

# RÈGLES DE CONCEPTION DES INSTALLATIONS AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

## 1. PRINCIPE

Dans une installation frigorifique, de la chaleur est rejetée :

- dans la conduite de refoulement par le fluide frigorigène à l'état vapeur surchauffée. La chaleur rejetée est alors de la chaleur sensible ;
- dans le condenseur. La chaleur rejetée est alors dans un premier temps de la chaleur sensible, puis de la chaleur latente de liquéfaction et enfin de nouveau de la chaleur sensible (voir chapitre II) ;
- dans le refroidisseur d'huile des installations comportant un compresseur à vis équipé de ce matériel. La chaleur rejetée est alors de la chaleur sensible.

Il peut être intéressant de récupérer cette chaleur pour chauffer de l'air ou de l'eau. Toutefois, il faut noter que la chaleur massique de l'air est quatre fois inférieure à la chaleur massique de l'eau et qu'il est donc préférable d'utiliser l'eau comme fluide caloporteur.

D'autre part la chaleur latente du fluide frigorigène est beaucoup plus importante que la chaleur sensible. Donc, la récupération de la chaleur rejetée au condenseur sera plus efficace que celle rejetée dans la tuyauterie de refoulement ou au refroidisseur d'huile. Toutefois la mise en œuvre de cette solution est plus compliquée.

## 2. RÉCUPÉRATION DANS LE CONDENSEUR

La récupération de chaleur à l'aide d'un condenseur de récupération nécessite de respecter certaines règles et précautions.

Les impératifs suivants doivent être respectés :

- un système de récupération de chaleur ne peut être envisagé que sur une installation frigorifique qui, en fonctionnement, fournit une quantité de calories suffisante,
- la production frigorifique devra rester prioritaire dans tous les cas,
- la quantité de fluide à introduire dans l'installation sera à estimer le plus précisément possible, de même que la taille du réservoir.

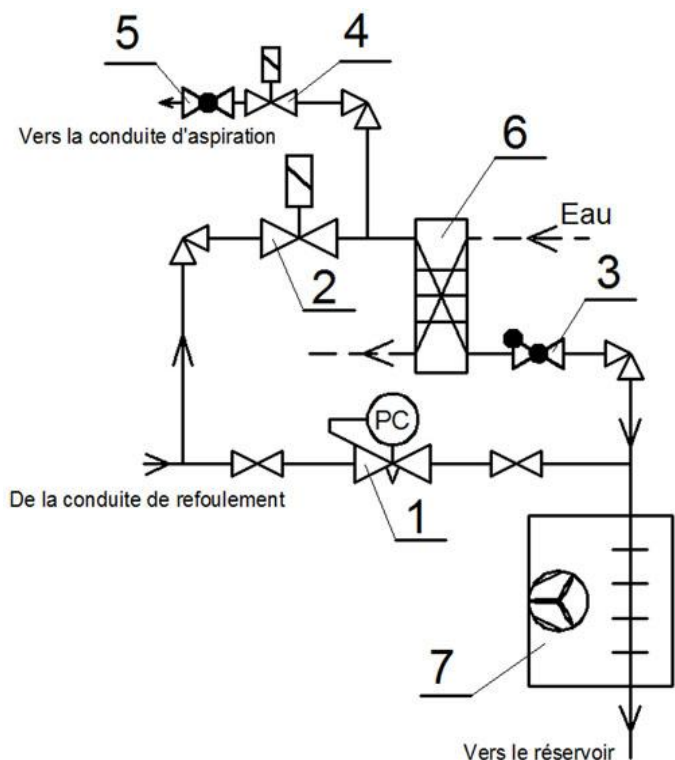
La régulation de base doit comporter :

- une régulation progressive de la pression de condensation permettant de maintenir les valeurs nécessaires pour une récupération suffisante de calories tout en conservant quasiment constant le  $\Delta p$  des détendeurs,
- une régulation progressive de la pression du réservoir H.P permettant sa bonne alimentation en liquide,
- une régulation de la quantité de chaleur récupérable,
- une régulation imposant le démarrage et le maintien du fonctionnement de la production frigorifique sous toutes les conditions.

Le choix de la pression de condensation doit être judicieux. En effet, si plus la température de condensation est élevée, plus il est possible de récupérer des calories, la limite est imposée par l'installation frigorifique qui ne doit pas être pénalisée, par la consommation électrique qui ne doit pas faire perdre ce que l'on a gagné avec le système de récupération de chaleur et par la température de refoulement.

