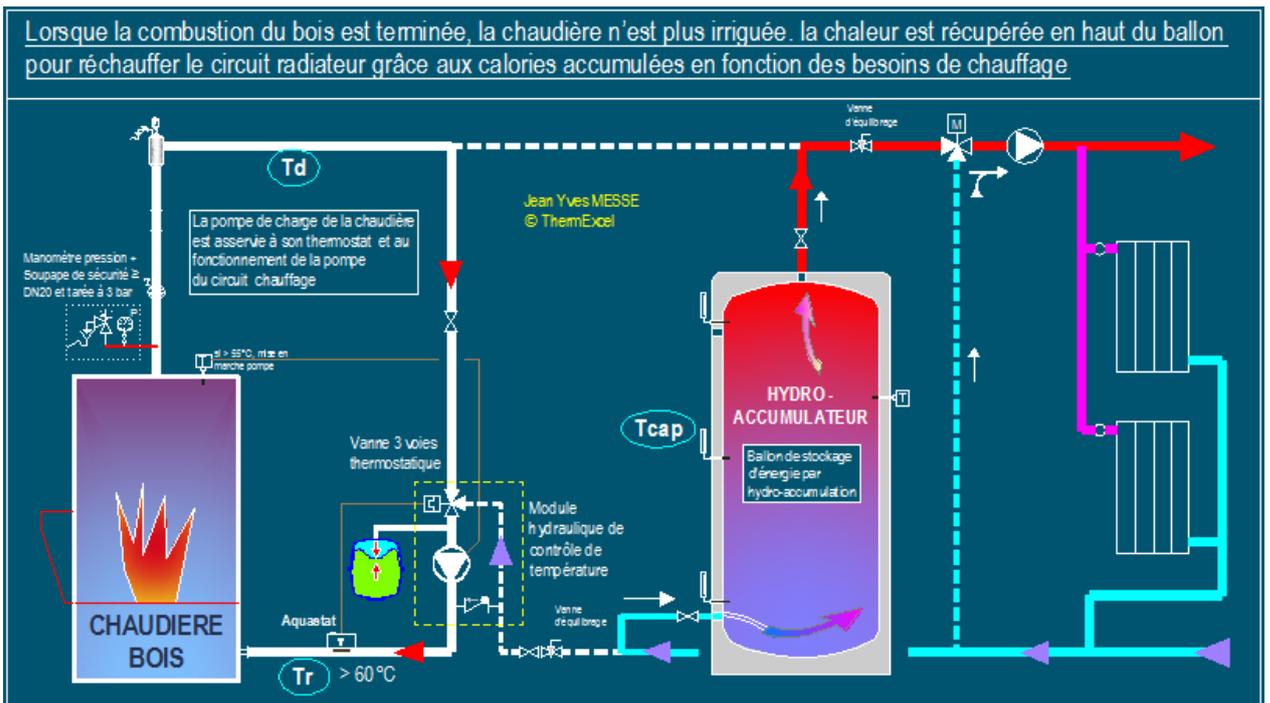
Quand les besoins sont satisfaits, le système de régulation abaisse la température de distribution d'eau du circuit de distribution du fluide chauffant ainsi que les robinets thermostatiques ajustant la demande de chauffage selon chaque local. A partir de ce moment, le ballon tampon absorbe et stocke le surplus d'énergie produit par la chaudière,

Le dispositif de recyclage évite les retours inférieurs à 60°C et protège la chaudière.



Il est préférable que le débit du circuit primaire en amont du ballon tampon soit assez proche au débit de la pompe du circuit chauffage de manière à ce que les vitesses au sein du volume tampon soient réduites le plus possible permettant d'améliorer la stratification de la température (Mise en place de vannes de réglage). Il faut s'assurer que le ΔT entre le départ et le retour de la chaudière ne soit trop important car il sera plus difficile dans ce cas là, d'obtenir la température minimale sur le retour de la chaudière. Un ΔT de 20 K semble être judicieux mais sans aller au-delà de 25 K et tout en s'assurant que ce soit conforme aux préconisations du fabricant de la chaudière.

PHASE 3 - UTILISATION DE L'ENERGIE STOCKEE DANS LE BALLON TAMPON VERS LES EMETTEURS DE CHAUFFAGE



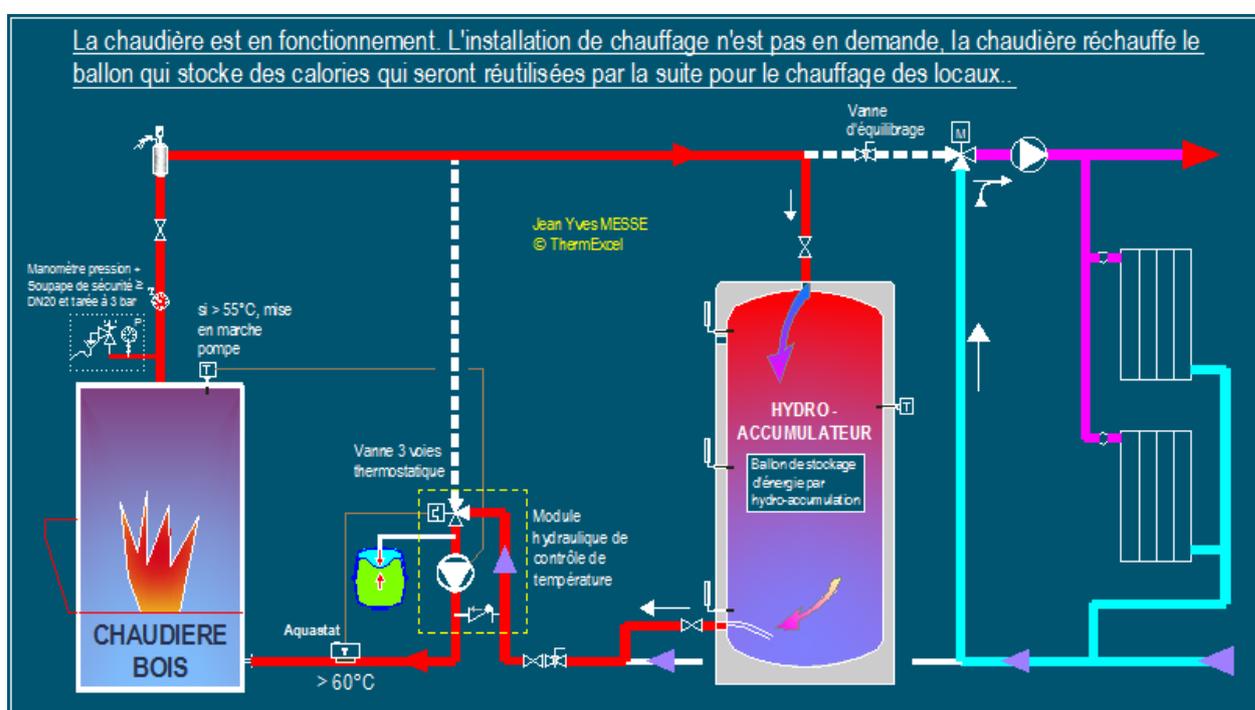
Lorsque la combustion du bois est terminée, la chaudière n'est plus irriguée. L'énergie thermique stockée dans le ballon tampon est utilisée en fonction des besoins de chauffage.

La vanne 3 voies thermostatique isole la chaudière du réservoir de stockage d'énergie, seul le débit du circuit chauffage peut transiter dans l'hydro-accumulateur d'énergie.

PHASE 4 : Demi-saison ou la demande en chauffage est faible

La chaudière est en fonctionnement, l'installation de chauffage est en faible demande et le surplus éventuel d'énergie commence à s'accumuler dans le ballon (Phase en DEMI-SAISON)

Quand les besoins chauffage de l'habitat sont atteints et que les dispositifs de régulation de température (Vanne de mélange et robinet thermostatiques) réduisent le débit secondaire, le débit de la pompe de charge de la chaudière est dévié vers le ballon tampon stockant au passage l'énergie thermique excédentaire dans le ballon par hydro-accumulation.



Ce système permet à la chaudière d'être exploitée au maximum de son rendement et de couvrir une large part des besoins en intersaison grâce à l'énergie stockée dans le ballon tampon, et d'espacer au maximum les fréquences de chargement.

Liaisons hydrauliques sur le stockage thermique par hydro-accumulation :

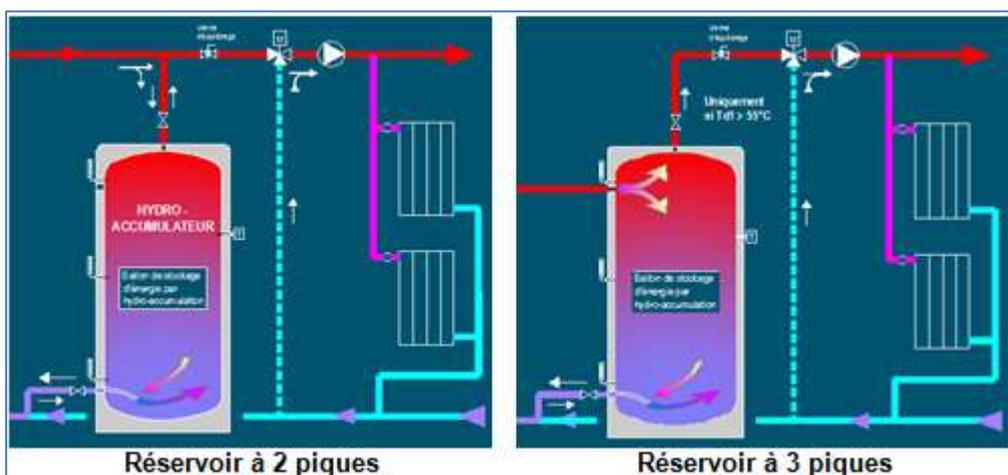
Le couplage hydraulique avec une chaudière bois où une forte stratification dans le réservoir de stockage d'énergie est recherchée, le volume tampon à deux piquages est à préférer en particulier avec des émetteurs à haute température.

Le montage du volume tampon à deux piquages dans cette configuration permet de découpler la partie production et la partie distribution tout en évitant les phénomènes parasites.

Ce type de montage à 2 piquages permet une meilleure stratification car la circulation de fluide au sein du volume tampon ne se fait que dans un seul sens (une entrée et une sortie) et est plus faible lorsque les circuits production et distribution fonctionnent simultanément (le débit dans le volume tampon est alors égal à la différence des débits de production et de distribution), donc les vitesses au sein du volume tampon sont réduites et la stratification est améliorée.

Enfin, la température de l'eau en entrée du circuit de distribution des radiateurs est égale à la température de l'eau en sortie de la chaudière lorsque le débit du circuit de la chaudière est égal ou supérieur au débit du circuit de distribution des radiateurs.

