



Projet SWACool « Potentiel de réduction de la demande de climatisation en climat tropical et optimisation du raccordement des bâtiments à un réseau de froid vertueux »

Tâche 3 : Enseignements du projet :

**Retour d'expérience sur la climatisation des
3 bâtiments tertiaires étudiés à Marseille**

Livrable 3.2

septembre 2020

rédigé par 

Nicolas Andreau andreau@enertech.fr 04 75 90 18 54



Le projet SWACool est lauréat de l'Appel à Projets de Recherche ADEME « Vers des bâtiments responsables à l'horizon 2020 » - 3^{ème} édition.

Référent Réunion : Fabien Picgirard fabien.picgirard@ademe.fr 02 67 71 15 46

Référent métropole : Jean-Pierre Harinck jean-pierre.harinck@ademe.fr 04 91 32 84 62

Table des matières

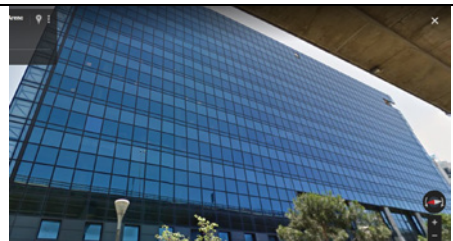
1	Rappel sur les bâtiments et la campagne de mesures.....	3
2	Principaux résultats de l'étude	5
2.1	<i>Caractérisation de la demande de froid des bâtiments</i>	<i>5</i>
2.2	<i>Températures ambiantes dans les bâtiments</i>	<i>9</i>
2.3	<i>Régimes de fonctionnement des productions</i>	<i>10</i>
2.4	<i>Consommation électrique des auxiliaires de climatisation</i>	<i>17</i>
2.5	<i>Focus sur la gestion de la ventilation</i>	<i>18</i>
3	Connexion à un réseau de froid vertueux ?	20

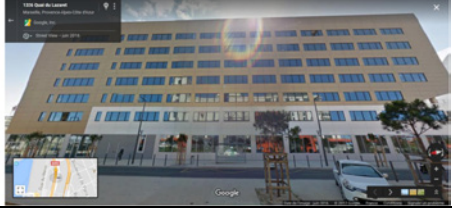
1 Rappel sur les bâtiments et la campagne de mesures

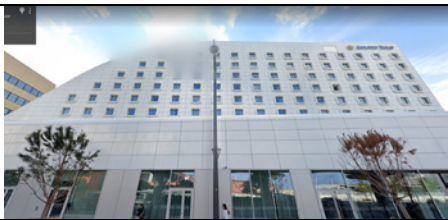
Le volet métropole de l'étude SWACOOOL étudie la climatisation de trois bâtiments à Marseille à travers une campagne de mesures détaillée :

- Le bâtiment de bureaux **Mirabeau2** (CD13) disposant d'une production de froid indépendante.
- Le bâtiment de bureaux **Calypso** (Covivio) connecté au réseau de froid Thassalia.
- L'hôtel **Golden Tulip** (Covivio) connecté au réseau de froid Thassalia.

Les caractéristiques principales des trois bâtiments suivis, de leurs systèmes et de l'instrumentation réalisée sont rappelées dans les tableaux ci-dessous.

	Bâtiment Mirabeau 2 (Marseille)
Maître d'ouvrage	CD13
Année de construction	2002
Surface	16 780m ²
Nombre de niveau	R+11
Fonction	Bureaux
Ventilation	Double flux avec récupération de chaleur, batterie froide sur V2V, batterie chaude électrique
Chauffage	Electrique (batterie ventilo-convecteur)
Climatisation : production	Production de froid indépendante. Production confort (production principale) : 3 groupes froids Carrier (3x575kW _{froid}) soit une puissance installée de 103W/m ²
Climatisation : distribution	Débit constant entre groupes froids et bouteille 3 circuits sur bouteille, débit variable, régime théorique 6-11°C
Climatisation : émission	Ventilo-convecteurs avec batterie froide sur V2V
Instrumentation réalisée	Avril 2017 à avril 2018 : <ul style="list-style-type: none"> - 103 voies électriques (climatisation, ventilation) - 90 points de température (techniques, ambiance) - 2 mesures de débit à ultrason avec un an d'enregistrement - 1 station météo installée en toiture du bâtiment - Pas de données GTC exploitables

	Bâtiment Calypso (Marseille)
Maître d'ouvrage	Covivio
Année de construction	2016
Surface	9 800m ²
Nombre de niveau	R+6
Fonction	Bureaux
Ventilation	Double flux avec récupération de chaleur à roue, pas de batterie
Chauffage	Electrique (batterie ventilo-convecteur)
Climatisation : production	Echangeur froid en sous-station Thassalia : 390kW _{froid} soit une puissance installée de 40W/m ² . Régime théorique 6-14°C
Climatisation : distribution	1 circuit sur échangeur, débit variable, régime théorique 7-15°C
Climatisation : émission	Ventilo-convecteurs avec batterie froide sur V2V (+ détection de présence et d'ouverture des fenêtres)
Instrumentation réalisée	Avril 2017 à avril 2018 : <ul style="list-style-type: none"> - 73 points de mesure posés : voies électrique (sous-station, CTA) et températures techniques/ambiance - Données Thassalia pour le suivi des frigories consommées au primaire échangeur - Données GTC (ambiances, sous-comptages, état des V2V, etc.)

	Bâtiment Golden Tulip (Marseille)
Maître d'ouvrage	Covivio
Année de construction	2016
Surface	9 500m ²
Nombre de niveau	R+6
Fonction	Hôtel 4 étoiles
Ventilation	Double flux avec récupération de chaleur à plaque, batteries chaudes et froides hydrauliques sur V2V
Chauffage	Electrique dans les chambres (batterie ventilo-convecteur)
Climatisation : production	Echangeur froid en sous-station Thassalia : 500kW _{froid}

	soit 53W/m ² Régime théorique 6-14°C
Climatisation : distribution	2 circuits sur échangeur, débit variable, régime théorique 7-15°C
Climatisation : émission	Ventilo-convecteurs avec batterie froide sur V2V (avec détection de présence par carte dans les chambres)
Instrumentation réalisée	Avril 2017 à avril 2018 : <ul style="list-style-type: none"> - 73 points de mesure posés : voies électrique (sous-station, CTA) et températures techniques/ambiance - Données Thassalia pour le suivi des frigories consommées au primaire échangeur - Données GTC (ambiances, sous-comptages, état des V2V, états des CTA, des ventilo-convecteurs, etc.)

2 Principaux résultats de l'étude

2.1 Caractérisation de la demande de froid des bâtiments

Les conclusions principales sur la demande de froid sont les suivantes :

- Les mesures ont mis en évidence une très grande dispersion des consommations surfaciques de froid en énergie utile (Figure 1) : tandis que le bâtiment Calypso a consommé 20kWh_{ut}/m², le Mirabeau 2 a consommé 61kWh_{ut}/m² avec sa production principale (81kWh_{ut}/m² en incluant les climatisations des process informatiques) et le Golden Tulip 89kWh_{ut}/m².
- Ces besoins utiles sont spectaculaires en ordre de grandeur car comparables à des besoins de chauffage. Le climat méditerranéen n'est pas la principale cause de ces niveaux de consommation (des mesures récentes effectuées sur un bâtiment de bureau à Lyon de plus de 30 000m² ont donné 68kWh_{ut}/m²/an). **Ces ratios mesurés montrent que le sujet de la climatisation en métropole, peu abordé à ce jour, est un sujet énergétique prépondérant, d'autant que les canicules estivales ont tendance à se multiplier sur tout le territoire.**