Une température de condensation comprise entre 40°C et 50°C semble un compromis raisonnable pour la plupart des fluides frigorigènes et des installations.

Premier exemple d'installation possible :



- 1 : vanne de régulation de pression amont,
- 2 : électrovanne gaz chauds,
- 3 : clapet anti-retour,
- 4 : électrovanne,
- 5 : vanne d'étranglement manuelle,
- 6 : condenseur de récupération
- 7 : condenseur principal à air forcé.

*Cycle sans récupération de chaleur* : l'électrovanne 2 est fermée. Les gaz de refoulement sont envoyés dans le condenseur principal via la vanne de régulation de pression amont qui s'ouvre pour une augmentation de pression. Le clapet anti-retour 3 empêche le retour des gaz dans le condenseur de récupération.

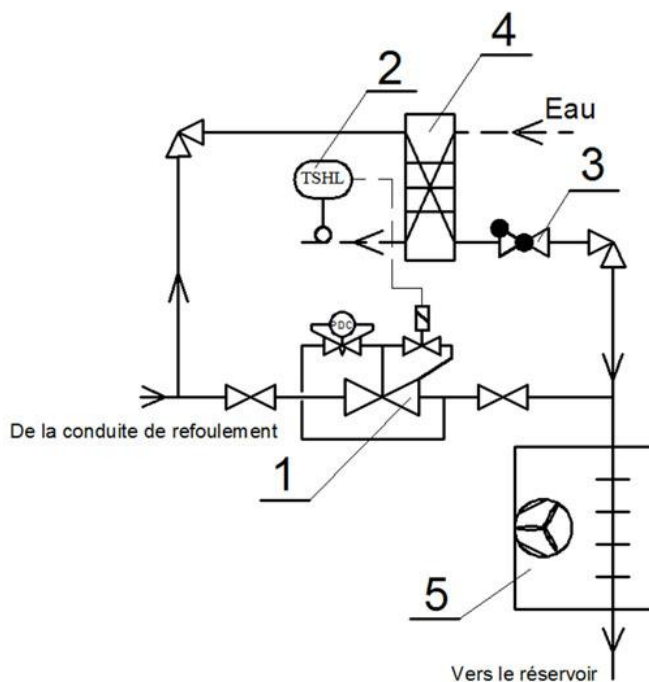
*Cycle avec récupération de chaleur* : l'électrovanne 2 est ouverte par l'intermédiaire d'un thermostat par exemple. Les gaz de refoulement entrent dans le condenseur de récupération. La vanne de régulation de pression amont se ferme progressivement car sa pression d'entrée chute, mais, si la pression des gaz de refoulement venait à remonter, elle s'ouvrirait de nouveau pour laisser passer une partie des vapeurs vers le condenseur principal.

*En cas d'inactivité longue du condenseur de récupération* : il y a alors risque d'accumulation de liquide dans l'appareil. L'électrovanne 4 et la vanne d'étranglement manuelle 5 permettent l'évaporation périodique des condensats.

Ce système de récupération de chaleur peut s'appliquer aussi à l'air en utilisant un aérotherme en lieu et place de l'échangeur à plaque.

Deuxième exemple d'installation possible :

- 1 : vanne pilotée à deux pilotes, une vanne de régulation de pression différentielle et une électrovanne,
- 2 : thermostat,
- 3 : clapet anti-retour,
- 4 : condenseur de récupération,
- 5 : condenseur principal à air forcé.



Ce système de récupération de chaleur convient aux installations avec plusieurs compresseurs en parallèle ou avec régulation de puissance du compresseur.

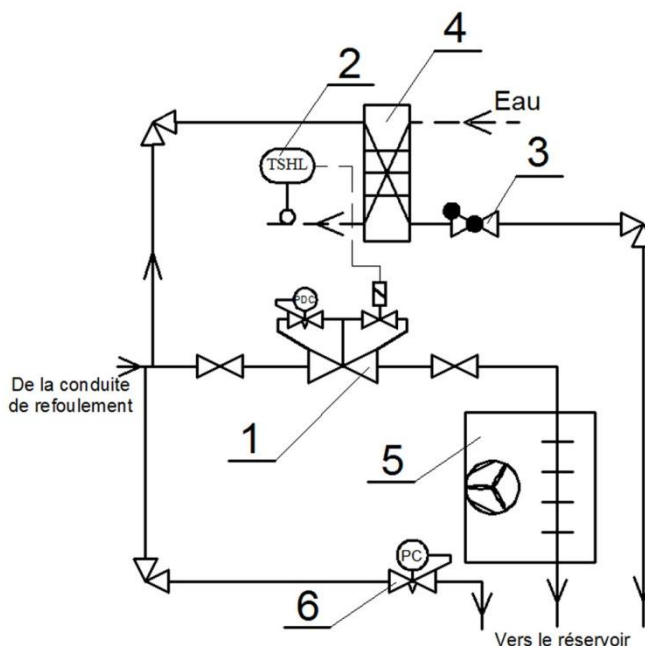
À faible puissance, tous les gaz de refoulement traversent le condenseur de récupération et poursuivent dans le condenseur principal.