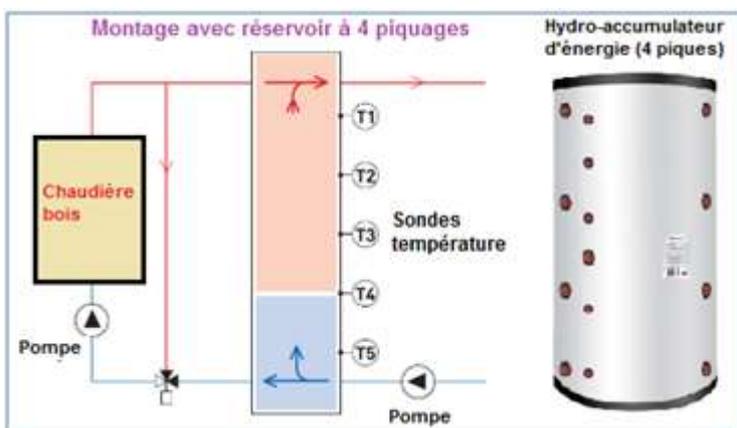
L'autre avantage du montage du réservoir tampon à 2 piquages est que le débit d'eau du circuit de distribution chauffage a accès en priorité à l'eau chaude générée par la chaudière avant que le débit d'eau ne passe à travers la partie supérieure du réservoir tampon. C'est un avantage si le réservoir tampon s'est refroidi pendant plusieurs heures avant le prochain appel de chaleur généré par la chaudière. Ce serait «diluer thermiquement» la température de l'eau fournie à la charge jusqu'à ce que la partie supérieure du réservoir soit réchauffé jusqu'à la température normale de fonctionnement. Cet effet serait particulièrement gênant en période de grand froid avec des émetteurs dimensionnés avec un réseau de distribution à haute température.



L'inconvénient du réservoir à 2 piquages, c'est qu'il est impératif d'installer une vanne 3 voies thermostatique (Module de couplage) qui va isoler le réservoir de stockage d'énergie de la chaudière dans la phase hors combustion, seul le débit du circuit chauffage peut transiter dans l'hydro-accumulateur. Cela dit pour le montage « 4 piquage » la vanne thermostatique reste également vivement conseillée.

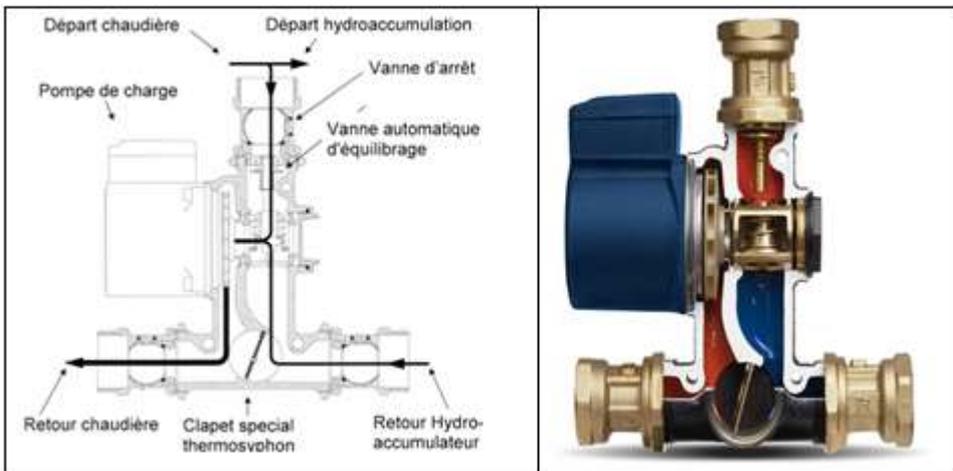
L'hydro-accumulateur moderne à stratification thermique 4 piquages ou plus permet d'emmagasiner la chaleur dans le réservoir sur plusieurs couches ou strates de température. Plus la couche est en hauteur et plus la température est élevée.

Le montage 4 piquages serait a priori plus approprié pour le chauffage basse température (Chauffage par le sol) ou le cas échéant pour des radiateurs desservis à moyenne température (Ex : 65/70°C)



Module de couplage chaudière bois / ballon tampon

Le module de couplage de charge permet d'obtenir une température de service élevée dans la chaudière lorsque l'accumulateur thermique est en cours de charge.



Le clapet spécial thermosiphon à passage intégral autorise une circulation libre lorsque la pompe s'arrête en cas de coupure électrique (Sécurité)

Règles de conception du ballon d'hydro accumulation

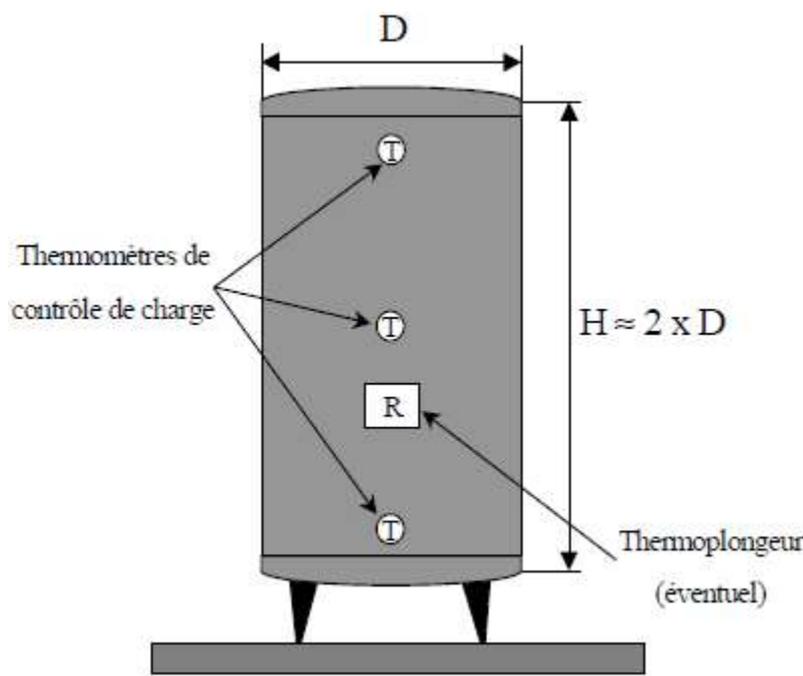
Il faut choisir un ballon de stockage qui favorise au mieux le phénomène de stratification (eau la plus chaude située en haut du ballon et disponible immédiatement en cas de besoin) et qui conserve au maximum la chaleur accumulée

Il sera donc de préférence vertical et isolé le plus possible.

Afin d'obtenir le meilleur compromis entre les pertes thermiques et le phénomène de stratification, il est nécessaire de choisir un ballon ayant un rapport Hauteur / Diamètre proche de 2.

S'il est impossible, pour des raisons de place d'utiliser un seul ballon d'accumulation de grand volume, il est possible d'installer plusieurs ballons raccordés en série/parallèle selon les phases de fonctionnement.

Un volume utile maximal peut être obtenu par forte stratification. C'est le phénomène naturel de répartition verticale de la température d'eau dans le ballon. Les couches les plus chaudes se situent en haut du ballon.



Le ballon doit être équipé de trois thermomètres de contrôle de charge :

- ❖ un en partie haute,
- ❖ un en partie médiane
- ❖ et un en partie basse.

L'épaisseur d'isolant doit être de 40 à 60 mm de polyuréthane ou de 50 à 80 mm de laine de verre.

Il faut éviter les turbulences dues aux entrées et sorties d'eau (effet de jet). La vitesse du jet doit rester inférieure à 0,6 m/s d'où la nécessité d'utiliser des diffuseurs et de bien dimensionner les piquages.

Le ballon peut être équipé de résistances électriques d'appoint immergées.

Dans le cas d'un couplage de plusieurs ballons, le ballon de production d'ECS doit se trouver dans le premier ballon raccordé à la chaudière.

L'équipement d'une régulation climatique est fortement conseillée pour la bonne gestion de la décharge du stockage d'énergie

6 - Dimensionnement installation hydraulique (Annexe)

6-1 - Circuits hydrauliques

Les régimes de température

On appelle "régime de température " l'indication des températures de départ et de retour du circuit de chauffage par grand froid (pour la température extérieure minimale, dite température extérieure de base). Le "régime de température " le plus usuel était autrefois le régime 90/70 (°C). Aujourd'hui on utilise des régimes moins chauds et un peu plus confortables de type 80 /60 (°C)..

Le choix du régime de température est déterminé en fonction des types d'émetteurs de chaleur :

- 20 K pour des circuits avec des émetteurs de chaleur à température élevée (Ex. : 90/70°C)
- 15 K pour des circuits avec des émetteurs à température plus faible (Ex. : 75/60°C)
- 8 à 10 K pour les planchers chauffants (Ex. : 40/32°C)

Hauteur manométrique de la pompe de circulation d'eau

Pour choisir un circulateur, il faut connaître deux paramètres du circuit hydraulique, à savoir :

Le débit Q

$$Q = \frac{P(kW)}{\Delta T \cdot 1,163} \text{ en m}^3$$

- ❖ P : Puissance utile à transférer dans le circuit de distribution de chaleur en kW
- ❖ ΔT = Ecart de température entre le départ et le retour (Cet écart dépend des types d'émetteurs)

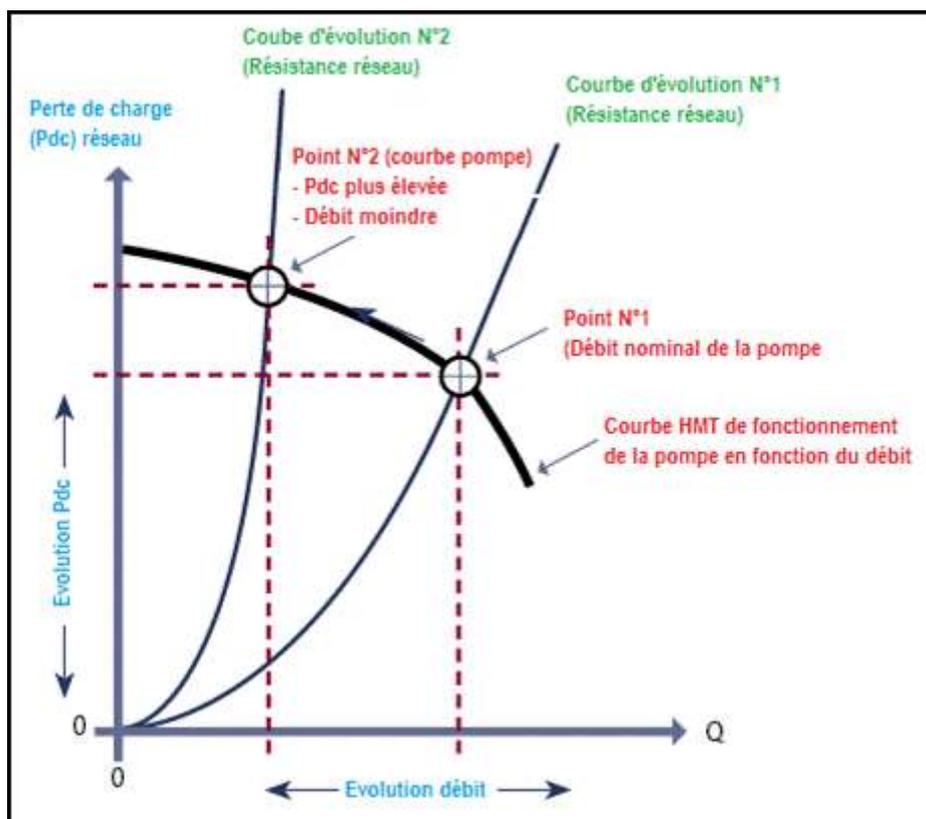
La Hauteur Manométrique Totale (HMT)

La pompe de circulation d'eau insérée dans un circuit hydraulique fermé (chauffage, eau glacée etc.), permet d'assurer un débit permanent dans les canalisations permettant de transférer la quantité d'énergie utile du générateur de chaleur vers les différents émetteurs ou autres. Elle est caractérisée par une courbe de fonctionnement « hauteur manométrique totale » en fonction du débit.