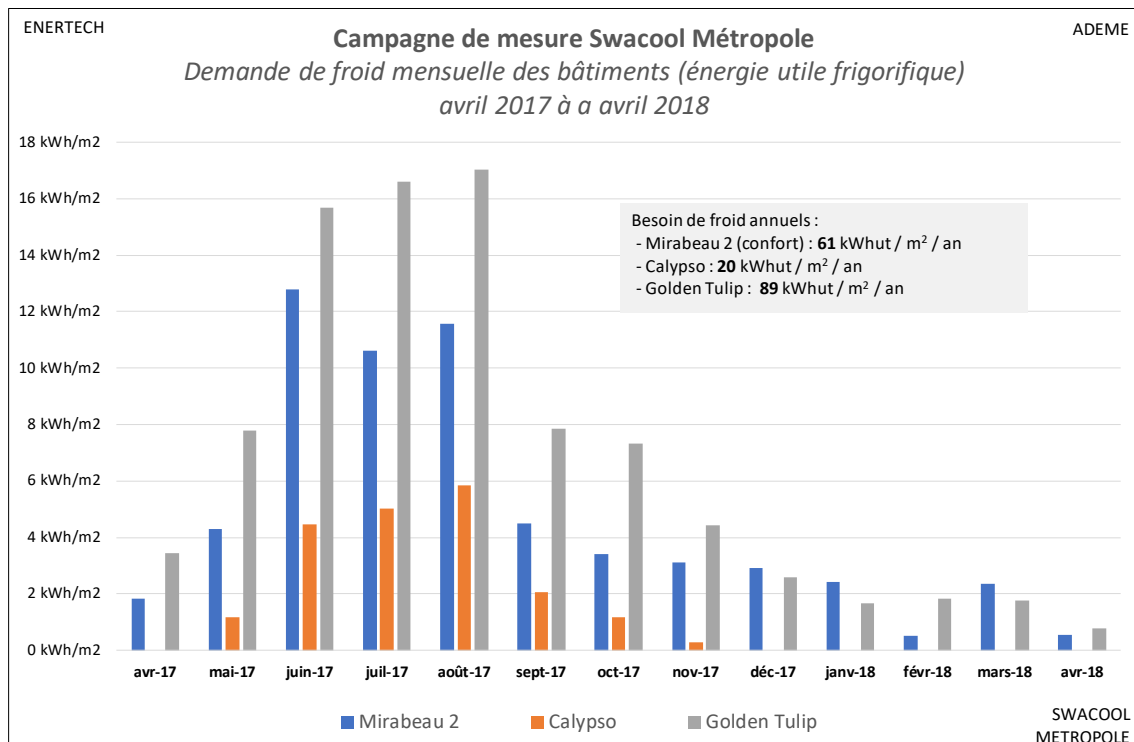


Figure 1 : Consommation de froid utile des trois bâtiments suivis.

- La saisonnalité des consommations des trois bâtiments est forte (Figure 1), avec des consommations estivales très bien corrélées aux « DJU de climatisation ».
- Un point saillant reste toutefois la consommation de climatisation des bâtiments Mirabeau 2 et Golden Tulip en période hivernale. La climatisation des process informatiques n'explique pas ce phénomène. La disponibilité permanente du froid engendre des pertes de distribution ainsi que des conflits de régulation où l'on peut observer la consommation de chauffage et de climatisation dans une même journée dans un local donné (Figure 2).

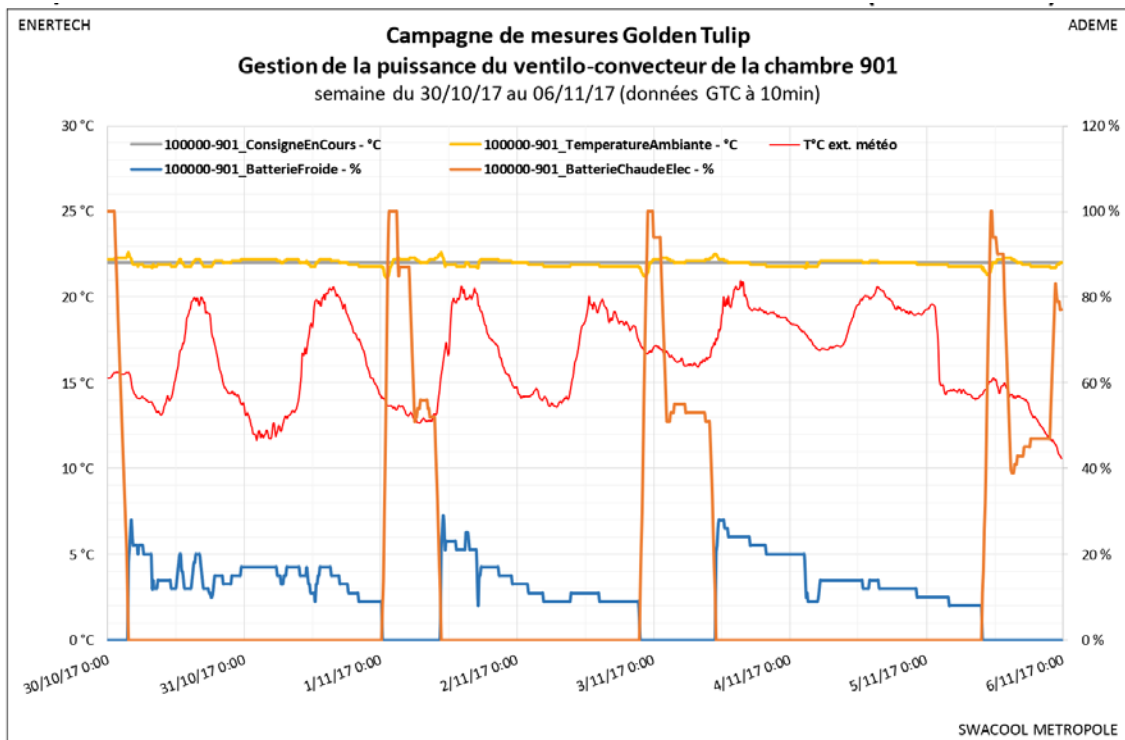


Figure 2 : Exemple de régulation d'un ventilo-convecteur dans une chambre du Golden Tulip.

- La « signature énergétique » des consommations montre pour les trois bâtiments une dépendance très nette des consommations à la température extérieure, avec un talon de consommation constant sous un certain seuil météo (Figure 3). Aucun des bâtiments ne montre de sensibilité particulière des consommations à l'ensoleillement contrairement à ce qui aurait pu être attendu, notamment sur le Mirabeau 2 qui dispose d'une façade vitrée plein ouest. Les apports internes du bâtiment et la gestion des auxiliaires et niveaux de températures (eau glacée, ambiances) sont donc a priori des facteurs de plus grande influence sur la consommation de froid que l'irradiation solaire.

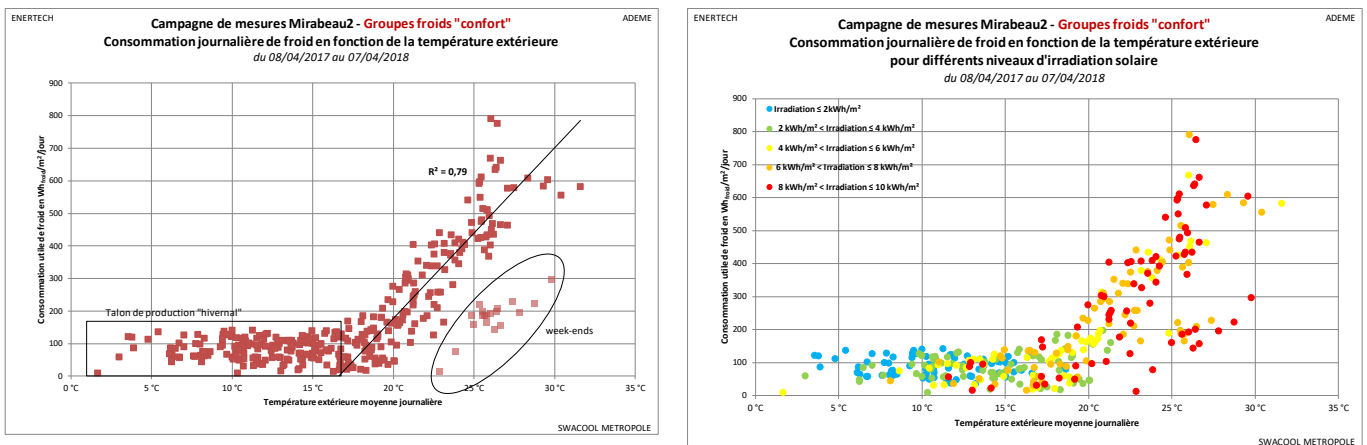


Figure 3 : Signature énergétique de la consommation journalière de froid « confort » du bâtiment Mirabeau2 en fonction de la température extérieure (à gauche) et distinction des niveaux d'ensoleillement (à droite).

- Concernant l'intermittence journalière, une diminution très nette des consommations de climatisation est observée la nuit (-40 à -70% la nuit en juillet août), ainsi que les week-ends sur les deux bâtiments de bureaux. On pourrait toutefois s'attendre à un arrêt total la nuit sur les usages de bureaux, dans la mesure où les charges thermiques (chaleur, apports internes) diminuent considérablement et où la ventilation peut rafraîchir passivement en cas de besoin.
- Enfin concernant les **puissances** utiles de froid appelées, il ressort que l'abonnement du Golden Tulip avec 500kW_{ut} ($53\text{W}_{\text{ut}}/\text{m}^2$) est mieux dimensionné que celui du Calypso avec 390kW_{ut} ($40\text{W}_{\text{ut}}/\text{m}^2$) qui aurait pu se satisfaire de 300kW_{ut} en ne dépassant cette puissance que pendant 10 heures au cours de l'année.