Plus la puissance frigorifique augmente, plus la différence de pression entre l'entrée et la sortie de la vanne 1 augmente. Lorsque cette différence dépasse la valeur réglée sur la vanne de régulation de pression différentielle pilote, la vanne pilotée 1 s'ouvre progressivement et une partie des vapeurs est envoyée directement dans le condenseur principal.

Lorsque la température de l'eau (ou de l'air) souhaitée est atteinte, le thermostat active l'électrovanne pilote qui permet à la vanne pilotée 1 de s'ouvrir complètement.

Troisième exemple d'installation possible :

- 1 : vanne pilotée à deux pilotes, une vanne de régulation de pression amont et une électrovanne,
- 2 : thermostat,
- 3 : clapet anti-retour,
- 4 : condenseur de récupération,
- 5 : condenseur principal à air forcé.
- 6 : vanne de régulation de pression aval.



Ce système de récupération de chaleur convient aux installations avec plusieurs compresseurs en parallèle ou avec régulation de puissance du compresseur, pour le chauffage de l'eau d'un chauffage central par exemple.

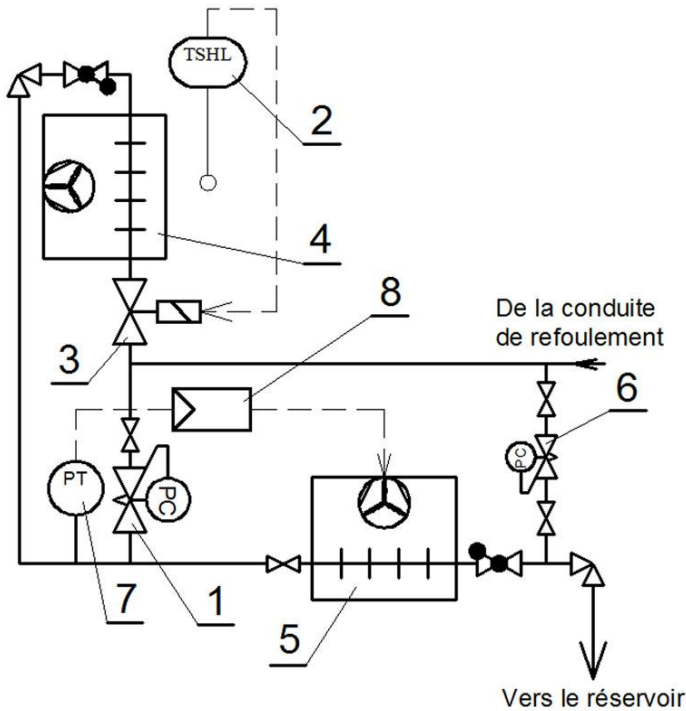
*Cycle sans récupération de chaleur* : la vanne pilotée 1 est maintenue ouverte par le pilote électrovanne activée par le thermostat. Les gaz de refoulement passent par le condenseur principal.

*Cycle avec récupération de chaleur* : l'électrovanne pilote se ferme entraînant la fermeture de la vanne pilotée 2. Les gaz de refoulement passent en priorité dans le condenseur de récupération. Si la pression de condensation monte et dépasse la valeur de réglage de la vanne de régulation de pression amont pilote, elle entraîne l'ouverture progressive de la vanne pilotée et une partie du débit de gaz de refoulement est dirigé vers le condenseur principal.

La vanne de régulation de pression aval permet de conserver une pression de réservoir relativement constante pour garantir une bonne alimentation des détendeurs.

Le clapet anti-retour 3 empêche le retour de réfrigérant dans le condenseur de récupération.

Quatrième exemple d'installation possible :



- 1 : vanne de régulation de pression amont,
- 2 : thermostat,
- 3 : électrovanne gaz chaud,
- 4 : condenseur de récupération,
- 5 : condenseur principal à air forcé.
- 6 : vanne de régulation de pression aval,
- 7 : transmetteur de pression,
- 8 : régulateur.

