

Table des matières

| | | |
|----------|---|----------------|
| 1 | Objectifs | Page 3 |
| 2 | Etat des lieux | Page 3 |
| | 2.1 Chaufferie | Page 3 |
| | 2.2 Fonctionnement actuel | Page 4 |
| | 2.3 Le chauffage à distance CAD | Page 5 |
| | 2.4 Les sous-stations | Page 6 |
| | 2.5 Alimentation en énergies | Page 7 |
| 3 | Définition des besoins | Page 8 |
| | 3.1 Hypothèse de besoins actuels | Page 8 |
| | 3.2 Hypothèse d'évolution des besoins | Page 14 |
| | 3.3 Ressources potentielles | Page 14 |
| 4 | Etudes de variantes | Page 15 |
| | 4.1 Variantes étudiées | Page 15 |
| | 4.1.1 Hypothèses retenues | Page 15 |
| | 4.1.2 Explications sur les variantes écartées | Page 15 |
| | 4.2 Variantes potentielles | Page 15 |
| | 4.2.1 Variante 1 | Page 16 |
| | 4.2.2 Variante 2 | Page 18 |
| | 4.2.3 Variante 3 | Page 21 |
| | 4.3 Récapitulatif techniques des variantes | Page 23 |
| | 4.3.1 Options photovoltaïques | Page 24 |
| 5 | Descriptif des études et des travaux | Page 24 |
| | 5.1 Travaux complémentaires | Page 25 |
| | 5.1.1 Véracité des comptages | Page 25 |
| | 5.1.2 Qualité de l'eau | Page 25 |
| | 5.1.3 Expansion et dégazeur | Page 25 |
| | 5.1.4 Monobloc de préchauffage de l'air | Page 25 |
| | 5.1.5 Nouvelle isolation CAD | Page 26 |
| | 5.1.6 Risque de légionelles | Page 26 |
| | 5.2 Mesures préliminaires | Page 26 |
| | 5.3 Planning intentionnel des études et travaux | Page 26 |
| | 5.4 Estimations des coûts | Page 26 |
| | 5.5 Plans, schéma et croquis | Page 27 |

1 Objectifs

La chaufferie de la Place d'armes de Chamblon est équipée de chaudières à gaz et mazout datant de 1996-1997 hormis une chaudière de secours datant de 1977. La problématique est double.

D'une part, la politique énergétique d'armasuisse opte pour l'utilisation des énergies non fossiles et locales.

D'autre part, une augmentation des effectifs et donc la construction de nouveaux bâtiments est attendue ces prochaines années.

Armasuisse a commandé en 2015, en 2016, en 2017 plusieurs études sur les énergies consommées et sur les moyens à mettre en œuvre pour le développement futur des énergies sur la place d'armes. Le but de ces études consistait à rechercher des solutions techniques à court et à moyen terme. Les mandataires des ces études ne seront pas consultés pour cet appel d'offre.

Afin de diminuer la consommation d'énergie en faisant appel aux énergies renouvelables. Le maître d'ouvrage attend des propositions novatrices permettant de relever ces défis techniques sur le long terme.

Ces études sont la base de ce cahier des charges mais toutes les valeurs, tous les constats, toutes les propositions, qui datent déjà au minimum de 5 ans, sont **estimations transmises à titre indicatifs**. Le groupement de mandataires, dans le cadre de son mandat SIA, réétudiera la totalité des éléments et mettra à jour, à la date des prestations, la totalité de ces données.

2 Etat des lieux

2.1 Chaufferie

La dernière rénovation de chaufferie a eu lieu en 1997. Les chaudières actuellement sur place sont les suivantes :

| | |
|---|---|
| <p><u>Chaudière 1 gaz / mazout :</u> Marque : Ygnis Type : Pyronox LN 1165 Année : 1996 Puissance chaudière : 1'165 kW Brûleur : Oertli industriel</p> | <p><u>Chaudière 2 gaz / mazout :</u> Marque : Ygnis Type : Pyronox LN 1455 Année : 1996 Puissance chaudière : 1'455 kW Brûleur : Oertli industriel</p> |
| <p><u>Chaudière secours mazout :</u> Marque : Ygnis Type : HWN-3000 Année : 1977 Puissance chaudière : 3'489 kW</p> | <p><u>Chaudière été gaz :</u> Marque : Ygnis Type : LR 585 Année : 1997 Puissance chaudière : 585 kW</p> |

Les émissions des chaudières sont conformes aux exigences de l'Opair, sauf pour la chaudière de secours mais son fonctionnement étant d'une durée inférieure à 100 heures par an, cela est toléré.