La Hauteur Manométrique Totale (HMT) de la pompe doit être supérieur ou égal à l'ensemble des pertes de charge intégrant le circuit hydraulique, tels que :

- ❖ le cumul des pertes de charges linéaires du « réseau aller/retour » en fonction du circuit le plus défavorisé et le cas échéant l'émetteur de chaleur selon le cas de figure.
- ❖ la perte de charge de la chaudière éventuellement selon le type de montage hydraulique
- ❖ les pertes de charge singulières des différents équipements hydrauliques (Filtres, vanne de régulation, etc.)

La courbe d'un circulateur indique les différents débits qu'il peut fournir en fonction de la pression dynamique. L'intersection de la courbe de réseau et de la courbe du circulateur donne le point de fonctionnement, qui indique le débit que le circulateur peut fournir dans le circuit.



Il faut choisir une pompe de circulation dont le point de fonctionnement résultant de la courbe donnée par le fabricant de la pompe soit le plus proche du point nominal de fonctionnement calculé dans l'installation.

Si la perte de charge réseau est plus élevée que prévue, le point de fonctionnement se déplace sur la courbe comme par exemple au point N°2 ci-dessus, ce qui a pour conséquence de réduire le débit de circulation d'eau dans le réseau et d'augmenter la hauteur manométrique de la pompe (HMT)

6-2 - Dimensionnement des circuits chauffage

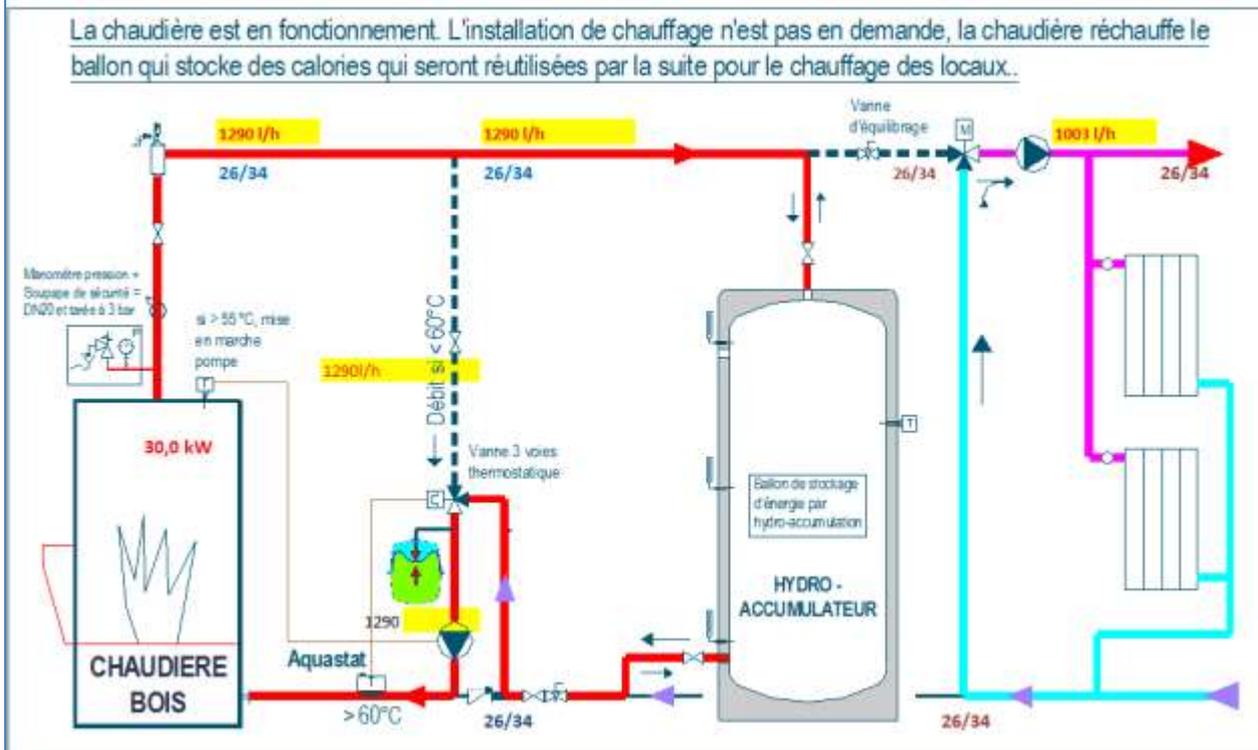
Les critères de dimensionnement généralement admis dans les réseaux hydrauliques sont :

- ❖ une vitesse de circulation $> 0,3 \dots 0,4$ m/s et $< 0,8$ m/s (1 à 1,20 m/s pour les plus gros \varnothing) pour aider la purge, l'air est poussé dans les tuyaux jusqu'au purgeur même si celui-ci n'est pas au point le plus haut du circuit.
- ❖ une Pdc du réseau de 5 à 25 mmCE/m (Valeurs moyennes)

Le tableau suivant indique les diamètres de réseaux lors d'une pré-étude tout en ayant à la fois une vitesse et une perte de charge acceptable en fonction des critères précédents

PRE-DIMENSIONNEMENT CIRCUIT HYDRAULIQUE avec de l'eau à : 60°C											
Jean Yves MESSE - THERMEXCEL					BASE CALCUL MINI			BASE CALCUL MAXI			
Type réseaux chauffage			Cont. eau	Rugosité	Débit	Vitesse	Pdc (60°C)	Débit	Vitesse	Pdc (60°C)	
Type canalisation		Ø EXT.	Ø INT.	l/m	mm	l/h	m/s	mmCE	l/h	m/s	mmCE
- Circuit (tube cuivre)	10/12	12,00 mm	10,00 mm	0,079 l	0,0015	80 l/h	0,28 m/s	14,37 mmCE	115 l/h	0,41 m/s	26,80 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	12/14	14,00 mm	12,00 mm	0,113 l	0,0015	115 l/h	0,28 m/s	11,32 mmCE	175 l/h	0,43 m/s	23,36 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	14/16	16,00 mm	14,00 mm	0,154 l	0,0015	175 l/h	0,32 m/s	11,25 mmCE	260 l/h	0,47 m/s	22,37 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	16/18	18,00 mm	16,00 mm	0,201 l	0,0015	260 l/h	0,36 m/s	11,87 mmCE	360 l/h	0,50 m/s	20,93 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	18/20	20,00 mm	18,00 mm	0,254 l	0,0015	360 l/h	0,39 m/s	11,95 mmCE	490 l/h	0,53 m/s	20,50 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	20/22	22,00 mm	20,00 mm	0,314 l	0,0015	490 l/h	0,43 m/s	12,42 mmCE	680 l/h	0,60 m/s	22,08 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	26/28	28,00 mm	26,00 mm	0,531 l	0,0015	680 l/h	0,36 m/s	6,33 mmCE	1300 l/h	0,68 m/s	19,84 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	30/32	32,00 mm	29,60 mm	0,688 l	0,0015	1300 l/h	0,52 m/s	10,67 mmCE	1900 l/h	0,77 m/s	20,84 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	34/36	36,00 mm	33,60 mm	0,898 l	0,0015	1900 l/h	0,60 m/s	11,41 mmCE	2600 l/h	0,81 m/s	19,95 mmCE
- Circuit (tube cuivre)	40/42	42,00 mm	39,60 mm	1,231 l	0,0015	2600 l/h	0,59 m/s	8,08 mmCE	4000 l/h	0,90 m/s	19,60 mmCE
- Circuit (tube acier)	20/27	26,90 mm	22,20 mm	0,387 l	0,061	400 l/h	0,29 m/s	6,17 mmCE	750 l/h	0,54 m/s	19,77 mmCE
- Circuit (tube acier)	26/34	33,70 mm	27,90 mm	0,611 l	0,061	750 l/h	0,34 m/s	6,29 mmCE	1400 l/h	0,64 m/s	20,19 mmCE
- Circuit (tube acier)	33/42	42,40 mm	36,80 mm	1,052 l	0,061	1400 l/h	0,37 m/s	5,17 mmCE	2500 l/h	0,66 m/s	15,33 mmCE
- Circuit (tube acier)	40/48	48,30 mm	42,50 mm	1,418 l	0,061	2500 l/h	0,49 m/s	7,22 mmCE	4000 l/h	0,76 m/s	17,56 mmCE
- Circuit (tube acier)	50/60	60,30 mm	53,80 mm	2,272 l	0,061	4000 l/h	0,49 m/s	5,35 mmCE	7000 l/h	0,86 m/s	15,44 mmCE
- Circuit (tube acier)	66/76	76,10 mm	69,60 mm	3,803 l	0,061	7000 l/h	0,51 m/s	4,22 mmCE	13000 l/h	0,95 m/s	13,67 mmCE
- Circuit (tube acier)	80/90	88,90 mm	82,40 mm	5,330 l	0,061	13000 l/h	0,68 m/s	5,82 mmCE	20000 l/h	1,04 m/s	13,26 mmCE
- Circuit (tube acier)	107/114	114,30 mm	105,30 mm	6,704 l	0,061	20000 l/h	0,64 m/s	3,84 mmCE	38000 l/h	1,21 m/s	13,11 mmCE

PRE-DIMENSIONNEMENT CIRCUIT HYDRAULIQUE avec de l'eau à : 60°C											
Sélection type réseaux hydraulique : <input type="text" value="Acier"/>											
Circuit primaire (Chaudière & Hydro-accumulateur)					Circuit émetteurs (Radiateurs, planchers chauffants, etc.)						
Puissance nominale chaudière (en kW) => 30,0 kW					Déperditions 14,0 kW						
Delta T chaudière : ΔT : 26 K ΔT : 20 K					Surpuissance émetteurs 25% 17,5 kW						
Débit de circulation d'eau : 1290 l/h					Delta T (Radiateurs, planchers chauffants, etc.) \Delta T : 16 K						
Ø circuit réseau : 26/34					Débit de circulation d'eau : 1003 l/h						



Pompe de charge chaudière

Pour éviter l'apparition de la corrosion, il est impératif d'avoir une température homogène dans la chaudière et de maintenir si possible la température de retour à la chaudière, supérieure à 60°C. Dans tous les cas cette température de retour ne devra jamais descendre en dessous de 55°C (qui est environ la température de rosée des fumées).

Ce résultat peut être obtenu en installant sur le circuit hydraulique une vanne 3 ou 4 voies avec une pompe de charge qui permettra de réinjecter une partie de l'eau du départ vers le retour afin d'obtenir la température souhaitée à l'entrée de la chaudière.