*Cycle sans récupération de chaleur :* L'électrovanne 3 est fermée via le thermostat 2 sur l'air du local à chauffer. La totalité des gaz de refoulement est dirigé vers le condenseur principal. La vanne de régulation de pression amont s'ouvre progressivement avec l'augmentation de la pression de refoulement. Dans le même temps le régulateur 8, en comparant sa valeur de consigne et la valeur de la pression transmise par le transmetteur de pression 7, fait varier la vitesse de rotation du moteur du ventilateur du condenseur principal afin d'ajuster la puissance du condenseur au débit de fluide frigorigène.

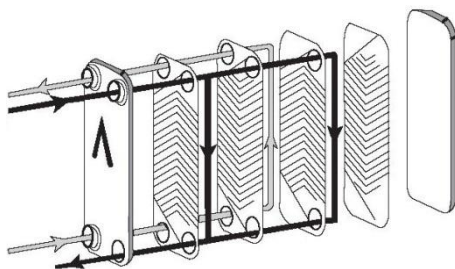
*Cycle avec récupération de chaleur :* l'électrovanne 3 s'ouvre via la commande du thermostat 2. Les gaz de refoulement se dirigent vers le passage présentant la plus faible perte de charge, c'est à dire vers le condenseur de récupération 4 et poursuivent vers le condenseur principal. La vanne de régulation de pression 1 se referme progressivement.

La vanne de régulation de pression aval permet de conserver une pression de réservoir relativement constante pour garantir une bonne alimentation des détendeurs.

Quelque soit le montage choisi, la puissance récupérée sur le condenseur de récupération est égale au débit massique de fluide frigorigène dans la conduite de refoulement multiplié par la différence d'enthalpie entre l'entrée et la sortie de ce condenseur.

### 3. LE DÉSURCHAUFFEUR

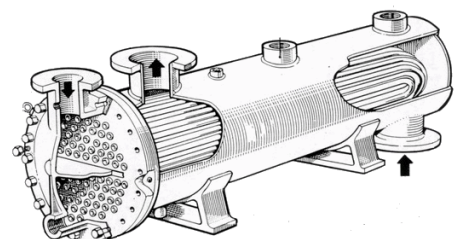
Le désurchauffeur, comme son nom l'indique, est un échangeur placé entre la sortie du compresseur et l'entrée du condenseur pour récupérer la chaleur de désurchauffe des gaz de refoulement.



qui ont la même fonction.

Dans la plupart des cas, c'est maintenant un échangeur à plaques qui permet de chauffer de l'eau à des températures supérieures à 60°C.

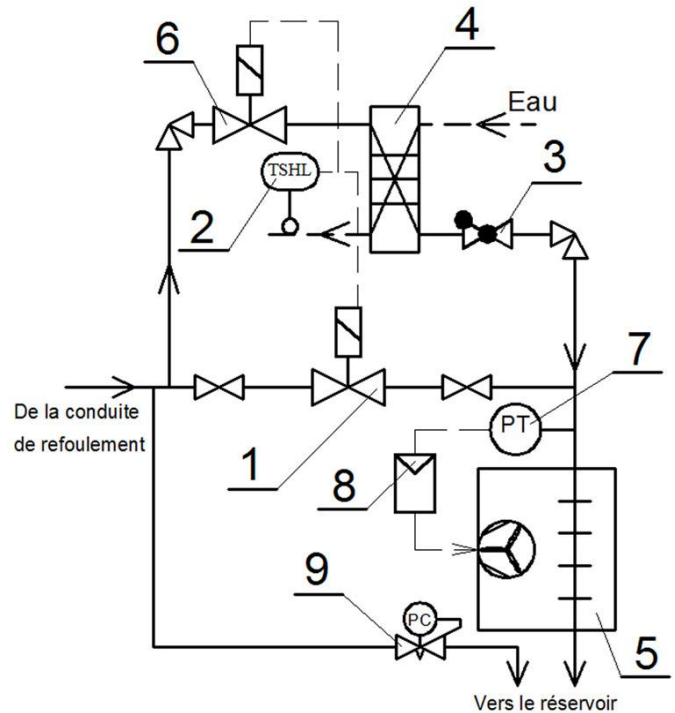
Mais, on peut encore trouver des échangeurs multitubulaires



Pour éviter un phénomène de pré-condensation dans un échangeur non prévu pour la circulation de liquide, on choisit une température de sortie du fluide frigorigène légèrement supérieure à la température de début de condensation.