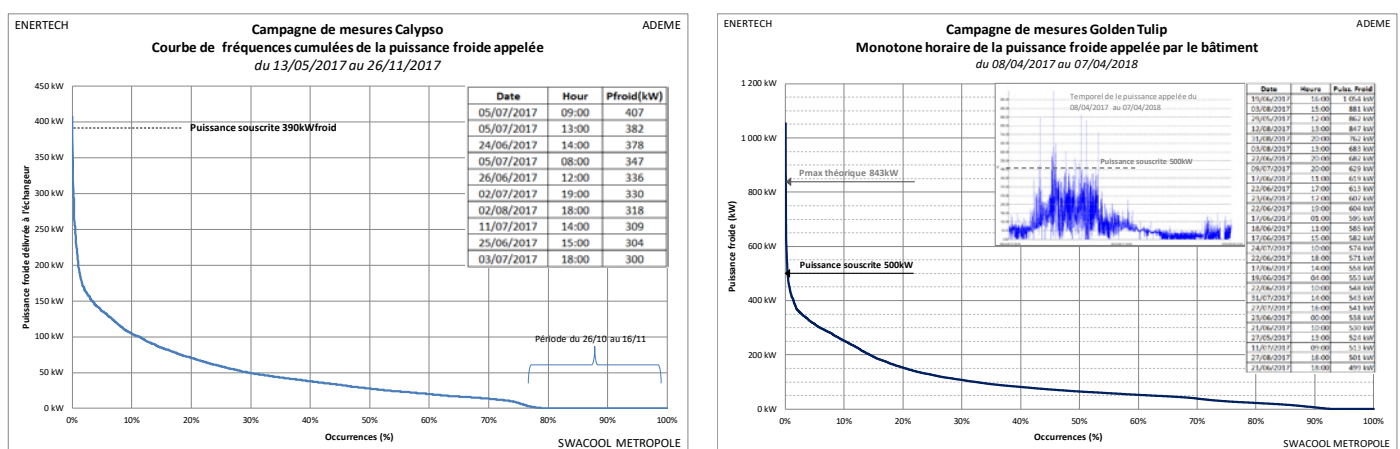


Figure 4 : Monotones des puissances froides appelées sur le Calypso (à gauche) et le Golden Tulip (à droite).

- A noter que la puissance froide consommée est tout de même 4 fois inférieure à la puissance souscrite plus de 75% du temps sur le Golden Tulip et 90% du temps sur le Calypso. Optimiser la variation des régimes de distribution d'eau glacée est donc indispensable.
- Sur le Mirabeau 2 en production indépendante, l'installation de 3 groupes de 575kW_{ut} apparaît surdimensionnée. En effet la puissance horaire maximale produite par les groupes froids « confort » a été mesurée à $939\text{kW}_{\text{froid}}$ ce qui représente $56\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$. La dixième pointe horaire chute à $779\text{kW}_{\text{froid}}$ soit $46\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$. Ces puissances sont plus proches de celles mesurées sur le Calypso ($P_{\text{max}} = 41\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$: $10^{\text{e}}\text{valeur} = 31\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$) que de celles mesurées sur le Golden Tulip ($P_{\text{max}} = 111\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$: $10^{\text{e}}\text{valeur} = 65\text{W}_{\text{froid}}/\text{m}^2$).
- Nous verrons que la gestion de la cascade des groupes froid est par ailleurs problématique sur le Mirabeau 2, au-delà de la puissance installée.

2.2 Températures ambiantes dans les bâtiments

Les analyses fournissent les éléments suivants :

- Les températures ambiantes en juillet/août se situent autour de 25°C dans les deux bâtiments de bureau et 22°C dans le Golden Tulip. La climatisation est donc utilisée largement au-delà du seuil théorique réglementaire de 26°C.
- Le fonctionnement sans interruption de la climatisation se traduit par des variations très faibles des températures ambiantes entre les périodes d'occupation et d'inoccupation des locaux (Figure 5). Un ralenti de nuit plus marqué serait obtenu par simple arrêt des pompes de distribution et des ventilo-convecteurs, générant par là-même une économie importante d'électricité.

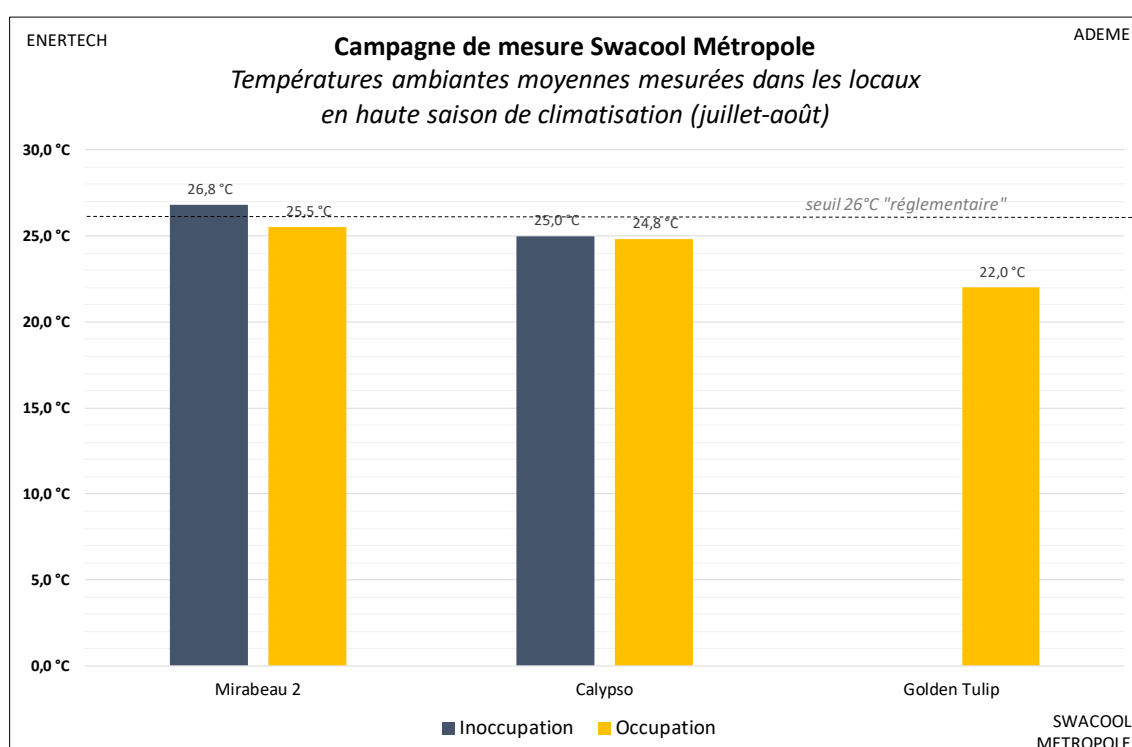


Figure 5 : Températures ambiantes moyennes estivales mesurées dans les bâtiments.

- D'une manière générale, les consignes de températures dans les locaux sont programmées depuis une GTC centrale, l'utilisateur ne disposant que d'une molette permettant de faire varier cette consigne de quelques degrés (typiquement $\pm 2^\circ\text{C}$). Cette pratique nous semble tout à fait adaptée.
- Sur le Golden Tulip les consignes d'ambiance en inoccupation (chambre non réservée) sont réglées très basses (selon la charte de l'établissement), si bien qu'il est fréquent d'observer une augmentation de consigne quand l'occupant prend possession des lieux (Figure 6). Cette pratique mériterait très clairement d'être discutée, tout comme la mise à disposition de la climatisation en hiver.

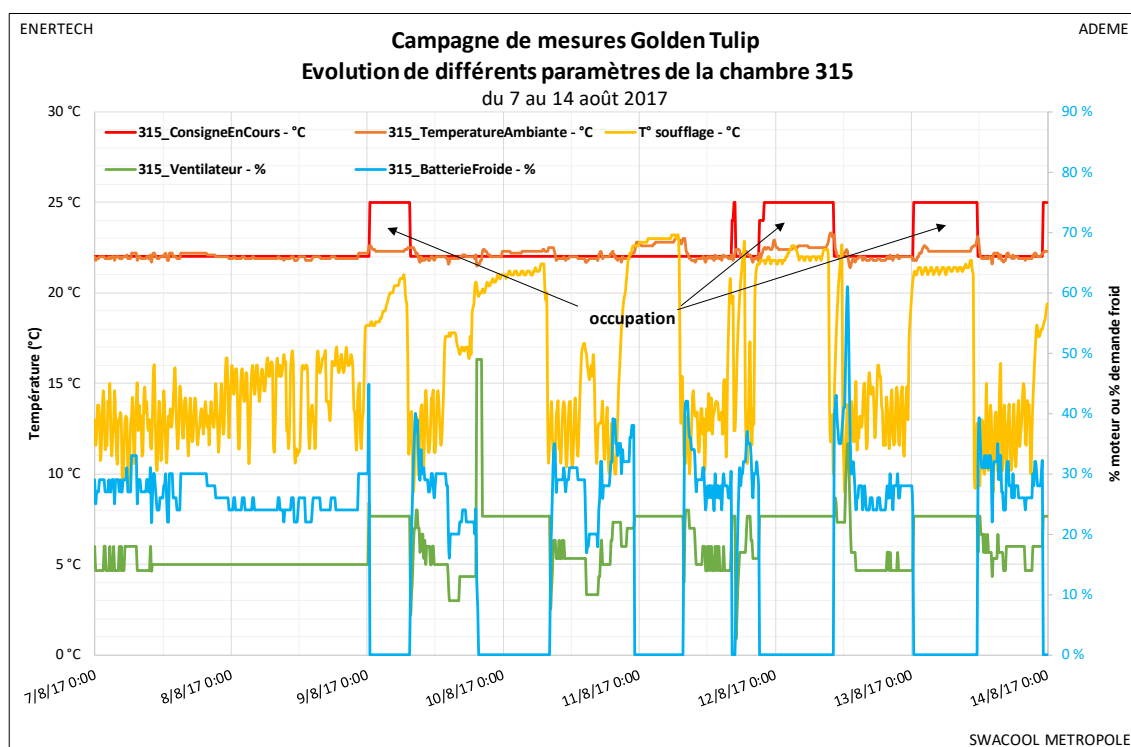


Figure 6 : Exemple de gestion de la température ambiante dans une chambre du Golden Tulip.