La puissance en chaufferie semble a été dimensionnée sur une campagne de mesures effectuée en 1993, préalablement à la dernière rénovation de chaufferie.

La puissance théorique minimale à installer a été estimée à 1'975 kW, mais comme le taux d'occupation de la caserne n'était pas de 100 %, une puissance de 2'400 kW a été retenue pour les recherches de variantes.



Une bouteille casse-pression horizontale est installée à la hauteur de la passerelle.



2.2 Fonctionnement actuel

Les chaudières fonctionnent en cascade, pilotée par un automate, selon la programmation d'origine.

Séquence de programmation :

- T°C ext > 12°C : chaudière été (600 kW) en service
- T°C ext > 5°C : chaudière 1 (1 MW) en service
- 0°C < T°C ext < 5°C : chaudière 2 (1,5 MW) en service
- T°C ext < 0°C : chaudières 1 + 2 en service

En cas de panne :

- T°C ext > 5°C : chaudière 2 prend le relais
- T°C ext < 5°C : chaudière 3 (3 MW) prend le relais

La température de sortie chaudière est maintenue constante à 100 °C en hiver et 90 °C en été.

Chacune des chaudières possède son contrôle de température de retour par l'intermédiaire d'une pompe de charge à débit constant et d'une vanne à 3 voies montées en recyclage, maintenant la température d'entrée chaudière à 65 °C minimum.

1 monobloc de préchauffage de l'air de combustion, équipé d'une batterie de 50 kW, entre en fonctionnement si T°C extérieure < 10°C.

2.3 Le chauffage à distance CAD

Du côté secondaire, un pré réglage de la température de départ du chauffage à distance, CAD, est effectué par 2 vannes 3 voies montées en mélange.

La température de départ est glissante en fonction de la température extérieure :

- T°C ext = -10°C , T°C départ CAD = 95°C
- T°C ext = 5°C , T°C départ CAD = 80°C



Le départ CAD est équipé de deux pompes (1 de réserve) en parallèle.

Il s'agit d'un débit variable programmé sur 4 points de consigne (débit / hauteur manométrique) sur la courbe caractéristique du réseau.

Le système d'expansion est composé d'un ensemble de marque Pneumatex, type Transfero, avec les éléments suivants :

- un vase intermédiaire de 600 l
- un accumulateur de 200 l
- 2 vases d'expansion de 2'200 l chacun

- une armoire de commande
- un dégazeur : aujourd'hui hors-service, a priori dimensionné pour dégazer la totalité du système en 7 jours.

Le système d'expansion n'a pas contrôlé cette installation depuis 2003. Il n'y a pas de contrat d'entretien. Le fonctionnement est supposé correct sans quoi des problématiques diverses de perte de pression et de gaz dissous auraient fait leur apparition. L'installation est cependant vieillissante et certaines pièces ne seront bientôt plus disponibles.



La capacité totale du réseau est estimée à 70 – 80 m³ environ. La qualité d'eau a été très peu suivie.

La dernière analyse des eaux, depuis une très longue période, a été réalisée fin 2021 et montrent des traces de fer dissous bien au-delà de la norme SICC BT 102-01 sur 2 échantillons sur 3.

Le chauffage à distance, CAD, alimente la majorité des bâtiments du site. Les sous-stations ne sont pas équipées d'échangeurs.

Le CAD se divise en 2 antennes principales dans la chaufferie (DN80 et DN200). La principale se divise ensuite de nouveau en deux branches, l'une se dirigeant vers les casernes, l'autre vers les réfectoires/salles de sport.

La différence de température entre l'aller et le retour du CAD était prévue à 20 °C. Les observations de fonctionnement montrent que le delta T réel est d'environ 10 °C, ce qui signale un surdimensionnement.

Les épaisseurs d'isolation relevées sur les tubes CAD dans les galeries techniques étaient d'environ 6 cm. Dans les sous-stations, les épaisseurs sont de 3 à 4 cm environ.