Exemple d'installation :

- 1 : électrovanne N.O.,
- 2 : thermostat,
- 3 : clapet anti-retour,
- 4 : condenseur de récupération,
- 5 : condenseur principal à air forcé.
- 6 : électrovanne N.F.,
- 7 : transmetteur de pression,
- 8 : régulateur,
- 9 : vanne de régulation de pression aval.



*Cycle sans récupération de chaleur :* L'électrovanne 6 est fermée et l'électrovanne 1 est ouverte car le contact du thermostat est ouvert. La totalité des gaz de refoulement est envoyée dans le condenseur principal. La régulation de pression de condensation est assurée par un transmetteur de pression 7 et un régulateur 8 qui adapte la vitesse de rotation du moteur électrique du ventilateur au débit de fluide frigorigène. Le clapet anti-retour 3 évite le retour de réfrigérant dans le désurchauffeur.

*Cycle avec récupération de chaleur :* L'électrovanne 6 est ouverte et l'électrovanne 1 est fermée car le contact du thermostat est fermé. La totalité des gaz de refoulement est envoyée dans le désurchauffeur dans lequel ils subissent une désurchauffe presque complète avant de continuer dans le condenseur principal. La régulation de pression de condensation reste identique au cas précédent.

La vanne de régulation de pression aval permet de conserver une pression de réservoir relativement constante pour garantir une bonne alimentation des détendeurs.

La puissance récupérée sur la désurchauffe des gaz de refoulement est égale au débit massique de fluide frigorigène dans la conduite de refoulement multiplié par la différence d'enthalpie entre l'entrée et la sortie du désurchauffeur.

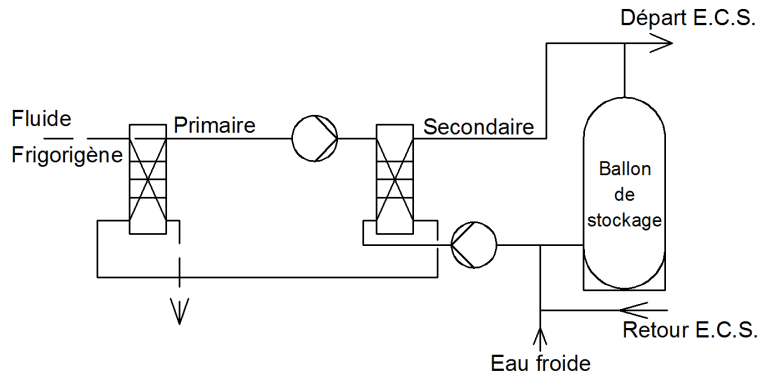
#### 4. L'EAU CHAUDE SANITAIRE

Souvent, la récupération de chaleur est utilisée pour disposer d'une réserve d'eau chaude sanitaire (E.C.S.). Quelques règles sont alors à respecter.

Les deux règles principales sont ;

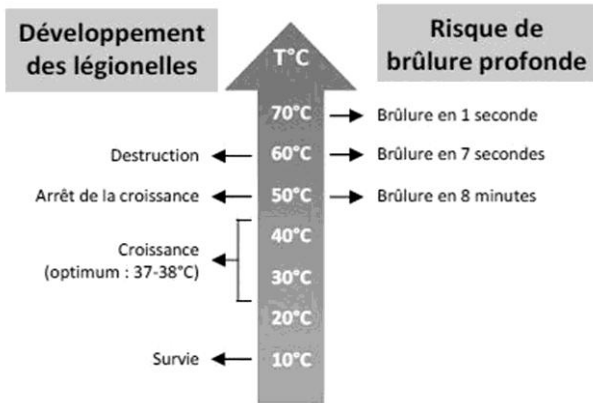
- l'eau ne doit pas être en contact avec un corps polluant qui pourrait mettre en danger la santé humaine,
- maîtriser le risque de développement de légionelles.

La première règle implique l'utilisation d'un échangeur intermédiaire entre l'eau réchauffée par le désurchauffeur ou le condenseur de récupération et l'eau du circuit d'eau chaude sanitaire comme le montre le schéma de principe page suivante :



La seconde règle implique le respect de températures pour éviter la prolifération de la légionelle.