2.3 Régimes de fonctionnement des productions

Nous distinguons ici les cas des bâtiments sur réseau froid Thassalia (Calypso, Golden Tulip) du bâtiment en production de froid indépendante (Mirabeau 2).

On rappelle ici que les installations du Calypso et du golden Tulip sont récentes et performantes sur le plan de la conception, tandis que celles du Mirabeau2 sont plus anciennes et *donc a priori* moins performantes notamment sur le plan de la variation des débits.

Calypso et Golden Tulip

Rappel du fonctionnement

Le régime primaire de l'échangeur en sous-station du bâtiment est piloté par Thassalia qui délivre une température d'eau glacée (théoriquement 6°C) et module le débit primaire à travers le pilotage d'une vanne 2 voie (Figure 7). Afin de minimiser le débit de distribution primaire (et donc de réaliser des économies et d'améliorer le COP) Thassalia exige du client que l'eau glacée revienne au secondaire à 15°C au moins, sous peine de pénalités financières. Les régimes théoriques sont donc : 6°C-14°C au primaire et 7°C-15°C au secondaire.

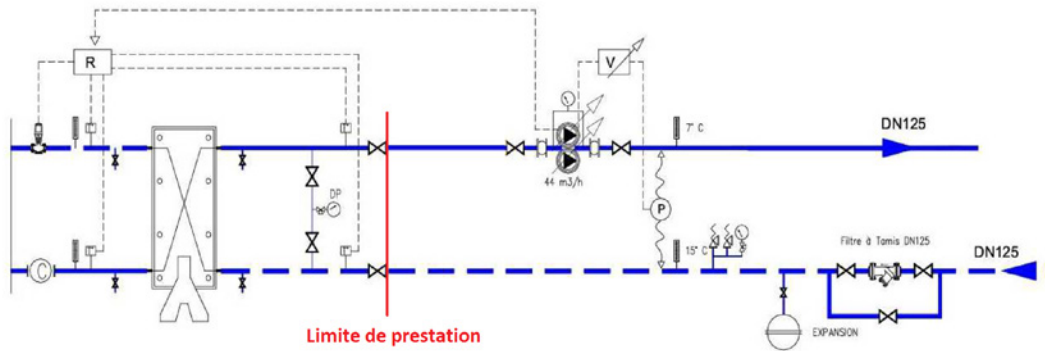


Figure 7 : Schéma de principe de la production de climatisation en sous-station du Calypso.

Conclusions tirées sur le fonctionnement mesuré

Les campagnes de mesures effectuées sur le Calypso et le Golden Tulip amènent les conclusions suivantes :

➤ Régimes primaires (Calypso, Golden Tulip)

- Au primaire, la température de l'eau glacée délivrée n'a pas été constante durant l'année de mesure (Figure 1) ce qui rend très complexe l'analyse des régimes. Elle a été de 6.8°C de moyenne (si l'on exclut les points à débit nul) avec une variation courante dans la plage 4.5°C – 10.5°C (90% du temps). Cette variation entraîne des variations de régime au secondaire (toutes choses égales par ailleurs) : par exemple une température primaire qui augmente engendre une augmentation de température au départ secondaire et donc un affaissement du « delta T » secondaire. La pompe de distribution secondaire consomme alors plus d'énergie pour transmettre l'énergie frigorifique aux émetteurs (car moins de fermeture d'émetteurs donc plus de débit véhiculé).
- La régulation de la vanne 2 voies de Thassalia au primaire semble être réalisée en proportionnel de la puissance prélevée par le bâtiment. Le principe fonctionne puisqu'il permet, globalement, de minimiser le débit primaire. Ceci est vérifié par le fait que le pincement « retour secondaire moins retour primaire » est assez faible donc acceptable (1.4°C sur le Calypso, 1.2°C sur le Golden Tulip).
- En revanche des phénomènes de pompage de la régulation primaire sont observés sur le Calypso et le Golden Tulip (Figure 9). Ceci se traduit par l'envoi de trains de froid dans le bâtiment et nécessiterait une mise au point côté Thassalia.

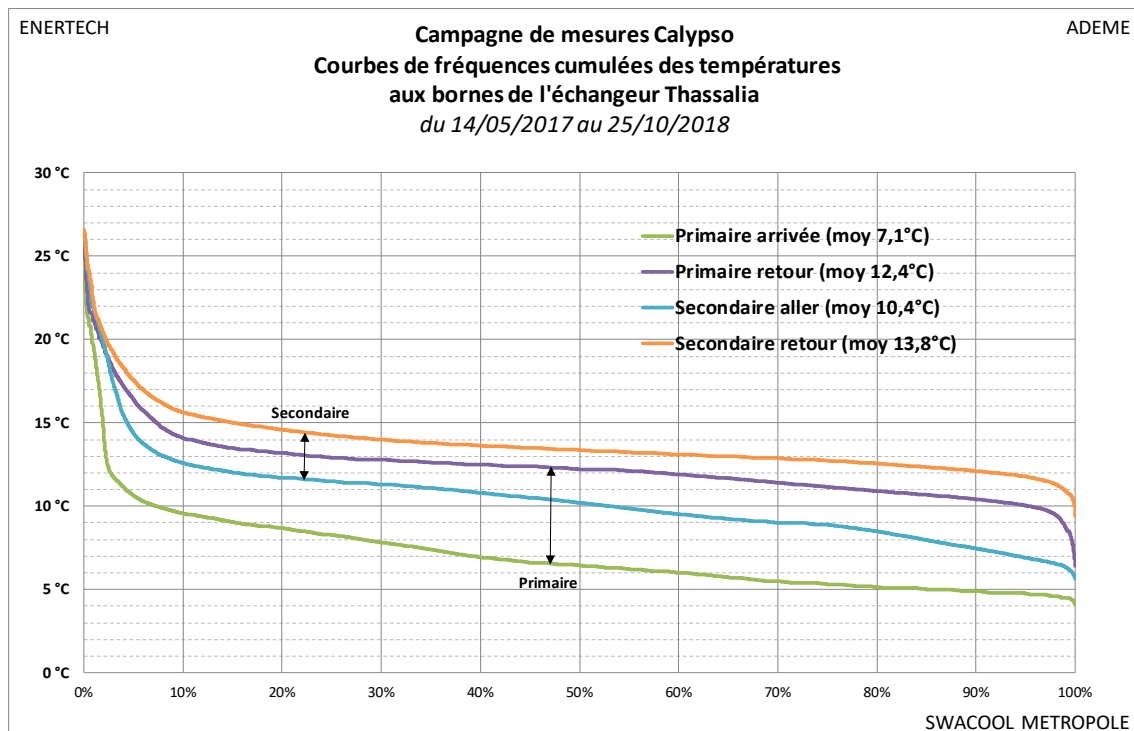


Figure 8 : Monotones des températures primaire/secondaire mesurées aux bornes de l'échangeur froid du Calypso.