2.4 Les sous-stations

Le CAD alimente 14 sous-stations de chauffage dans les bâtiments de la caserne et une sous-station pour l'ECS (dans le bâtiment CR4). Les schémas hydrauliques de ces sous-stations ne sont pas disponibles. Quelques-uns afin d'avoir la connaissance des types de circuits et des niveaux de températures de ceux-ci.

Les constats et hypothèses sont récapitulés dans le tableau des bâtiments (annexe 2) et dans les schémas hydrauliques des sous-stations.

Les différents types de circuits :

- radiateurs Sud : montage en injection V2V
- radiateurs Nord : montage en injection V2V
- batterie de ventilation : montage en injection V2V
- départ vers bouilleur : montage en injection V2V
- départ en attente : ancien circuit séchoirs démontés

Tous partent à relativement haute température (plus de 70°C).

D'après les documentations techniques des monoblocs, les batteries de ventilation sont dimensionnées pour du 60/40. Elles sont toutes équipées de vannes à deux voies terminales de régulation.

Il n'existe pas de séparation hydraulique entre le CAD et l'eau de chauffage circulant dans les bâtiments. Cette situation présente un risque de vidange complète du circuit CAD et des bâtiments en cas de fuite.

Chaque sous-station, sauf le bâtiment LM, dispose de son compteur d'énergie, installé sur le retour du primaire.

2.5 Alimentations en énergies

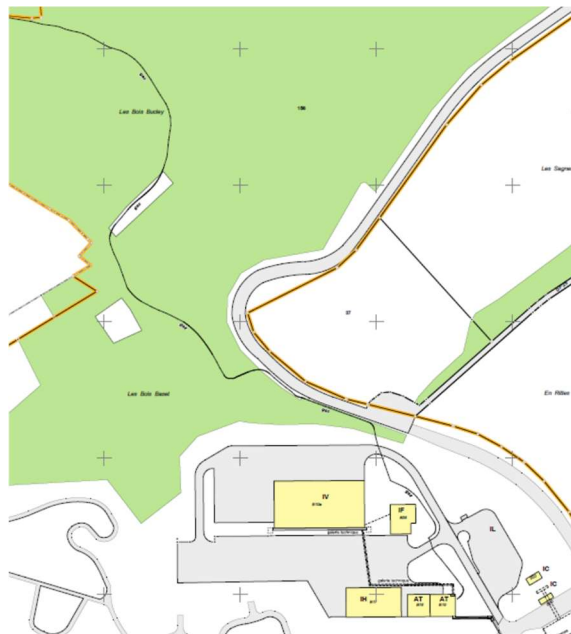
Les citernes mazout

2 citernes (côté lac) de 100 m³ alimentent la chaufferie. 2 autres citernes (côté Jura) ont déjà été démontées. (voir plans chaufferie en annexes)

Ces citernes n'ont pas d'autre utilité que le chauffage. Elles devront donc être démontées en cas d'abandon du mazout pour la chaufferie.

Le gaz

Le gaz arrive en chaufferie par le Nord-Ouest.