Afin de garantir une température minimale de retour d'eau égale à 55..65°C, il sera installé une sonde de mesure d'eau sur le retour et associé à un régulateur de température agissant sur la vanne 3 ou 4 voies ou la pompe de recyclage.

Le débit minimal d'alimentation de la chaudière est assuré, même si les circuits de distribution de chauffage se ferment, et l'eau tiède de retour des radiateurs est mélangée à l'eau chaude venant de la chaudière.

6-3 - Emetteurs de chaleur & température du circuit fluide chauffant

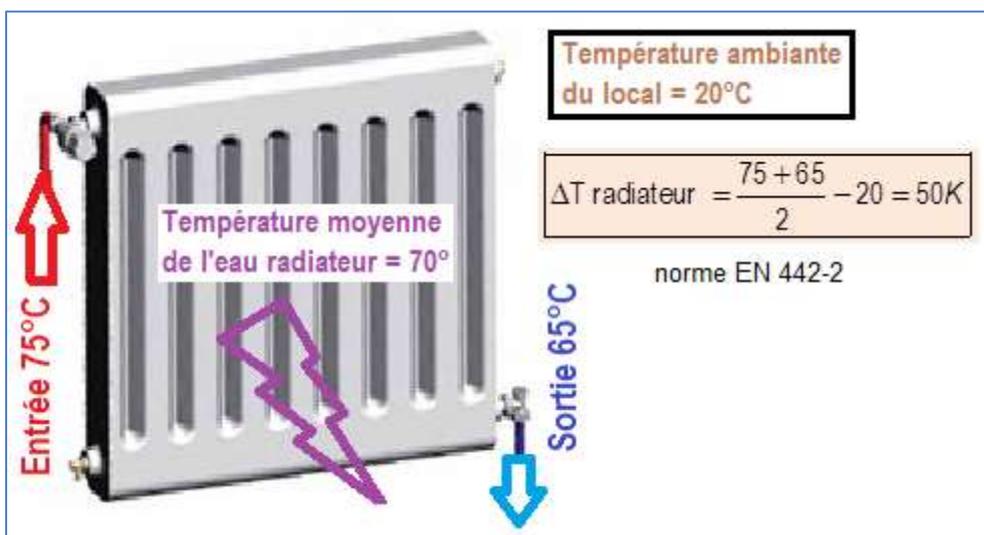
Température du fluide chauffant

Radiateurs selon la norme EN 442

Les émissions de chaleur des radiateurs indiquées dans les catalogues selon la norme EN 442 doivent répondre aux exigences de la standardisation des puissances thermiques dans l'Union Européenne.

Cette norme tient compte d'un régime de dimensionnement de 75°/65° avec une température intérieure de 20°C. Cette norme remplace l'ancienne norme qui se basait sur un régime de dimensionnement 90°/70°

Selon cette norme, la puissance thermique nominale des radiateurs est déterminée en chambre d'essai avec un $\Delta T = 50 K$.



Pour sélectionner un radiateur, Il faut tenir compte de la température d'eau réelle qui est véhiculée dans le circuit de distribution de chaleur. Il existe plusieurs régimes de température, comme par exemple :

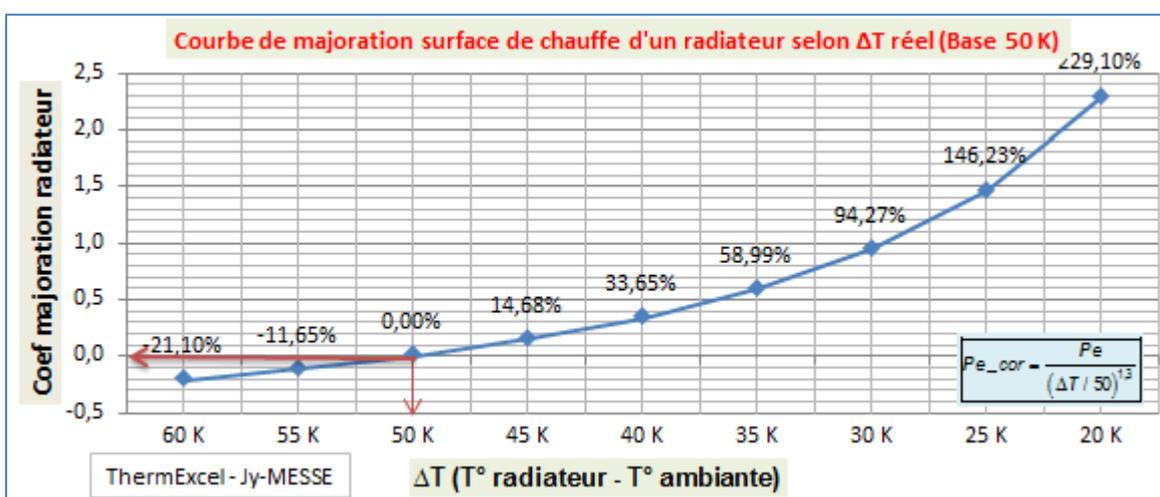
- ❖ 90/70 (haute température, anciennes installations)
- ❖ 75/65 (Température standard - norme EN 442)

Les émissions thermiques d'un radiateur sont fonction de cet écart moyen, plus il est élevé et plus les émissions sont importantes. Donc avec un écart de température plus faible et plus la puissance disponible du radiateur sera réduite.

La variation de la puissance thermique d'un radiateur avec un ΔT différent de 50 K peut être réévaluée à partir de formule de calcul suivante :

$$Pe_cor = \frac{Pe}{(\Delta T / 50)^{1,3}} \text{ avec}$$

- ❖ Pe_cor = Puissance corrigée du radiateur équivalente sur la base nominale d'un ΔT de 50 K (valeurs indiquées généralement dans les catalogues des fournisseurs de radiateurs)
- ❖ Pe = Puissance chauffage du radiateur à installer (Déperditions + surpuissance si nécessaire pour la relance du chauffage par exemple) sans tenir compte du régime de température du fluide chauffant et de la température ambiante.
- ❖ 1,3 = Valeur de l'exposant prise par défaut. Sinon il est préférable de prendre celle indiquée par le fabricant.
- ❖ ΔT = Différence de température entre la température moyenne de l'eau dans le radiateur et la température ambiante du local.



Radiateurs (anciennes installations)

La plupart des installations de chauffage existantes par radiateurs ont été dimensionnées pour un régime d'eau 90°/70°C sur une température extérieure de base en fonction de la région,

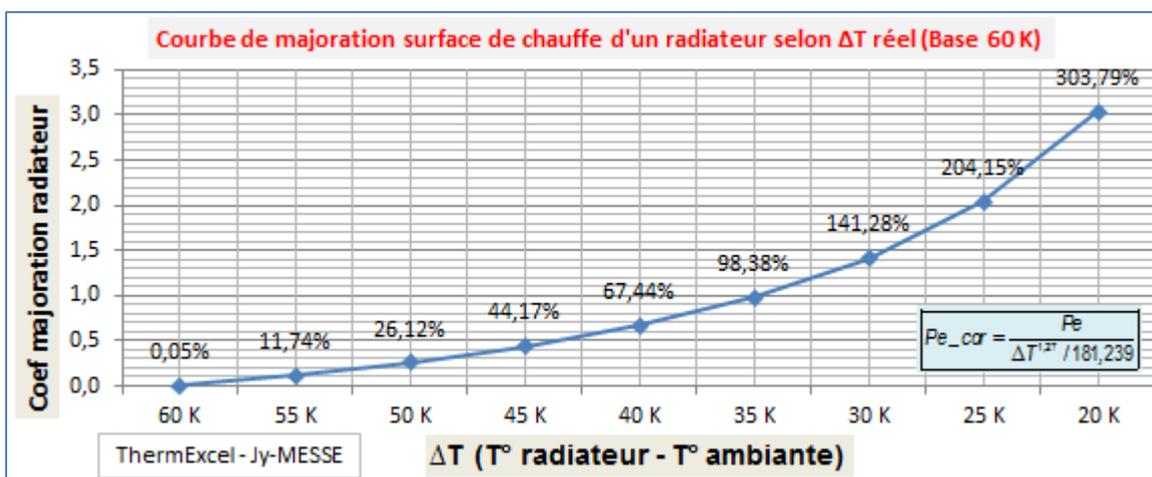
La température de l'eau sur le départ sur le générateur de chaleur est de 90°C en général et la température de retour, de 70°C, soit un écart entre le départ et le retour de 20 K.

Pour des régimes de température autre qu'un ΔT de 60 K, la puissance équivalente d'un radiateur à installer sur la base d'un delta T de 60 K peut être obtenue par la formule suivante :

$$Pe_cor = \frac{Pe}{\Delta T^{1,27} / 181,239} \text{ et } Cemi = \frac{\Delta T^{1,27}}{181,239} \text{ avec}$$

- ❖ Pe_cor = Puissance corrigée du radiateur (ou surface de chauffe) équivalente sur la base nominale d'un ΔT de 60 K
- ❖ Pe = Puissance chauffage du radiateur à installer (Déperditions majorée de la surpuissance si nécessaire) sans tenir compte du régime de température du fluide chauffant et de la température ambiante.
- ❖ ΔT = Différence de température entre la température moyenne de l'eau dans le radiateur et la température ambiante du local.

- ❖ Cemi = Correction d'émission de chaleur avec un ΔT différent de 60 K concernant un radiateur existant et sélectionné sur la base nominale d'un ΔT de 60 K.



Influence abaissement température circuit chauffage sur une installation existante (Régime de température 90/70°C)

La température de l'eau dans le ballon par hydro-accumulation est très variable, de 90°C à 50...35°C selon les types d'émetteurs de chauffage mis en place (Radiateurs, convecteurs, planchers chauffants, etc.)

Pour exploiter la quantité d'énergie accumulée dans un ballon d'hydro-accumulation d'une manière rationnelle pour restituer le plus possible l'énergie thermique stockée sur la durée c'est de disposer d'émetteurs de chauffage pouvant fonctionner sur des circuits chauffage avec une température la plus basse possible,

Ceci n'est pas le cas avec des radiateurs sur des installations existantes, ceci implique en conséquence une plus grande capacité de stockage d'eau dans le réservoir pour pouvoir assurer correctement le maintien en température des différents locaux. En période de grand froid, la chute de température sur le départ ne peut pas être trop forte entre deux chargement en bois, la différence de température (ΔT) entre le haut et le bas du réservoir sera de 20 K, voire tout au plus 30 K par grand froid.

Si on désire faire fonctionner le chauffage d'une installation existante avec un régime d'eau à plus basse température, c'est-à-dire une plus faible différence de température entre chaque l'émetteur de chaleur (Radiateur) et celle de la température ambiante du local, il faut alors surdimensionner les surfaces d'échanges des différents radiateurs.