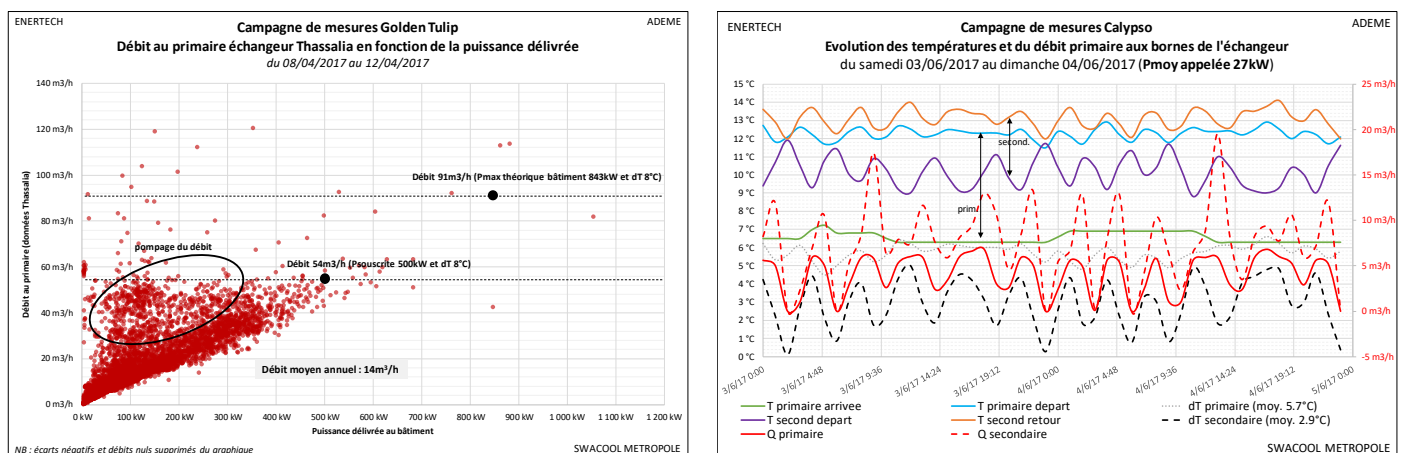


Figure 9 : Deux graphiques illustrant le pompage de la régulation primaire : à gauche sur le Golden Tulip, débit primaire en fonction de la puissance délivrée ; à droite zoom temporel sur un pompage observé à faible puissance sur le Calypso.

➤ Régimes secondaires (Calypso, Golden Tulip)

- **Les régimes réels sont loin des régimes théoriques prévus** (à savoir un départ constant à 7°C, un retour constant à 15°C et une variation du débit de distribution si la puissance appelée par le bâtiment varie). Les régimes *moyens* observés sont 10.4 - 13.8°C sur le Calypso et 11.2°C - 15.4°C sur le Golden Tulip. Les « delta T » sont donc

deux fois plus faible que prévu. Les retours d'eau glacée à moins de 15°C sont fréquents (et engendrent des pénalités) malgré des régimes globalement réhaussés.

- Corolaire à l'affirmation précédente, **les débits secondaires sont en moyenne deux fois plus élevés que prévu**, ce que confirme la mesure (Figure 10). La cause peut être multiple : pompe surdimensionnée, problème de mise au point de l'équipement, problème de soupape différentielle mal étalonnée, etc.
- En effet, malgré la mise en place de pompes à variation de vitesse pilotées (théoriquement) à pression constante et d'émetteurs terminaux sur vanne deux voies (CTA, ventilo-convecteurs), on ne constate pas toujours de variations significatives de débit (cas du Calypso) ou bien les variations de débit ne s'accompagnent pas toujours d'une variation significative de puissance appelée (exemple sur le Golden Tulip : variation de débits de 1 à 10 sur deux circuits de distribution, avec baisse de puissance d'un facteur 4 sur un circuit, et seulement d'un facteur 1.5 sur l'autre).

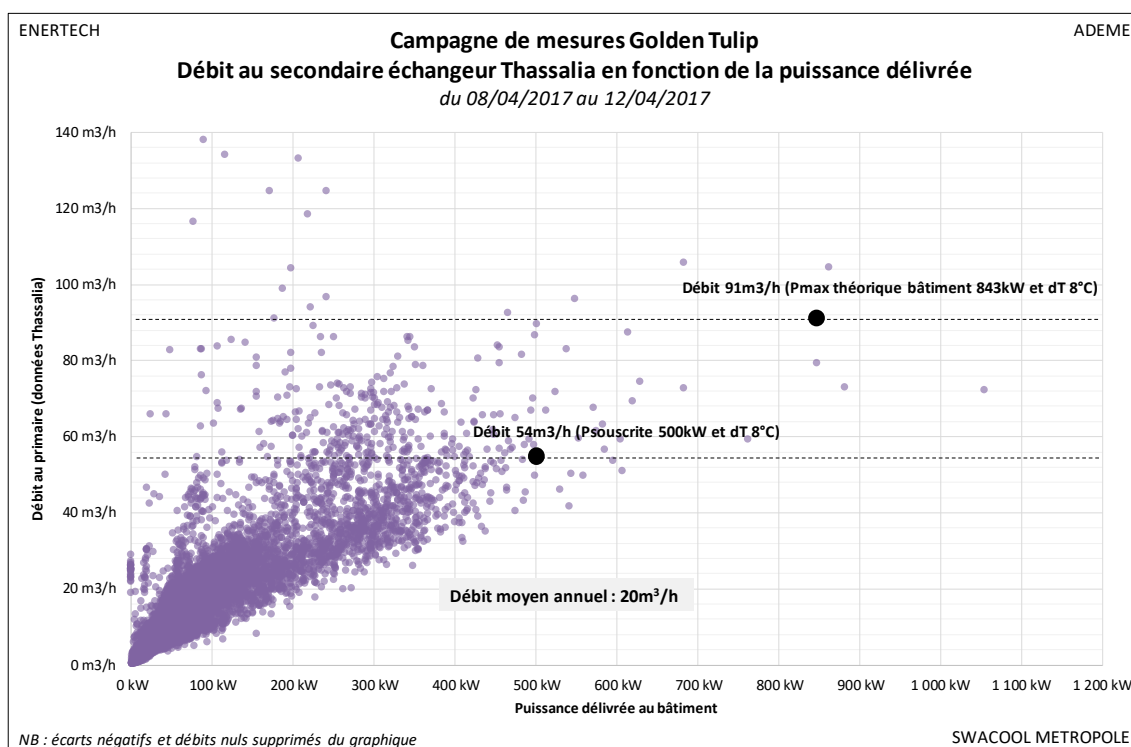


Figure 10 : Débit secondaire en fonction de la puissance sur le Golden Tulip (moyenne 20m³/h contre 14m³/h au primaire).

Mirabeau 2

Sur ce bâtiment la production est indépendante et réalisée par 3 groupes froid en cascade, refroidis par des tours aéroréfrigérantes (TAR). L'énergie froide est acheminée sur un collecteur d'où partent 3 départs. Les collecteurs aller et retour sont reliés hydrauliquement pour permettre un sur-débit donc un recyclage au primaire (à la manière d'une bouteille).

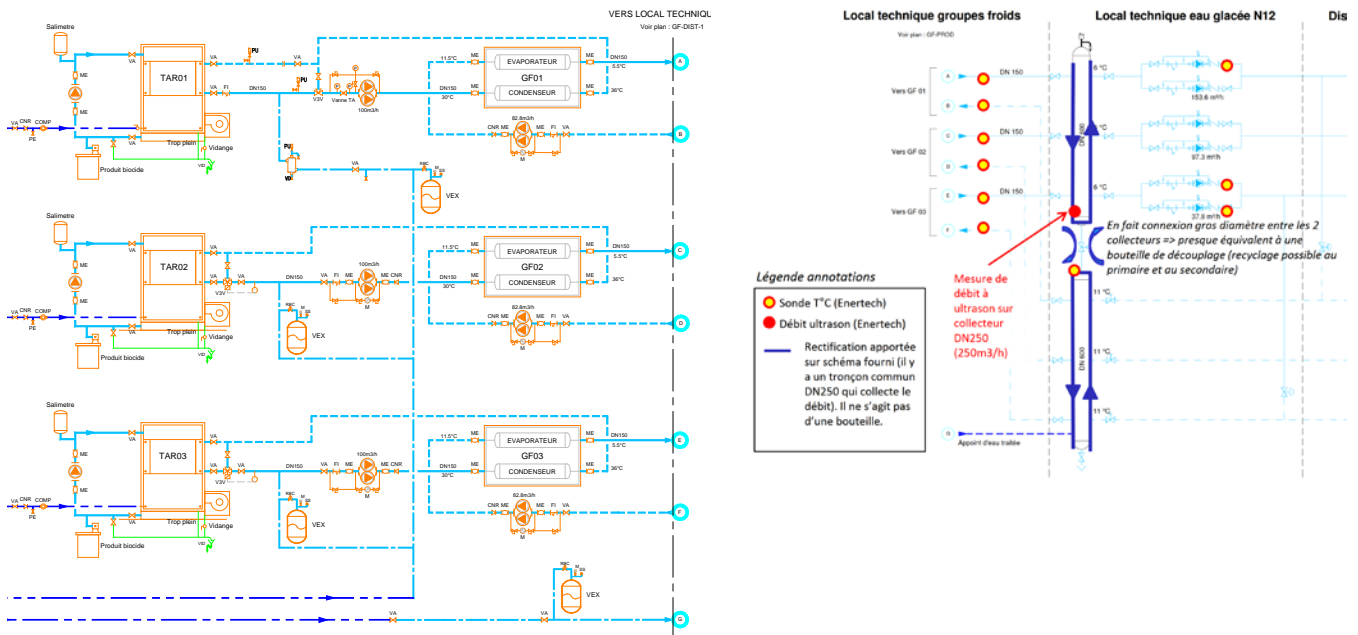


Figure 11 : Schéma de principe de la production de froid du Mirabeau 2 (à gauche production, à droite distribution).