Les légionelles d'origine hydrotellurique se rencontrent dans les réservoirs aquatiques naturels (rivières, lacs, étangs), dans les sols humides, les composts et les boues d'épuration. Même si ces bactéries sont détectables dans des eaux dont la température varie de 6 °C à 63 °C, leur optimum thermique de croissance se situe entre 25 °C et 45 °C (voir image ci-dessous). Ainsi, les légionelles colonisent de nombreuses installations liées à l'activité humaine : principalement les réseaux d'ECS, les installations de refroidissement par dispersion d'eau dans un flux d'air (tours aérorefrigérantes) utilisées pour la climatisation d'immeubles tertiaires ou le refroidissement sur les sites industriels, les bains à remous (« spas ») mal entretenus, mais aussi parfois les équipements de stations thermales, les fontaines décoratives...



Parmi les bactéries les plus couramment isolées dans le biofilm, les légionelles font l'objet d'une surveillance spécifique du fait de leur impact sanitaire. Elles sont en effet responsables de deux types d'affections, l'une bénigne et pseudo-grippale (fièvre de Pontiac) et l'autre, infection respiratoire aiguë (légionellose) transmissible par l'inhalation d'aérosols contaminés.

Pour éviter le risque de maladie, mais aussi les risques de brûlures des usagers, il faut, entre autres contraintes, respecter des valeurs limites au niveau de la production, de la distribution et du puisage d'E.C.S. fixées par l'article 36 de l'arrêté du 23 juin 1978 modifié par l'arrêté du 30

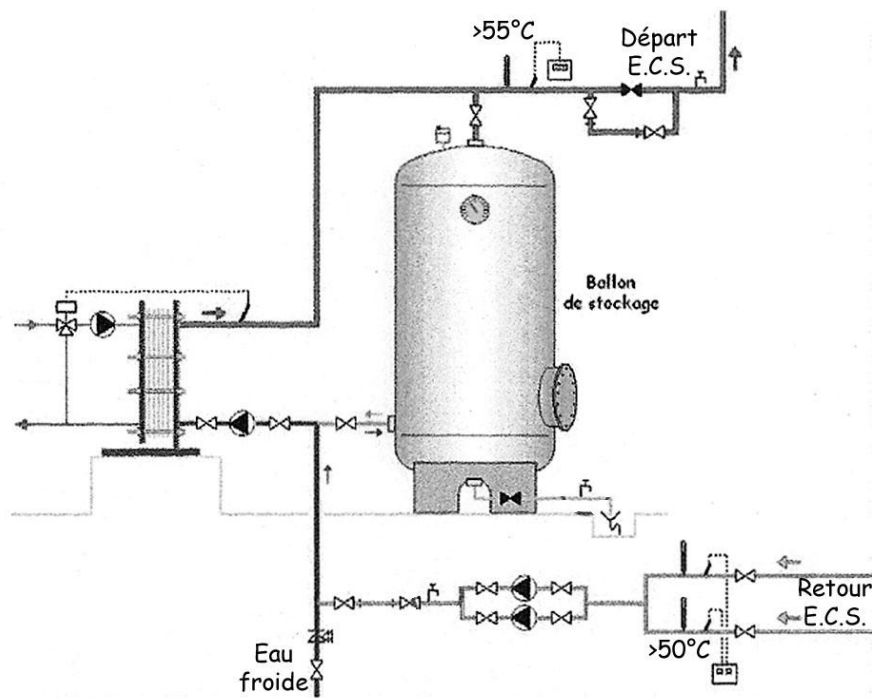
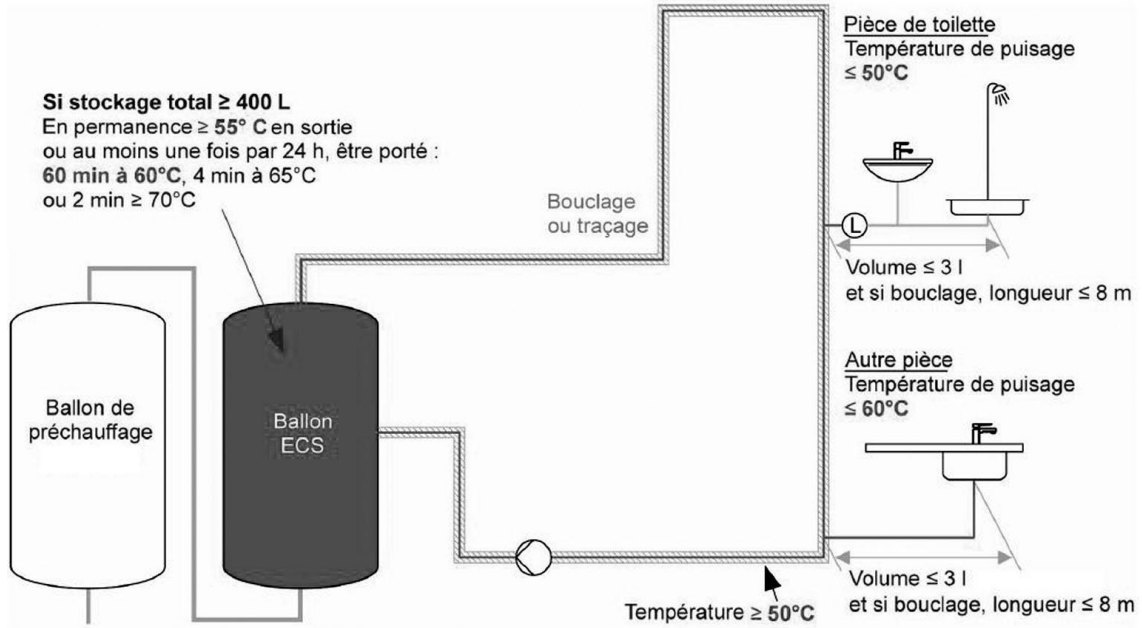
novembre 2005.