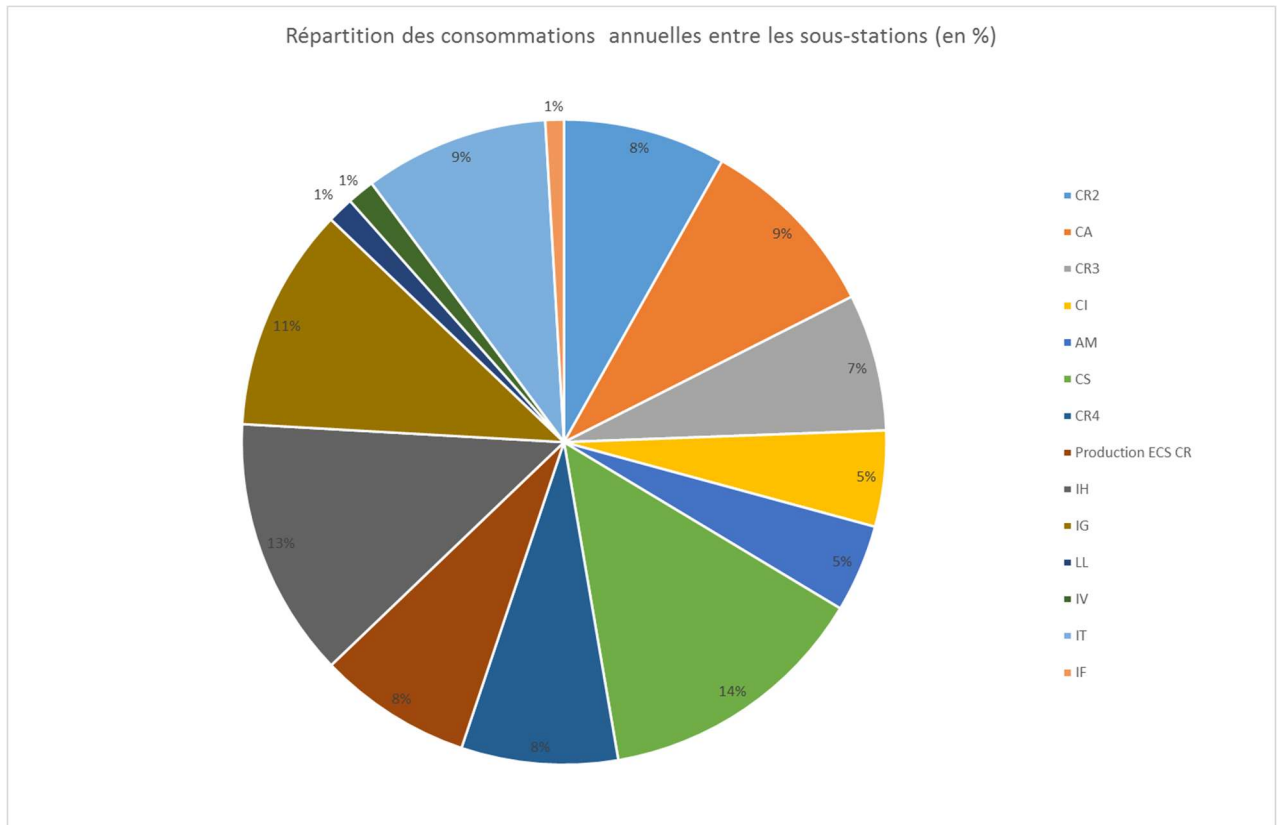
Les services industriels d'Yverdon-les-Bains Energie ont été contacté et ont confirmé de la faisabilité de garder le gaz comme énergie de secours uniquement.