L'analyse des mesures permet de conclure aux éléments suivants :

- Le COP global annuel de production mesuré sur le Mirabeau 2 est de 2.14 (inclusion faite des auxiliaires, hors pompes de distribution), valeur assez peu performante. Les moyennes mensuelles du COP (Figure 12) montrent que cette performance n'est pas réellement liée à un effet de saisonnalité comme on pourrait le penser, puisque le COP moyen de production est globalement aussi bon en hiver qu'en été, malgré la plus grande part relative de consommation des auxiliaires en hiver.
- L'analyse de la gestion de la cascade des groupes en fonction de la puissance produite (Figure 13) démontre que le COP s'écroule de 3.0 à 1.3 lorsque l'on passe de 1 à 2 groupes en fonctionnement. La raison en est que l'essentiel du temps la puissance froide appelée par le bâtiment ne justifie pas l'utilisation de 2 groupes. Les auxiliaires prennent alors une part relative considérable dans la consommation électrique de la production (en moyenne annuelle le tiers de la consommation d'électricité de la production). La gestion de la cascade des groupes est donc à revoir. L'enjeu annuel d'1 point de COP sur le Mirabeau 2 est de l'ordre de 15.000€^{TTC}/an, sans compter le gain de maintenance lié à la moindre sollicitation des groupes et des auxiliaires.

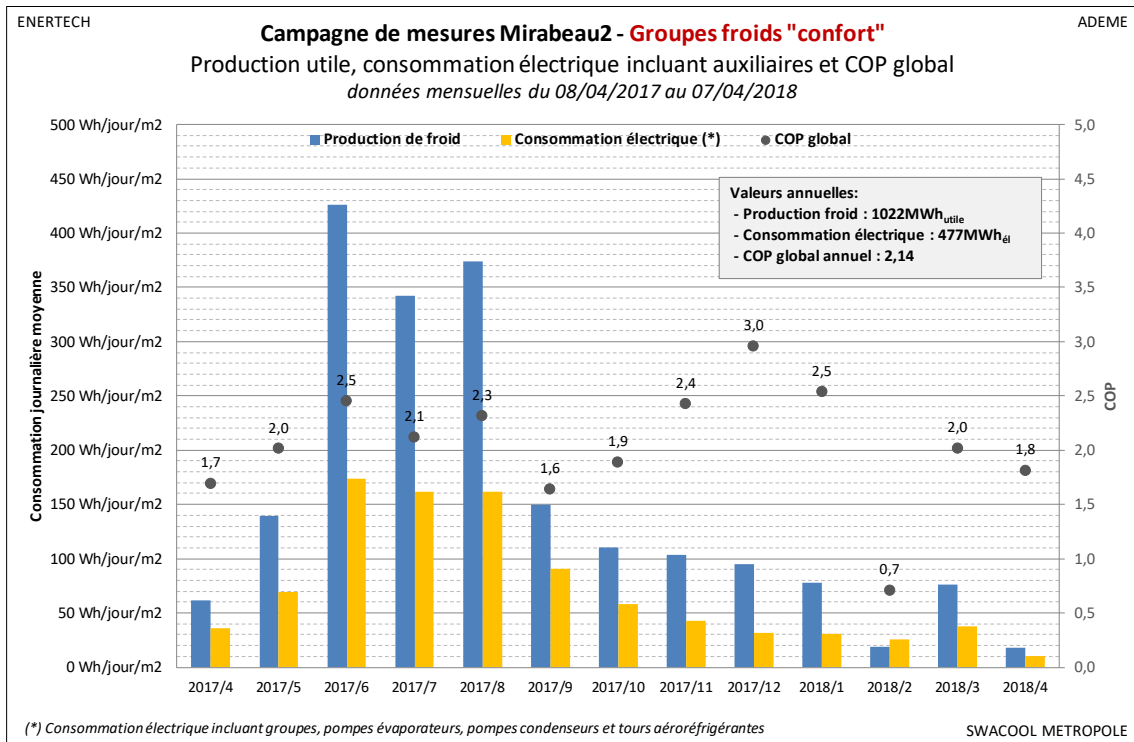


Figure 12 : Mirabeau 2 : production utile, consommation électrique et COP global de la production « confort ».

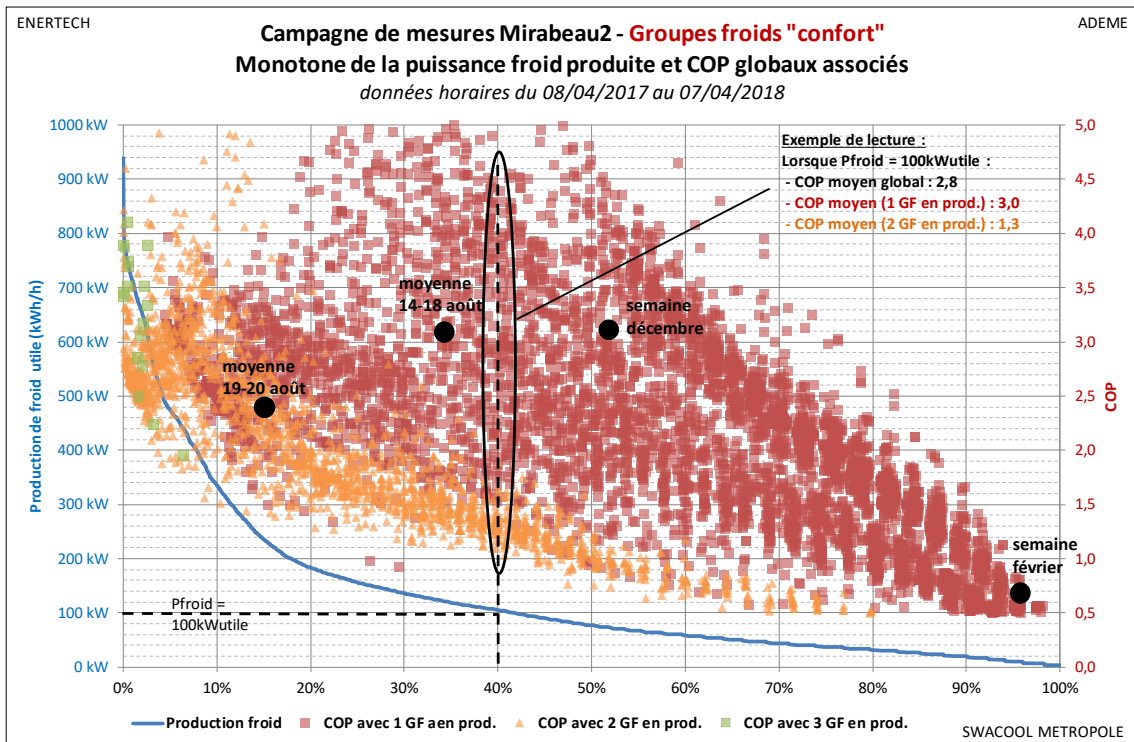


Figure 13 : Mirabeau 2 : monotone de la puissance froide produite et COP globaux associés.

- Concernant les régimes de température du Mirabeau 2, on observe un régime primaire (entre groupes et bouteille) à débit fixe et donc « delta T » variable, ce qui n'est pas optimal pour le COP de production. Le « delta T » de production de froid est ainsi en moyenne de 0.8°C (Figure 14) ce qui est très faible quand on sait que le régime théorique prévu à puissance nominale est 6°C-11°C soit un « delta T » de 5°C. Le régime moyen annuel de production est 9.2°C-10°C. Le régime en haute saison de production (juin à septembre) est 9.1°C-11.9°C ce qui reste très loin des valeurs théoriques.