Afin de limiter le risque de brûlures, la température d'eau chaude sanitaire à ne pas dépasser aux points de puisage est de 50°C dans les pièces destinées à la toilette et de 60°C dans les autres pièces.

Pour limiter les risques liés au développement des légionelles, si le volume entre la sortie de la production et le point de puisage le plus éloigné est de plus de 3 litres, la température de distribution d'eau chaude sanitaire doit être maintenue à au moins 50°C, excepté dans les tubes finaux d'alimentation des points de puisage qui doivent avoir un volume le plus faible possible et dans tous les cas inférieur à 3 litres.

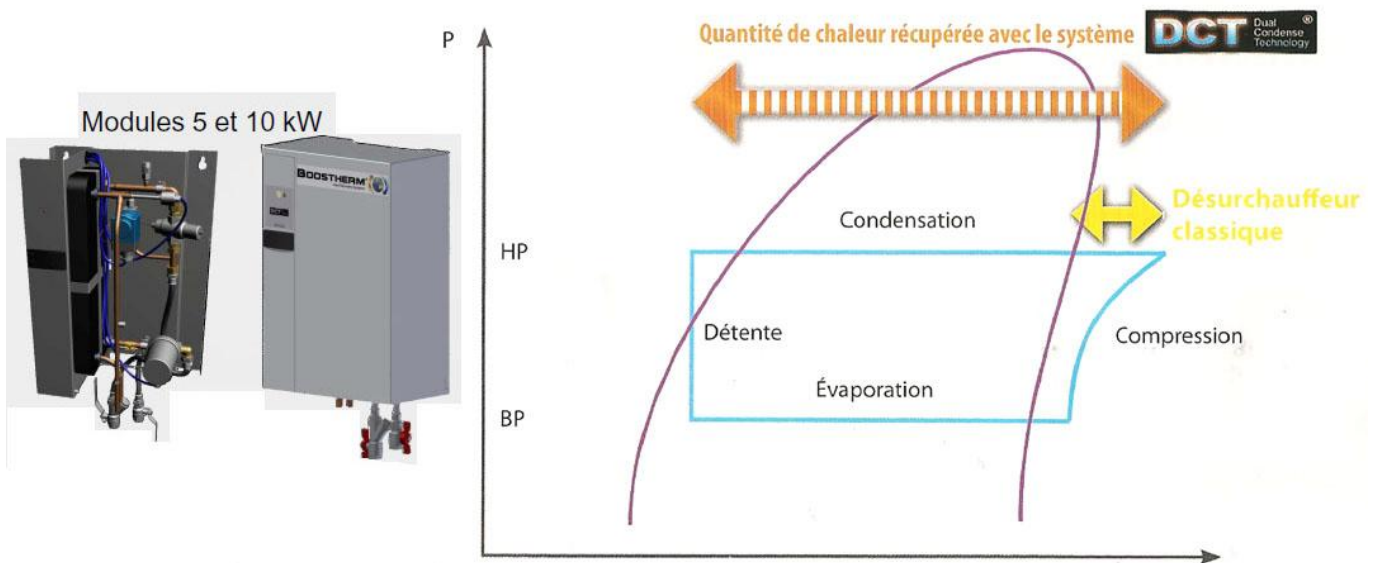
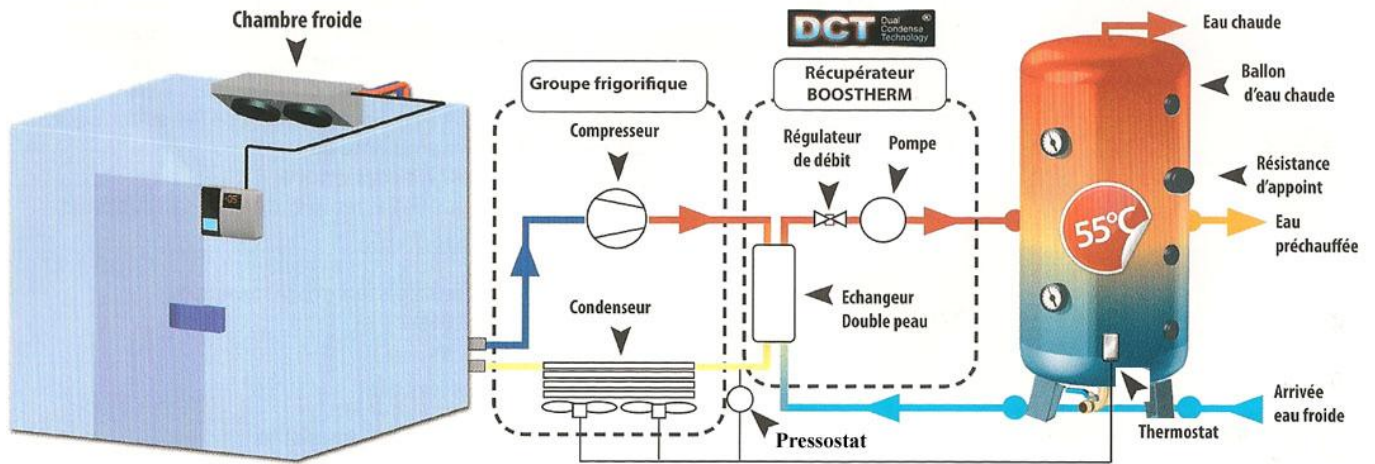
- Par ailleurs, lorsque le volume total d'E.C.S. stockée est supérieur à 400 litres, l'eau chaude sanitaire doit être :
- en permanence à une température d'au moins 55°C à la sortie des ballons,
  - ou être portée au moins une fois par 24 heures au minimum 60 minutes à 60°C ou 2 minutes à au moins 70°C.