Par exemple si l'on veut assurer un régime de température 70/50°C, il faudra prévoir en conséquence un surdimensionnement de 67,5% en surface de chauffe des émetteurs de chaleur par rapport au régime initial de 90/70°C du fluide chauffant avec le même débit de circulation d'eau du circuit chauffage (Les déperditions ne changent pas)

Majoration surface de chauffe selon le régime de température circuit chauffage					
Température circuit chauffage		ΔT corrigé Emetteurs	Majoration émetteurs	Débit circuit chauffage	
Td (Départ)	Tr (Retour)			ΔT corrigé	Majoration
90,00 °C	70,00 °C	60,00 K	0,05%	20 K	0%
85,00 °C	65,00 °C	55,00 K	11,74%	20 K	0,00%
80,00 °C	60,00 °C	50,00 K	26,12%	20 K	0,00%
75,00 °C	55,00 °C	45,00 K	44,17%	20 K	0,00%
70,00 °C	50,00 °C	40,00 K	67,44%	20 K	0,00%
65,00 °C	45,00 °C	35,00 K	98,38%	20 K	0,00%
60,00 °C	40,00 °C	30,00 K	141,28%	20 K	0,00%
55,00 °C	35,00 °C	25,00 K	204,15%	20 K	0,00%

La quantité d'énergie à transférer sur le circuit de distribution du fluide chauffant vers les radiateurs reste toujours la même et comme le débit d'eau de la pompe ne change pas, donc le ΔT par rapport à l'installation de base sera identique à moins d'augmenter le débit de la pompe ce qui sera guère possible si on veut conserver l'équipement hydraulique de base.

Pour le remplacement d'un seul radiateur, il faut donc veiller à ce que le régime d'eau du radiateur sélectionné soit compatible avec le fonctionnement du générateur (ex. chaudière) et les radiateurs existants. En revanche, lors du remplacement de tous ses radiateurs sur l'installation initiale, il est recommandé de plutôt choisir si possible des radiateurs basse température, ou encore appelé radiateur « chaleur douce », fonctionnant à un ΔT inférieur à 50 K,

Dans cette configuration, ceci permettrait d'obtenir :

- ❖ une réduction des pertes thermiques sur les réseaux de distribution de chaleur, de la chaudière et au dos des radiateurs se trouvant sur les murs extérieurs.
- ❖ moins de convection de l'air au niveau des radiateurs et donc moins de poussière en mouvement.
- ❖ une réserve de puissance au cas exceptionnel de températures extérieures en dessous de la température de référence.

Renforcement de l'isolation thermique dans les constructions anciennes

Néanmoins, si en même temps on renforce l'isolation thermique sur l'ensemble de l'enveloppe de la construction existante (Comme la mise en place d'une isolation thermique ou le remplacement des ouvrants par exemple) ceci va engendrer une baisse des besoins en chauffage permettant de réduire l'émission de chaleur de chaque radiateur et donc par conséquence la possibilité d'un abaissement du régime de la température du fluide chauffant.

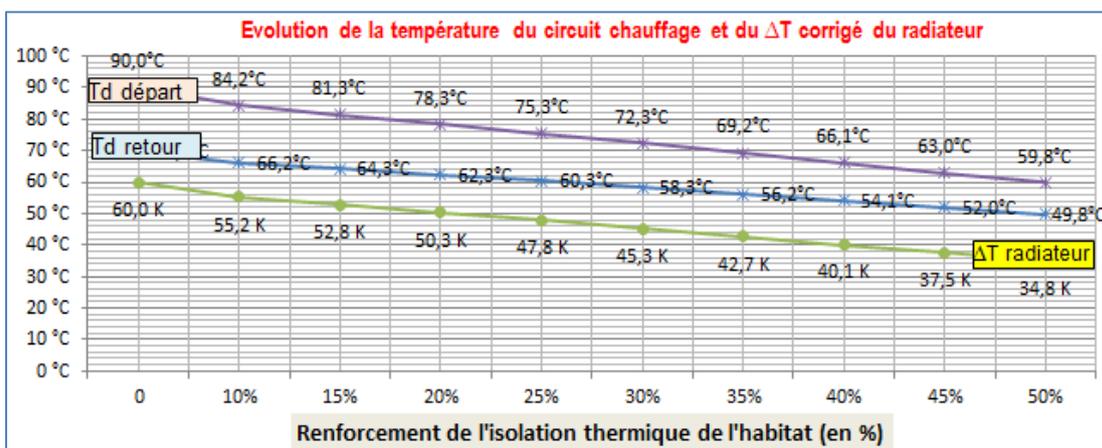
Les mesures suivantes sont particulièrement adaptées pour les bâtiments existants, comme :

- ❖ Le remplacement des fenêtres
- ❖ La réduction de l'aération (Comme le remplacement des châssis de fenêtres par exemple réduisant par conséquence la perméabilité de l'habitat)
- ❖ L'isolation des planchers, des combles et de la façade

Les besoins thermiques étant moindres et un rendement amélioré sur les pertes de chaleur ceci va permettre le cas échéant de s'adapter plus facilement à l'installation d'un générateur de chaleur fonctionnant au bois par hydro-accumulation.

Pour adapter la puissance des corps de chauffe existants (ex. radiateurs) aux besoins réels, il est possible d'abaisser la température du fluide chauffant en fonction de l'amélioration thermique du bâti.

Le ΔT au travers des radiateurs peut être réévalué à partir de la formule précédente, c'est-à-dire l'écart de la température entre l'entrée et la sortie du radiateur dans le cadre d'une rénovation impliquant la mise en place d'une isolation thermique ou autres :



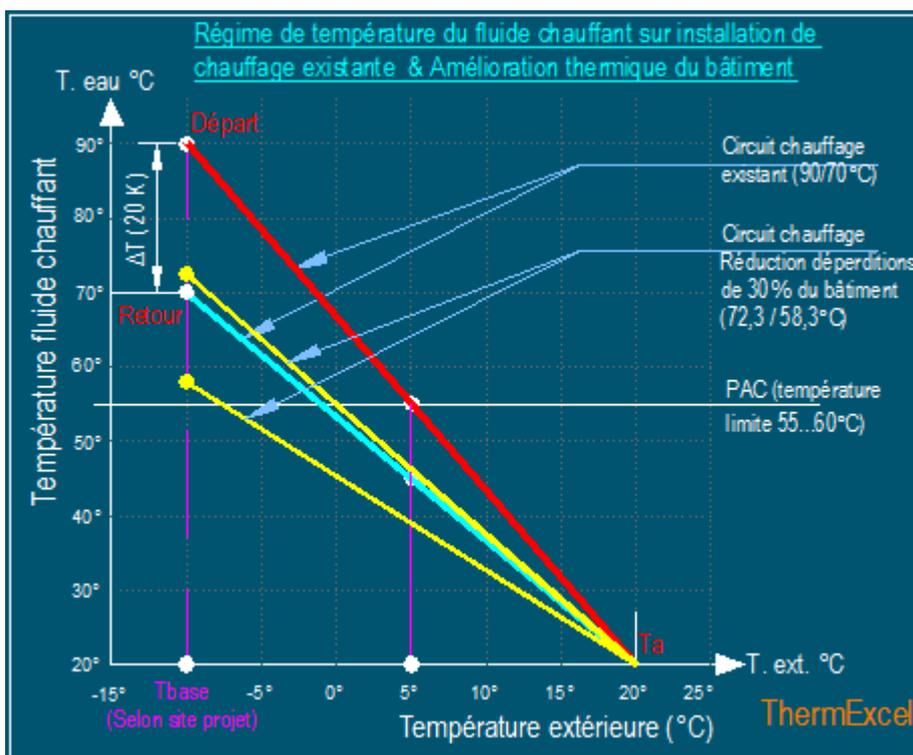
Base de calcul sur 20°C (Température ambiante) et 90/70°C circuit chauffage

Amélioration isolation	ΔT corrigé Emetteurs	Température circuit chauffage		Débit circuit ΔT corrigé	Radiateur Emission
		Td (Départ)	Tr (Retour)		
0	60,00 K	90,00 °C	70,00 °C	20 K	100%
10%	55,22 K	84,22 °C	66,22 °C	18 K	90%
15%	52,79 K	81,29 °C	64,29 °C	17 K	85%
20%	50,33 K	78,33 °C	62,33 °C	16 K	80%
25%	47,84 K	75,34 °C	60,34 °C	15 K	75%
30%	45,31 K	72,31 °C	58,31 °C	14 K	70%
35%	42,74 K	69,24 °C	56,24 °C	13 K	65%
40%	40,13 K	66,13 °C	54,13 °C	12 K	60%
45%	37,47 K	62,97 °C	51,97 °C	11 K	55%
50%	34,76 K	59,76 °C	49,76 °C	10 K	50%

Ainsi par exemple, avec un débit nominal d'eau constant, le fait de diminuer sur le départ de 90°C à 60°C la température de l'eau, la puissance du radiateur est réduite de 50%

Le débit d'eau dans le circuit hydraulique sera toujours le même sauf que la quantité d'énergie à transférer sur le circuit hydraulique sera moindre on aura donc forcément un ΔT plus faible, par exemple :

- ❖ Déperditions à la base : 20 kW (Débit deau avec un ΔT de 20°C) = 860 l/h
- ❖ Déperditions après rénovation : 10 kW, débit toujours le même, 860 l/h = ΔT = 10°C



$$\Delta T = EXP \cdot \frac{LN(Tr \cdot 181,239)}{1,27} \text{ avec :}$$

- ❖ ΔT = Ecart de température entre l'entrée et la sortie du radiateur.
- ❖ Tr = Taux de réduction des déperditions de l'habitat.

Surpuissance chaudière et radiateurs dans les installations existantes

Dans la plupart des anciennes installations de chauffage, la puissance de chaque radiateur correspond aux déperditions du local sont majorées (ainsi que la chaudière) d'une surpuissance de relance nécessaire pour permettre une montée rapide en température après un ralenti de nuit par exemple.

Dans ce cas là en régime permanent en période de grand froid, le système d'installation thermique est en mesure de maintenir le chauffage des différents locaux malgré une chute en température sur le circuit du fluide chauffant sans abaissement de température des locaux en fonction de la surpuissance de l'installation d'origine.

Surpuissance installation	ΔT corrigé Emetteurs	Température circuit chauffage		Débit circuit ΔT idem	Radiateur Emission
		Td (Départ)	Tr (Retour)		
1,00	60,00 K	90,00 °C	70,00 °C	20 K	100%
1,05	57,74 K	87,74 °C	67,74 °C	20 K	95%
1,10	55,66 K	85,66 °C	65,66 °C	20 K	91%
1,15	53,75 K	83,75 °C	63,75 °C	20 K	87%
1,20	51,98 K	81,98 °C	61,98 °C	20 K	83%

Par exemple selon le tableau ci-dessus, si l'installation à la base est surdimensionnée de 20% avec un régime d'eau 90°/70° (ΔT de 20 °C), l'installation peut fonctionner correctement avec une chute de température d'environ 8°C sur le circuit chauffage (82°/62°- ΔT de 20 °) sans affecter le fonctionnement de l'installation et ceci avec des déperditions à la température extérieure de base.

Pour 1 m3 d'eau stockée dans l'hydroaccumulateur et dont la température baisse de 8°C, la quantité de chaleur utilisable en plus sur une heure sera donc de 9,3 kW soit l'équivalent d'une heure de chauffe en plus dans bien souvent des cas en période de grand froid.