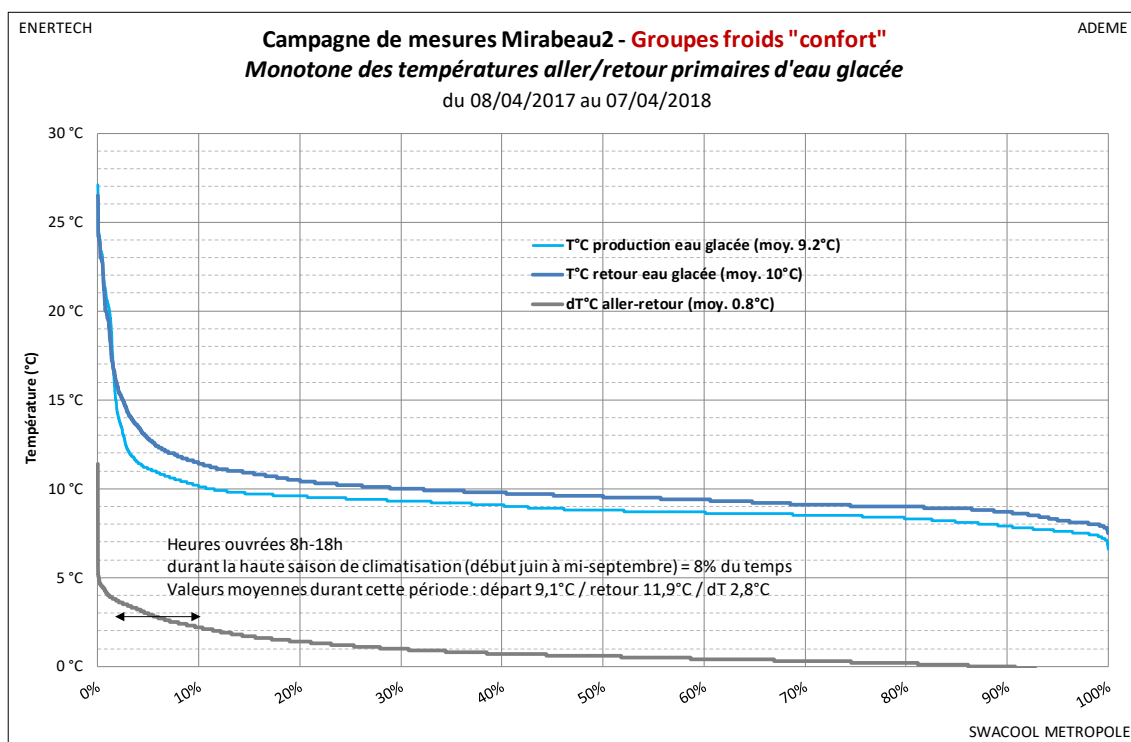


Figure 14 : Mirabeau 2 : monotone des températures primaires d'eau glacée (confort) durant l'année de mesure.

- Le faible « delta T » de production est lié à deux phénomènes : d'une part l'utilisation trop fréquente de deux groupes (point déjà évoqué) ce qui maximise le débit primaire et donc le recyclage, d'autre part la production d'eau glacée à 9°C au lieu des 6°C prévus ce qui a tendance à favoriser des débits importants pour passer une puissance donnée, et donc à écraser le « delta T ». La température de retour vers la production est inférieure à 15°C plus de 95% du temps. L'installation n'est donc pas compatible en l'état avec le réseau de froid Thassalia qui exige des retours à au moins 15°C.
- Les régimes de débit et températures des circuits de distribution n'ont pas pu être analysés en détail (problème d'accessibilité). L'analyse des puissances électriques montrent un assez faible taux de variation de puissance électrique des pompes (-40% en relatif de la puissance max) malgré la présence de vannes deux voies sur les

émetteurs. On suspecte un surdimensionnement des pompes ou un recyclage du débit secondaire via des soupapes différentielles mal réglées. Les consommations des pompes de distribution du Mirabeau 2 sont particulièrement élevées au regard des autres bâtiments (Tableau 1).

2.4 Consommation électrique des auxiliaires de climatisation

L'analyse des consommations électriques relatives à la climatisation sur les trois bâtiments (production et émission hors ventilation, Cf. Tableau 1) amène plusieurs conclusions :

- L'utilisation du réseau Thassalia sur le Calypso et le Golden Tulip permet de se passer d'une consommation électrique de production de climatisation très significative (-10 à -30% sur la consommation électrique totale si on applique le COP du Mirabeau2). L'analyse économique complète n'a pu être menée du fait de l'impossibilité de connaître les polices d'abonnement Thassalia, mais il faut ajouter que l'utilisation d'un réseau de froid simplifie considérablement le local de production et donc la maintenance associée. Par ailleurs le COP moyen de production froid de Thassalia¹ semble clairement avantageux par rapport à celui mesuré sur le Mirabeau 2, ce que l'on peut concevoir compte tenu de l'effet d'échelle bénéfique à cette production et de la source froide utilisée (l'eau du port).
- La consommation des auxiliaires de distribution et d'émission se situe aux alentours des $6\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2/\text{an}$ sur le Calypso et le Golden Tulip et sans doute plus de $10\text{kWh}_{\text{él}}/\text{m}^2/\text{an}$ sur le Mirabeau2 (pas d'information sur les ventilo-convecteurs). Ces ratios nous semblent particulièrement élevés au regard des ordres de grandeur connus sur le chauffage. Ils s'expliquent par sur-débites récurrents sur les installations (Cf. paragraphe précédent) et/ou des pertes de charge potentiellement importantes générées par les batteries des ventilo-convecteurs et des CTA (réseau CTA du Golden Tulip par exemple).
- Le projet a également permis de mettre en évidence les consommations d'électricité importantes des ventilo-convecteurs. **Ainsi sur le Calypso on observe quasiment un facteur 10 entre la consommation électrique nécessaire à la distribution de l'eau glacée, et la consommation électrique nécessaire pour émettre les frigories dans les bureaux !** L'air est un mauvais caloporteur. Par ailleurs les ventilo-convecteurs ne sont pas toujours éteints en inoccupation et certains équipements montrent des consommations de veille qui peuvent représenter jusqu'à 20% de leur consommation annuelle.

¹ En décembre 2017 Thassalia évoquait au cours d'un échange technique dans le cadre du projet Swacool, un COP moyen annuel de production d'eau glacée de 3 avec un objectif à 4 voire 5 quand un plus grand nombre de bâtiments sera connecté.

	Besoin de froid utile kWh _{ut} /m ² /an	Production de froid + auxiliaires kWh _{él} /m ² /an	Pompes distrib. froid kWh _{él} /m ² /an	Ventilo-convecteurs** kWh _{él} /m ² /an	Conso. Elec. totale du site kWh _{él} /m ² /an	Part relative de la clim.
Calypso	20	0	0.6	5.5	82*	7%
Golden Tulip	89	0	2.9	2.7	145	4%
Mirabeau 2	81	40	8.2	<i>Pas d'info</i>	181*	> 27%

* Inclut le chauffage électrique du bâtiment ** Consommation comptée uniquement en période de climatisation

Tableau 1 : Récapitulatif des consommations électriques relatives à la climatisation sur les trois bâtiments (cases blanches).

2.5 Focus sur la gestion de la ventilation

La ventilation est liée à la consommation de climatisation pour deux raisons :

- L'apport d'air neuf en journée constitue une charge de chaleur supplémentaire à combattre. Lorsque les CTA sont double flux avec récupération de chaleur cette charge est minimisée à condition que les échangeurs soient bien réglés en fonction de l'écart de température intérieur/extérieur.
- L'air soufflé est parfois refroidi par le réseau d'eau glacée (cas du Golden Tulip et du Mirabeau 2). Les CTA sont dans ces cas-là directement consommatrices de climatisation.

Des observations récurrentes ont été faites sur les mesures relatives aux ventilations des trois bâtiments et méritent d'être signalées ici :

- Des oublis récurrents d'extinction des CTA sont constatés en inoccupation des locaux intermittents sur les trois bâtiments. Ces oublis accroissent significativement la consommation de climatisation.
- Sur le Calypso et le Golden Tulip, les CTA ne soufflent pas seulement à température neutre mais contribuent à la climatisation des locaux (ce qui n'est pas en général le scénario prévu en conception). On peut s'interroger sur la pertinence de cette stratégie (multiplication des auxiliaires et des réseaux pour apporter le froid, climatisation persistante en cas d'oubli d'arrêt de la CTA, baisse de la charge de climatisation sur les ventilo-convecteurs donc multiplication des courts-cycles d'émission). On note à ce sujet que les CTA du bâtiment Calypso n'ont pas de batteries froides, ce qui nous semble une option très intéressante à étudier en conception.

- Comme pour les ventilo-convecteurs, l'absence de zones d'exclusions dans la régulation crée des alternances d'utilisation chaud/froid à l'échelle de la journée voire de l'heure (cas du Golden Tulip, Cf. Figure 15). Des usages *simultanés* des batteries chaudes/froides sont même observés. Ce point doit être anticipé en conception dans l'analyse fonctionnelle et vérifié en phase de mise au point.
- Enfin les échangeurs récupérateurs de chaleur des CTA sont trop souvent bypassés (Golden Tulip, Calypso). Il s'agit d'un problème de régulation qui engendre, outre des pertes d'énergie, des pompages de régime sur les circuits de distribution. Ce point doit être également mieux encadré en phase de mise au point.