Illustrations de ces valeurs :





• **Proposition de matériel par la société Boostherm :**



- Jusqu'à une température d'eau de 55°C, les ventilateurs du condenseur ne fonctionnent pas.
- Au-delà de 55°C, les ventilateurs se mettent en fonctionnement et l'eau peut-être portée à une température de 65/70°C l'été en utilisant la désurchauffe des gaz.

Puissance récupérable W	Durée de fonctionnement en heures				Besoins ECS / J	Economies annuelles	
	1	4	12	16		kWh	€
1 000	16	64	192	256	300	4 500	456 €
2 000	32	128	385	514	400	6 000	608 €
3 000	48	193	580	774	500	7 500	760 €
4 000	65	259	777	1 035	600	9 000	912 €
5 000	81	325	974	1 299	700	10 500	1 064 €
6 000	98	391	1 173	1 564	800	12 000	1 216 €
8 000	131	525	1 575	2 100	1 000	15 000	1 520 €
10 000	165	661	1 983	2 644	1 500	22 500	2 279 €
12 000	200	799	2 396	3 195	2 000	30 000	3 039 €
14 000	235	938	2 815	3 754	3 000	45 000	4 559 €
17 000	288	1 151	3 454	4 605	4 000	60 000	6 078 €
20 000	342	1 368	4 105	5 474	5 000	75 000	7 598 €
25 000	435	1 740	5 219	6 958	6 000	90 000	9 117 €
30 000	531	2 122	6 367	8 489	7 000	105 000	10 637 €
35 000	629	2 517	7 550	10 066	8 000	120 000	12 156 €
40 000	731	2 922	8 767	11 690	9 000	135 000	13 676 €
50 000	942	3 769	11 307	15 076	10 000	150 000	15 195 €
60 000	1 166	4 662	13 986	18 648	15 000	224 900	22 782 €
70 000	1 400	5 601	16 804	22 406	20 000	299 900	30 380 €

Economies annuelles sur la base de 6 jours travaillés x 50 semaines, tarif EDF bleu hors TVA au 01/01/2012 = 10.13 cents.