Feuille de calcul intégrée dans le programme Thermabois

Correction d'émission de chaleur selon le régime de température (Installations existantes)
 La plupart des installations de chauffage par radiateurs existantes ont été dimensionnées pour un régime d'eau 90°/70°C (DT 60 K), Pour des régimes de température autre qu'un delta T de 60 K - Si la température du circuit chauffage est différente, l'émission de chaleur du radiateur va croître ou décroître selon que la température du circuit est élevée ou plus basse.

Température circuit chauffage		ΔT corrigé	Majoration émetteurs
Td (Départ)	Tr (Retour)		
90,00 °C	70,00 °C	60 K	0,05%
85,00 °C	65,00 °C	55 K	11,74%
80,00 °C	60,00 °C	50 K	26,12%
75,00 °C	55,00 °C	45 K	44,17%
70,00 °C	50,00 °C	40 K	67,44%
65,00 °C	45,00 °C	35 K	98,38%
60,00 °C	40,00 °C	30 K	141,28%
55,00 °C	35,00 °C	25 K	204,15%
50,00 °C	30,00 °C	20 K	303,79%

- Température de départ de distribution °C : 90°C
 - Température de retour de distribution °C : 70°C
 - Chute de température °C : 20°C
 - Surpuissance chauffage demandée : 100%

Si l'on veut assurer un régime de température 70/50°C, il faudra prévoir un surdimensionnement de 67,5% en surface de chauffe des émetteurs de chaleur par rapport au régime initial de 90/70°C du fluide chauffant avec le même débit de circulation d'eau du circuit chauffage.

Synthèse des déperditions & Puissances équivalentes des radiateurs à installer (Base 60 K)

Repèr	Désignation du local	A Surf	Déperditions & Surpuissanc			Correction surface de chauffe radiateurs			Equipements radiateurs			Annotations choix radiateurs
			Déperditio	Major.	Puissance à installer	Temp. Local	ΔT réel	Habillag e	Surface de chauffe équivalente à prévoir sur un ΔT de ≈40K	Nbre	Débit	
N°		m2	W	%	ΔT 60 K	°C	ΔT K	+ %		l/h	DN12/DN15	
	Rdc											
	Séjour		2000W	20%	2400W	19°C	41,0 K	+62%	3894W	103l/h	1	
	Cuisine		1000W	20%	1200W	18°C	42,0 K	+57%	1889W	52l/h	1	

6-4 - SYSTEMES D'EXPANSION (Chauffage à combustibles solides)

VASE D'EXPANSION FERME (Sans communication avec l'atmosphère)

Généralités

Il est recommandé lors de la conception et de la mise en œuvre d'un vase d'expansion sous pression à diaphragme de suivre les indications suivantes :

- ❖ La position du vase d'expansion dans l'installation de chauffage détermine le point neutre du système. À cet endroit, la pression statique, ou pression finale est toujours constante indépendamment du fonctionnement de la pompe de circulation.
- ❖ Cette position doit être choisie de telle façon que la pression d'aspiration de la pompe soit suffisante pour assurer un fonctionnement correct de la pompe, c'est-à-dire pour éviter tout risque de cavitation. De même le niveau de température sur la membrane du vase d'expansion doit être le plus faible possible.
- ❖ Dépassement de la température maximale de fonctionnement → Un défaut de fonctionnement du thermostat de sécurité peut provoquer une élévation de la température au-dessus de la température maximale de température jusqu'à une valeur limite de dépassement. Cette valeur limite de dépassement sera utilisée pour le dimensionnement du vase d'expansion.

- ❖ Pression initiale nominale (P_o) → La pression initiale nominale sera au moins égale à la pression statique de colonne d'eau P_{st} , augmentée de la pression de vapeur saturante (P_v), → $P_o \geq P_{st} + P_v$
- ❖ La valeur nominale de P_o est normalement de 0,7 bar. Une règle pratique consiste à rajouter, à la place de la pression de vapeur saturante, une valeur forfaitaire de 0,3 bar.

$$P_o = \text{Max} \left(\frac{H_{st}}{10} + \text{Max}(P_v ; 0,3) ; 0,7 \right) \text{ en bar}$$

- ❖ Pression finale normale (P_e) → La pression normale finale ne devra pas être supérieure à la pression de tarage de la soupape de sécurité minorée de la différence de fermeture de la soupape de sécurité (typiquement 10 % de la pression de tarage de la soupape de sécurité). La différence de pression gravifique entre la position du vase d'expansion et celle de la soupape de sécurité sera prise en compte ;

$$P_e = (P_{tar} \cdot 0,9) - \Delta P \text{ pompe et vase} \text{ en bar}$$

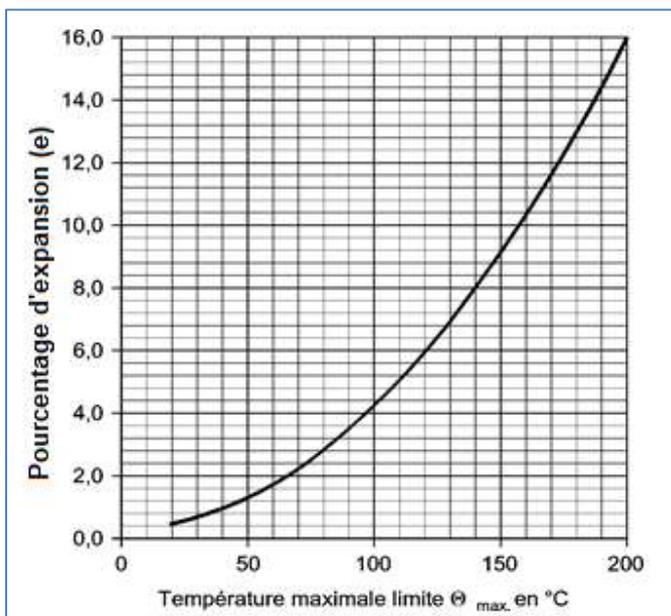
- ❖ le volume total de l'installation (V_{syst}) sera déterminé. Lorsqu'un calcul précis n'est pas possible, une marge de sécurité sera retenue dans l'estimation du volume ;
- ❖ Dans le cas où un inhibiteur chimique est rajouté au fluide caloporteur dans le but de prévenir les phénomènes de corrosion, on veillera à sa compatibilité chimique avec la membrane, ainsi qu'avec les autres composants du circuit.

Dimensionnement du vase d'expansion

Il faut au préalable, déterminer :

- ❖ la contenance en eau en litres du système (V_{syst}), comprend le volume du réseau de tuyauteries, des émetteurs, des générateurs de chaleur, et des circuits auxiliaires,
- ❖ la température maximale limite, θ_{max} , en degrés Celsius (°C),
- ❖ le pourcentage d'expansion (e),

$$V_e = e \cdot \frac{V_{syst}}{100} \text{ en litres}$$



NOTE 1

L'addition d'antigel ou de fluide similaire modifiera le pourcentage d'expansion du liquide et peut également agir sur le matériau composant le diaphragme.

Le volume d'expansion (V_e), en litres, correspondant au pourcentage d'expansion à la température maximale de l'eau :

Le volume de la réserve d'eau (V_{wr}) en litres. En plus du volume d'eau résultant de la dilatation thermique, le vase d'expansion doit contenir une réserve minimale d'eau pour compenser les pertes éventuelles du circuit. Les vases d'expansion d'une capacité inférieure à 15 l devraient disposer d'une réserve correspondant à au moins 0,5 % de la capacité totale du circuit sans être toutefois inférieure à 3 litres

- ❖ la pression hydrostatique (P_{st}) en bar.
- ❖ Les vases d'expansion disponibles sur le marché des installations de chauffage domestiques sont gonflés en usine à une pression de 0,5 bar, 1,0 bar ou 1,5 bar.

Le volume total d'expansion du volume (V_{exp_mini}) en litres, peut maintenant être calculé par la relation suivante :

$$V_{exp_mini} = (V_e + V_{wr}) \cdot \frac{P_e + 1}{P_e - P_0} \text{ en litres}$$

Afin de disposer d'une réserve (V_{wr}), la pression initiale (P_{a_mini}) (pression de remplissage du circuit) à froid, doit satisfaire à la condition suivante :

$$P_{a_mini} \geq \frac{V_{exp_mini} \cdot (P_0 + 1)}{V_{exp_mini} - V_{wr}} \text{ en bar}$$

- ❖ V_{exp_mini} est la capacité du vase d'expansion sélectionné, en litres.

Afin de prévenir le dépassement de la pression finale (P_e), à la température maximale limite, la pression initiale (P_{a_max}), (ou pression de remplissage de l'installation) doit satisfaire à la relation suivante :

$$P_{a_max} \leq \frac{(P_e + 1)}{1 + \frac{V_e \cdot (P_e + 1)}{V_{exp_mini} \cdot (P_0 + 1)}} - 1 \text{ en bar}$$

Avec une chaudière bois la valeur limite de dépassement correspond à la température d'ouverture (95...105°C) de la soupape thermique qui est intégrée dans la chaudière. Le volume de dilatation de l'eau contenue dans l'installation entre 10°C à 105°C est de 4,61% par exemple.

Pourcentage d'expansion (e) en fonction de la température maximale limite, pour une température de remplissage de 10°C.

Un sous-dimensionnement du vase d'expansion provoque des ouvertures fréquentes des soupapes de sécurité lors des montées en température qui conduisent à introduire de l'eau dans le circuit (ces appoints sont une des premières causes de corrosion et donc d'embouage).

En effet :

- ❖ Si la pression de gonflage du vase est insuffisante : au moment du remplissage de l'installation, à froid, le volume d'eau est déjà important dans le vase. Le volume utile du vase qui va pouvoir recueillir la dilatation de l'eau est réduit. Par conséquent, lors des montées en température, la dilatation de l'eau ne peut être absorbée. La pression augmente dans l'installation et dépasse la pression de tarage des soupapes.
- ❖ Si la capacité du vase est insuffisante : le volume utile du vase est alors plus faible que nécessaire pour absorber la totalité du volume d'expansion. Lors de la montée en température,

le volume utile du vase se remplit avant que la température maximale soit atteinte. La pression augmente et les soupapes s'ouvrent.

Dispositifs de sécurité à prévoir en plus avec un vase d'expansion fermé

Avec la mise en place d'un vase d'expansion fermé, il est impératif de prévoir en complément :

- ❖ Une soupape de sécurité sur ou en sortie de chaudière (Sécurité contre la surpression d'eau)
- ❖ Une soupape de sécurité thermique (Sécurité contre la surchauffe de l'eau)

La soupape de sécurité thermique doit assurer une température maximale d'eau de la chaudière inférieure ou égale à 110 °C.

La pression finale doit être inférieure à la pression de tarage des soupapes de sécurité afin qu'elles ne s'ouvrent pas en fonctionnement normal de l'installation. En règle générale, on considère une pression finale de 90 % de la pression de tarage des soupape

Dans la cas ou la chaudière est placée en haut de l'installation (Donc pas de charge statique), pour éviter l'ébullition dans la chaudière, il est important de prévoir une pression minimale (0,7 bar comme préconisé par le DTU, soit l'équivalent de 115°C avant l'ébullition de l'eau) dans la chaudière pour éviter l'ébullition de l'eau qui sera source de bruit et de dégâts.