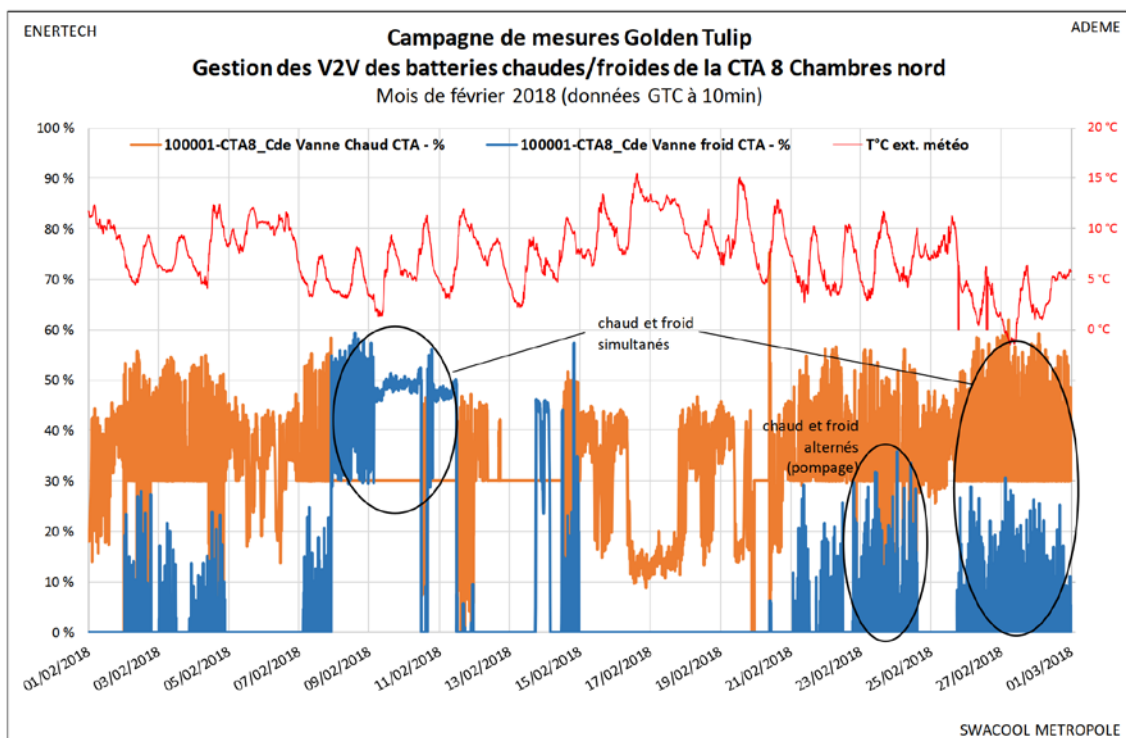
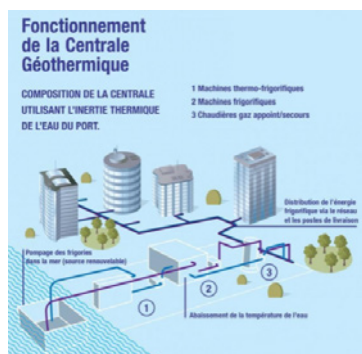


Figure 15 : Golden Tulip : illustration d'appels simultanés de chaleur et de froid sur la CTA8 (chambres nord), février 2018.

3 Connexion à un réseau de froid vertueux ?



Les résultats de l'étude SWACOOOL-métropole sont riches d'enseignement. Les ratios dégagés sur les consommations utiles et électriques de la climatisation montrent qu'il est a priori très pertinent d'envisager la fourniture de froid par un réseau centralisé (et vertueux) lorsque l'opportunité se présente.

Outre l'intérêt environnemental lié à la plus grande performance de l'unité de production (meilleure source froide, meilleure gestion – supposée – des auxiliaires, gain d'échelle sur la quantité de fluide frigorigène²), la diminution de la maintenance sur site, la simplification des installations et la diminution des surfaces des locaux techniques sont aussi à mettre en avant.

Les installations techniques des bâtiments Calypso et Golden Tulip sont en elles-mêmes récentes, plutôt performantes et bien conçues. Toutefois les « dysfonctionnements » observés et les écarts constatés avec les régimes théoriques prévus, renforcés par les observations faites sur le bâtiment Mirabeau 2, nous permettent de proposer les axes d'optimisation suivants pour une connexion optimale à un réseau de froid vertueux, si l'on entend par « optimal » un fonctionnement qui viserait à la fois à maximiser le COP de production côté réseau et à minimiser la consommation de froid et d'auxiliaires côté bâtiment :

1. **Axe 1 : réduire le besoin de froid des bâtiments** : des besoins de 1 à 4 sont observé pour un même usage de bureau. Deux bâtiments sur trois utilisent la climatisation toute l'année (même au cœur de l'hiver !). Outre l'optimisation de l'enveloppe du bâtiment, les sujets à aborder sont les suivants :
 - Minimiser des apports internes (maîtrise de la demande d'électricité notamment sur les sujets éclairage et bureautique).
 - Minimiser des apports solaires (à optimiser en conception ou par l'ajout en rénovation de protections solaires ou films solaires).
 - Programmer des consignes d'ambiance convenables en occupation (autour de 26°C).
 - Arrêter la climatisation en inoccupation (soir et week-ends en bureau) de manière à observer une réelle remontée des températures ambiantes hors occupation. A la manière de la climatisation dans une voiture, le confort des occupants est très rapidement obtenu quand les installations se mettent en route.

² En décembre 2017 Thassalia mettait en avant au cours d'un échange technique dans le cadre du projet Swacool, le fait de n'utiliser que 200gr de fluide frigorigène par kW de froid installé.

- Eviter d'utiliser les CTA pour climatiser. Elles empiètent sur le rôle des émetteurs (ventilo-convecteurs) et génèrent des surconsommations de climatisation en cas d'oubli d'extinction.
 - Vérifier en phase de mise au point le bon fonctionnement de la régulation des échangeurs de récupération de chaleur : leur bypass doit être bien géré pour minimiser la charge de climatisation.
 - Vérifier en phase de conception et mise au point l'existence de zones d'exclusion chauffage - climatisation sur les CTA et les ventilo-convecteurs. Il est anormal d'observer dans un local l'émission simultanée de chaleur et de froid à l'échelle de l'heure, de la journée ou même de la semaine.
 - Réduire la durée de la saison de climatisation, en lien avec les points précédents. Mis à part sur des process spécifiques (dont la climatisation peut être gérée indépendamment) il est anormal de consommation de la climatisation en hiver.
2. **Axe 2 : optimiser les régimes de distribution d'eau glacée dans le bâtiment** : les débits de distribution sont globalement trop élevés ce qui contribue à restituer une eau trop froide à l'échangeur (faible « delta T » sur les circuits). Ce phénomène génère des surconsommations d'auxiliaires au primaire (côté Thassalia, qui se voit contraint d'écraser son « delta T » de production) ainsi qu'au secondaire (côté bâtiment) et dégrade le COP de production. Les pistes à étudier sont les suivantes :
- Utiliser des émetteurs sur vanne deux voies pour fonctionner (autant que possible) à débit variable et régime d'eau glacée fixe (cas des trois bâtiments étudiés).
 - Ne pas surdimensionner les émetteurs.
 - Utiliser des pompes de distribution avec variateur intégré et ne pas les surdimensionner.
 - Réaliser un bon équilibrage de l'installation (ce qui se prépare en conception) car cela permettra de minimiser le débit global d'eau glacée et donc d'obtenir un « delta T » significatif de distribution. Il ne faut pas sous-estimer ce sujet car un réseau à débit variable est complexe à équilibrer. Attention aux soupapes différentielles mal étalonnées, qui peuvent provoquer un recyclage et annuler partiellement la variation de débit.
 - Envisager un dispositif permettant de limiter les retours froids à l'échangeur, comme celui mis en place sur le Golden Tulip (recyclage d'eau glacée pour rehausser le régime en cas de faible demande).

3. **Axe 3 : optimiser les régimes de distribution côté réseau de froid :** des dysfonctionnements ont été constatés côté primaire Thassalia. Ces dysfonctionnements entraînent en général des variations de régimes côté secondaire, du pompage de régulation et l'envoi potentiel de « trains de froids » dans les bâtiments.
- La température de l'eau glacée distribuée par le réseau de froid concessionnaire doit être stable. Trop de variations ont été constatées durant l'année de mesure sur le réseau Thassalia.
 - La gestion du débit primaire par une vanne deux voies pilotant le débit délivré est un bon principe, à condition que la régulation de cette dernière soit stable (des phénomènes de pompage ont été observés sur les installations primaires du Golden Tulip et du Calypso).
 - Il peut être envisagé de rehausser la température de distribution primaire en bord de saison de climatisation, de manière à maximiser le COP de production. En effet même avec un équilibrage parfait des bâtiments il est difficile, lorsque la consommation baisse trop, de rester sur un régime 7-15°C car cela nécessite des débits très faibles difficile à atteindre et à maintenir.
 - Enfin accompagner le maître d'ouvrage pour optimiser la puissance souscrite. Il doit en résulter une baisse du coût de l'abonnement ce qui maximisera l'intérêt technico-économique de la connexion au réseau. Le suivi des puissances appelées sur le projet montre des marges de réduction importantes (-30% possible sur le Calypso par rapport à la puissance souscrite, -50% sur le Mirabeau 2 par rapport à la puissance installée).