DIMENSIONNEMENT VASE D'EXPANSION - Selon NF DTU 65.11 P1-1											
Éléments réseaux hydrauliques			Linéaire		Calorifique		Peinture		Contenance eau		
Ø nominal	Ø EXT.	Ø INT.	m	épr	surf/m2/m	Q x surf	surf/m2/m	Q x surf	m	l/m	m x Q
- Circuit (tube cuivre)	10/12	12,00 mm	10,00 mm		25 mm	0,195 m2		0,238 m2			0,079 L/m
- Circuit (tube cuivre)	12/14	14,00 mm	12,00 mm		25 mm	0,201 m2		0,244 m2			0,113 L/m
- Circuit (tube cuivre)	14/16	16,00 mm	14,00 mm		25 mm	0,207 m2		0,255 m2			0,154 L/m
- Circuit (tube cuivre)	16/18	18,00 mm	16,00 mm		25 mm	0,214 m2		0,267 m2			0,201 L/m
- Circuit (tube cuivre)	18/20	20,00 mm	18,00 mm		25 mm	0,220 m2		0,283 m2			0,254 L/m
- Circuit (tube cuivre)	20/22	22,00 mm	20,00 mm		25 mm	0,226 m2		0,299 m2			0,314 L/m
- Circuit (tube cuivre)	26/28	28,00 mm	26,00 mm		25 mm	0,245 m2		0,308 m2			0,531 L/m
- Circuit (tube cuivre)	30/32	32,00 mm	30,00 mm		25 mm	0,257 m2		0,320 m2			0,707 L/m
- Circuit (tube cuivre)	34/38	38,00 mm	34,00 mm		25 mm	0,270 m2		0,333 m2			0,997 L/m
- Circuit (tube cuivre)	40/42	42,00 mm	40,00 mm		25 mm	0,289 m2		0,352 m2			1,256 L/m
- Circuit (tube acier)	12/17	17,20 mm	13,20 mm		25 mm	0,211 m2		0,264 m2			0,137 L/m
- Circuit (tube acier)	15/21	21,30 mm	16,60 mm		25 mm	0,224 m2		0,287 m2			0,216 L/m
- Circuit (tube acier)	20/27	26,90 mm	22,20 mm		25 mm	0,241 m2		0,304 m2	2,53 m2	30 m	0,387 L/m
- Circuit (tube acier)	26/34	33,70 mm	27,90 mm		25 mm	0,263 m2		0,329 m2	5,29 m2	50 m	0,611 L/m
- Circuit (tube acier)	33/42	42,40 mm	36,60 mm		25 mm	0,290 m2		0,353 m2	1,86 m2	14 m	1,052 L/m
- Circuit (tube acier)	40/49	48,30 mm	42,50 mm		25 mm	0,309 m2		0,372 m2			1,418 L/m
- Circuit (tube acier)	50/60	60,30 mm	53,80 mm		50 mm	0,583 m2		0,709 m2			2,272 L/m
- Circuit (tube acier)	60/76	76,10 mm	69,60 mm		50 mm	0,553 m2		0,678 m2			3,003 L/m
- Circuit (tube acier)	80/90	88,90 mm	82,40 mm		50 mm	0,583 m2		0,719 m2			5,330 L/m
- Circuit (tube acier)	107/114	114,30 mm	105,30 mm		50 mm	0,673 m2		0,829 m2			8,704 L/m
Calorifique :					Peinture :		Q x surf :		Volume d'eau :		
					0,7 m2				56,88 L		
Equipements chauffage (valeurs indicatives)			90°/70°C	80°/60°C	70°/55°C	60°/45°C	50°/40°C	40°/30°C	Puis. Inst	LWR/KW	Puis. kW x LWR
- Aerothermes / Ventilateurs-convecteurs : 5 à 6 litres / kW			Selon la température du circuit								
- Radiateurs fonte			14,8 LWR	20,1 LWR	27,9 LWR	36,8 LWR					
- Radiateurs panneaux acier			9,0 LWR	12,1 LWR	15,1 LWR	20,1 LWR			20 kW	10,1 LWR	202,00 L
- Convecteurs			6,5 LWR	7,0 LWR	8,4 LWR	9,8 LWR	13,4 LWR				
- Batteries			5,8 LWR	6,1 LWR	7,2 LWR	7,6 LWR	10,8 LWR				
- Chauffage au sol			9,2 LWR	11,8 LWR	14,7 LWR	18,9 LWR	26,8 LWR				
- chaudière centrale et collectives : 2 l / kW			20 kW 2,0 LWR 40,00 L								
Reservoir Hydro-Accumulateur ==>											1200 L
Calcul du vase d'expansion sous pression d'azote (Vase d'expansion fermé)											
			Critères de base - Volume d'eau du système d'installation Vsyst : 1498,88L - Hauteur statique (dénivelé entre le vase expansion et le point de l'installation) Hst : 10,0 m - Pression différentielle entre le vase et soupape (Si la pompe est entre les) Pd - Pression de vaporisation à 105°C - Affichage si Tmax est > à 100°C Pv : 0,20 bar - Pression initiale nominale installation (Mini par défaut: 0,70 bar) Po : 1,30 bar - Pression finale normale admise Tarage soupape (Ptar) Pe : 2,70 bar - Pression de remplissage installation (P _i) - Température maxi de fonctionnement (95..110°C chaudière bois, 90°C sinon) Tmax : 105 °C								
			Calcul vase d'expansion Facteur d'expansion (n) e : 4,61% Volume d'expansion d'eau (sur Vsyst) Ve : 69,12 L Volume de sécurité d'eau (en cas de perte d'eau) Vwr : 7,49L Volume utile d'absorption en eau du vase d'expansion → 76,62 L Facteur de pression installation : 2,65 Rendement du vase : 37,84% Capacité brute (totale) du vase expansion Vexp_min : 202,49 L								
Si la pompe est montée sur la conduite de retour entre le vase d'expansion et la soupape de sécurité de la chaudière, la pression différentielle de la pompe entre le vase d'expansion et la chaudière sera minorée en plus à la pression de tarage de la soupape pour établir la pression finale dans le calcul de dimensionnement du vase d'expansion			Critères de fonctionnement selon le vase d'expansion sélectionné Capacité brute vase d'expansion sélectionné ≥ Vexp_min Vves : 200 L Pression de gonflage en usine (Pg) Pg : 1,30 bar Pression mini de remplissage d'eau dans l'installation à froid Pa min : 1,30 bar Température de fonctionnement (Tx) lors du remplissage installation Tx : 30 °C Pression de remplissage du circuit à ne pas dépasser (à Tx) : Pa max ≤ 2,25 bar								
			Soupape de sécurité - Ø de raccordement du tube de sécurité Ø du tube intérieur - Capacité utile en % en eau de l'installation Capacité utile du vase d'expansion ouvert - Ø du tube de sécurité Ø du tube intérieur								
La capacité utile du vase d'expansion doit être au moins égale au volume correspondant à la dilatation de l'eau contenue dans l'installation entre 10°C et 105 °C, soit 4,61% en dilatation, dans le cas d'un installation de chauffage bois.											

Note

Un vase surdimensionné n'est jamais préjudiciable au fonctionnement de l'installation. Cependant, une capacité ou une pression de gonflage inutilement élevées engendrent un coût d'achat supérieur et un encombrement plus important.

La sélection de la pression de gonflage du vase est en relation directe avec la hauteur de l'installation au-dessus du vase. Plus la colonne d'eau au-dessus du vase d'expansion est haute, plus la pression de gonflage du vase doit être élevée.

La pression de remplissage recommandée de l'installation (à froid) doit normalement être supérieure de 0,2 à 0,3 bar à la pression de gonflage du vase d'expansion.

Cela permet d'ajouter une quantité d'eau correcte à l'installation en circuit fermé, avec une réserve d'eau minimale dans le vase, et de garantir une pression de service suffisante. Cela permet aussi d'éviter que la soupape de sécurité ne s'ouvre inutilement (en cas de remplissage excessif).

Si la pompe est montée sur la conduite de retour entre le vase d'expansion et la soupape de sécurité de la chaudière, la pression différentielle de la pompe entre le vase d'expansion et la chaudière sera minorée en plus à la pression de tarage de la soupape pour établir la pression finale dans le calcul de dimensionnement du vase d'expansion.

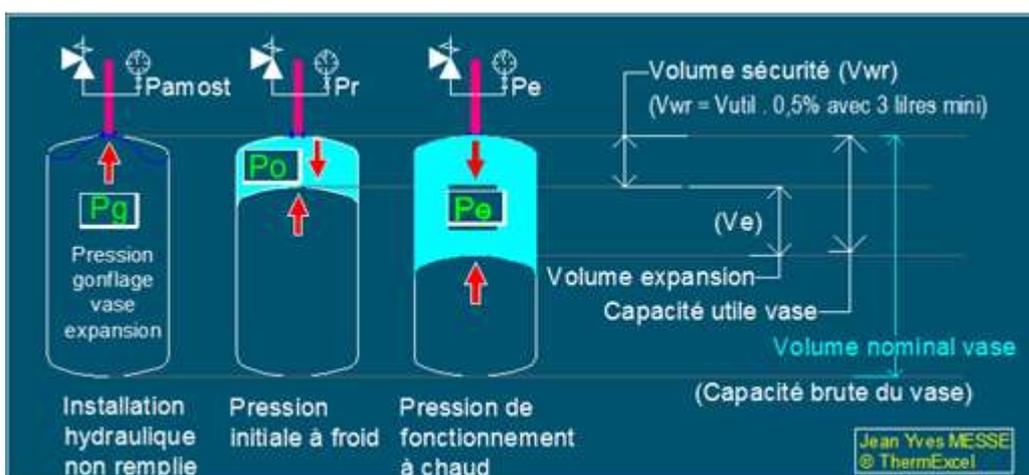
Positionnement de la pompe vis à vis du vase d'expansion

Un mauvais emplacement du vase d'expansion peut occasionner des dysfonctionnements. D'une manière générale le vase d'expansion doit :

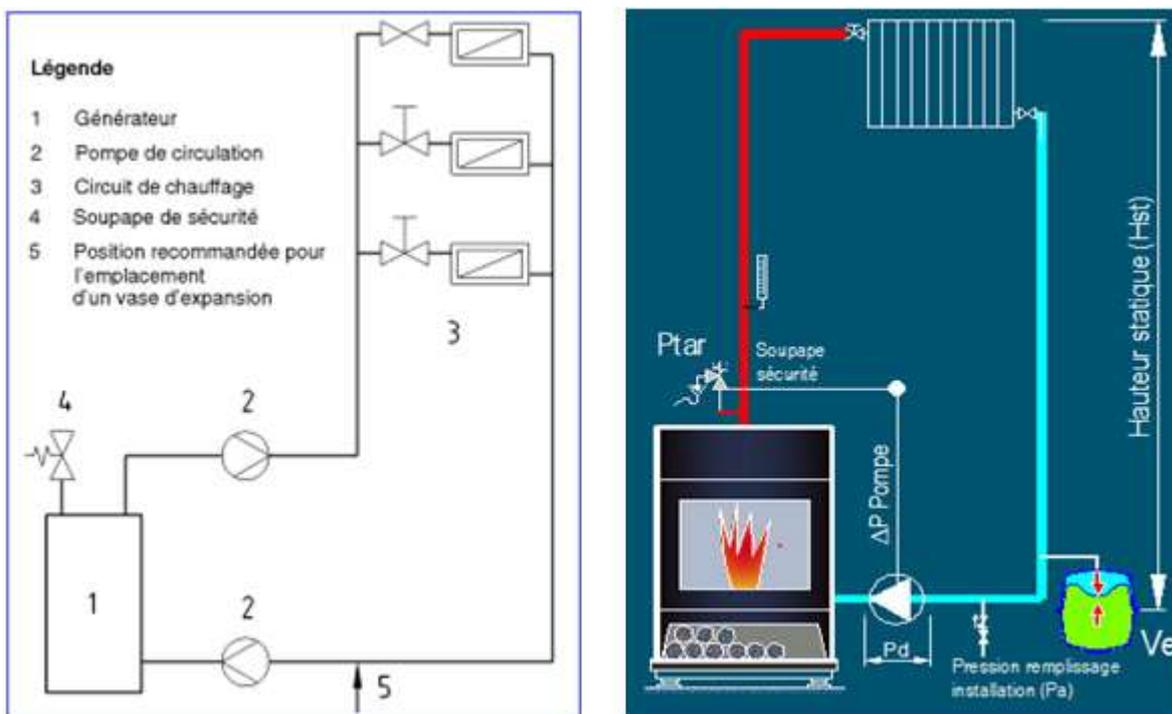
- ❖ être placé en amont du circulateur où la pression minimale doit être conservée pour éviter les phénomènes de cavitation.
- ❖ être implanté le plus près possible du générateur de chaleur de sorte que la perte de pression entre le vase et la chaudière reste la plus faible possible et que la pression minimale de fonctionnement de la chaudière ne soit pas modifiée.
- ❖ être placé à l'endroit où la température de l'eau est la plus basse en l'occurrence sur la canalisation de retour vers la chaudière afin de prolonger la durée de vie de la membrane. La température maximale indiquée par le fabricant de la membrane ne peut pas être dépassée.
- ❖ comporter un dispositif manœuvrable (normalement fermé) de purge de gaz et un dispositif manœuvrable (normalement fermé) de vidange.

Le point de remplissage doit se trouver entre le raccordement du vase d'expansion et l'aspiration de la pompe de circulation.

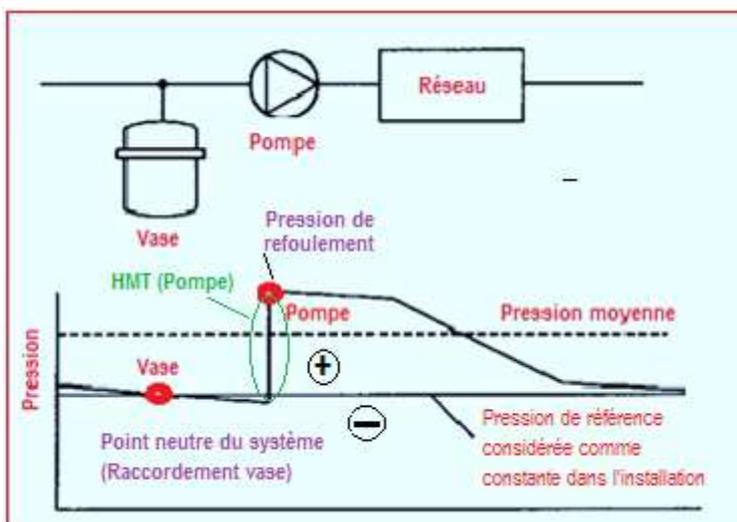
Suivant la position de la pompe par rapport au vase, la pression moyenne, à l'intérieur du vase, sera modifiée.



Position recommandée du vase d'expansion



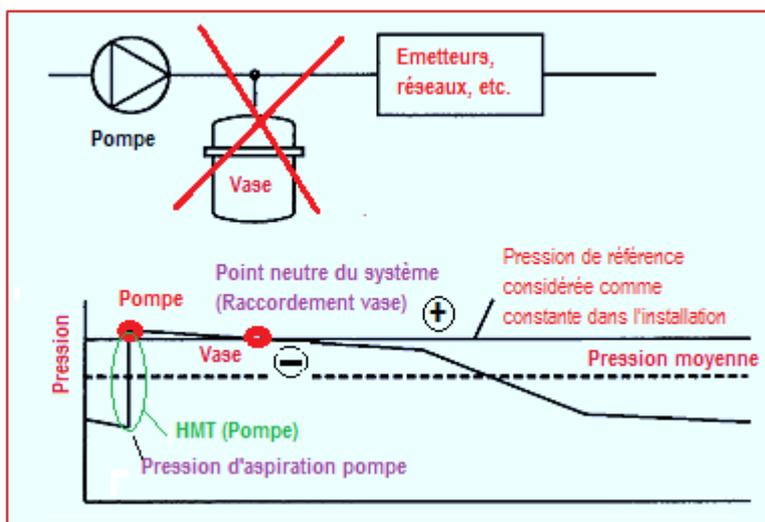
Situation acceptable *



En effet, les positions relatives de ce dernier et de la pompe de circulation peuvent contribuer à des entrées d'air parasites par dépressions accidentelles (n'oublions pas qu'une installation est en principe étanche à l'eau, elle ne l'est pas à l'air, notamment aux joints et aux bourrages).

Situation à éviter

Un mauvais emplacement du vase d'expansion peut occasionner des corrosions graves et des anomalies de fonctionnement.



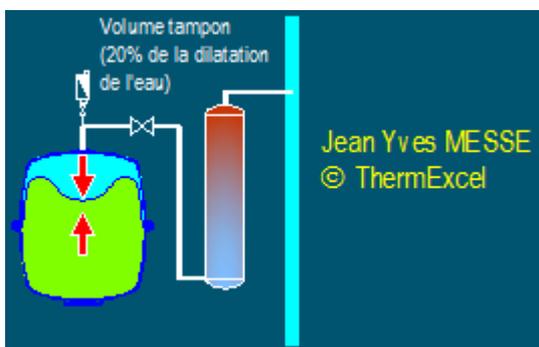
L'évolution de la pression dans le circuit montre qu'il y a des risques de dépression dans les circuits et donc des risques d'entrée d'air. De plus, la membrane du vase est soumise aux sollicitations dynamiques du circulateur et à des températures élevées.

Vase d'expansion haute température

La température de l'eau qui pénètre dans le vase d'expansion à membrane devrait si possible être la plus faible possible comme sur le retour de la chaudière et inférieure à 70°C ce qui au contraire avec des installations thermiques à forte inertie comme le chauffage au bois par exemple en cas d'arrêt intempestif de la pompe de circulation peut provoquer une surchauffe avec une température bien au-delà des 70°C.

Il faut dans ce cas-là prévoir un vase d'expansion pour haute température ou dans le cas contraire pour limiter le risque la mise en place d'un réservoir tampon intermédiaire placé entre le point de branchement sur le réseau chauffage et l'installation du vase d'expansion permettant d'éviter que l'eau à forte température entre en contact avec la membrane du vase d'expansion. Son volume doit si possible au moins être égal à 20 % du volume d'eau de dilution de l'installation.

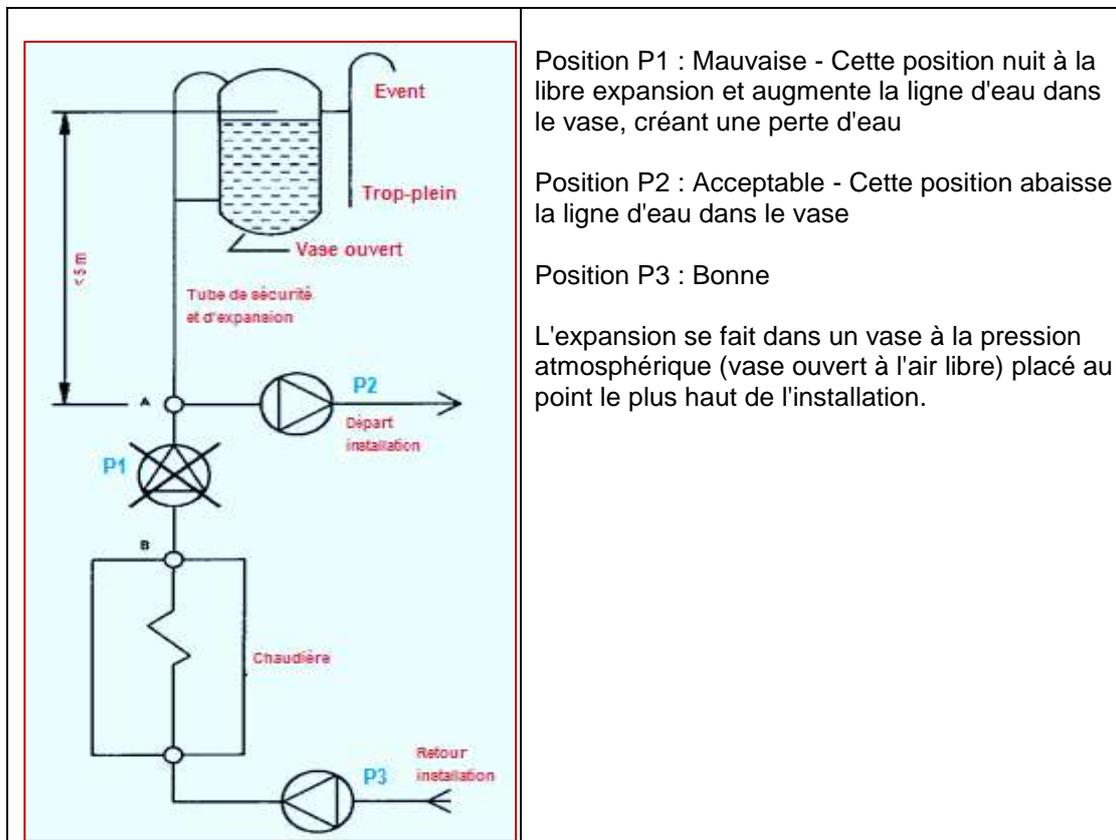
Ce volume tampon doit être tout en longueur pour favoriser la stratification de l'eau et sans isolation thermique permettant une meilleure dissipation de la chaleur. Le raccordement doit se faire coté circuit chauffage par le haut et coté vase d'expansion par le bas.



VASE D'EXPANSION OUVERT (En communication permanente avec l'atmosphère)

Compte tenu de l'évolution des techniques, ce type de vase est de moins en moins utilisé et pratiquement limité à certaines installations équipées de chaudières à combustibles solides (bois, charbon, etc.)

Positionnement de la pompe vis à vis du vase d'expansion



Position P1 : Mauvaise - Cette position nuit à la libre expansion et augmente la ligne d'eau dans le vase, créant une perte d'eau

Position P2 : Acceptable - Cette position abaisse la ligne d'eau dans le vase

Position P3 : Bonne

L'expansion se fait dans un vase à la pression atmosphérique (vase ouvert à l'air libre) placé au point le plus haut de l'installation.