3 Définition des besoins

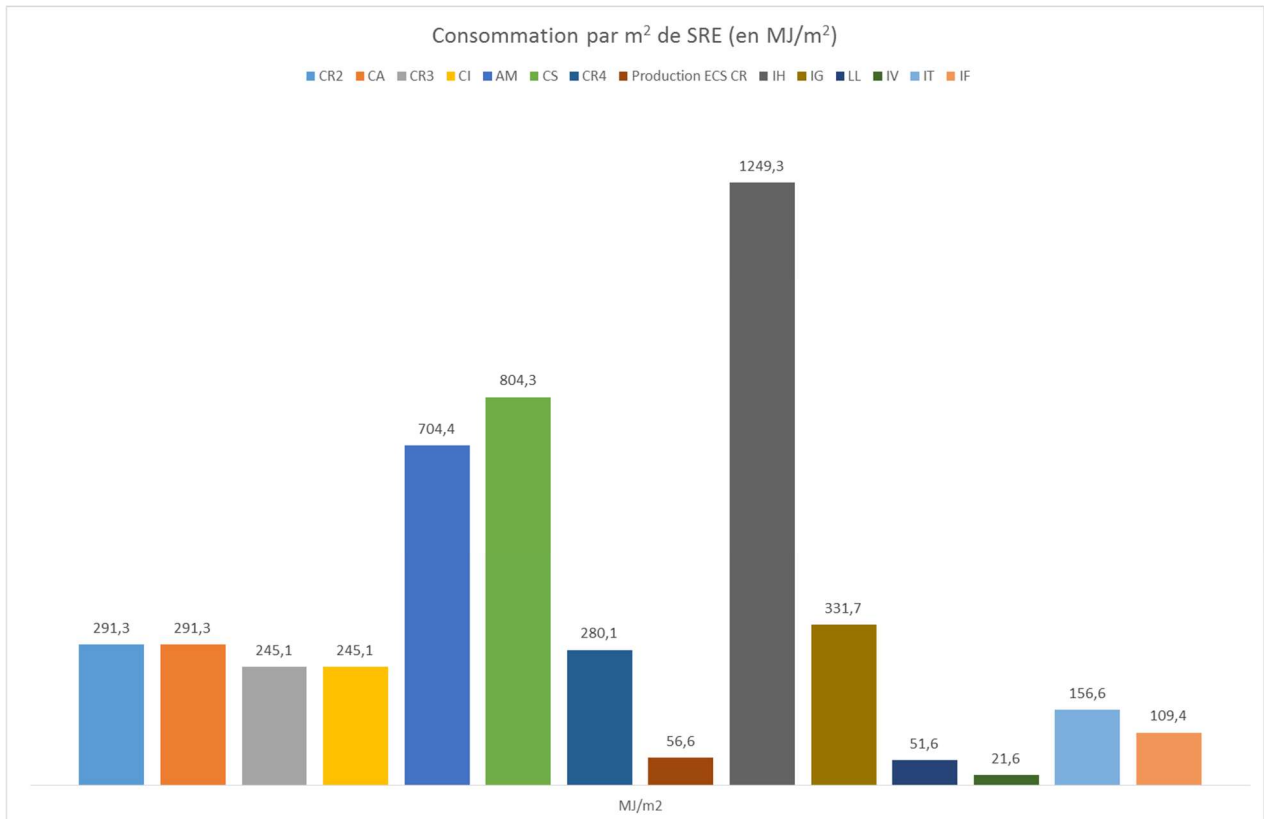
3.1 Hypothèse des besoins actuels

Base de l'étude

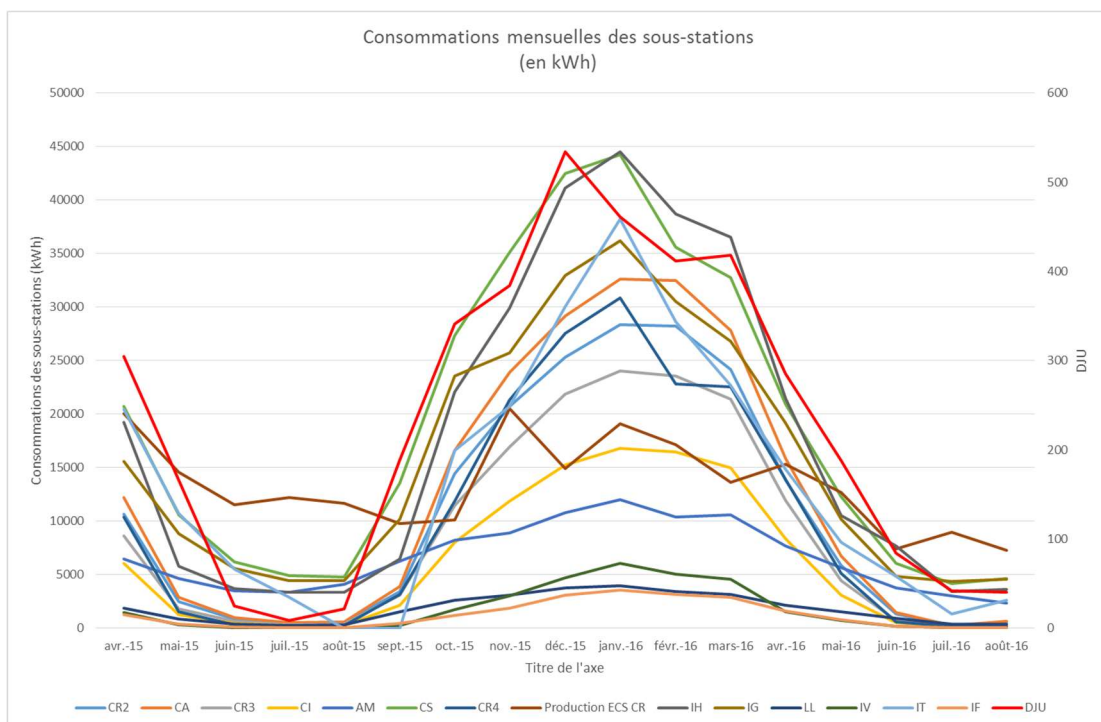
- Les consommations des sous-stations ont été étudiées sur la base des relevés fournis en 2016. Ces relevés concernent la période du 1^{er} décembre 2014 au 31 août 2016. Ils mettaient en doutes certaines valeurs de compteur d'énergie et des opérations de calibrage de ceux-ci.
- Les études sont basées sur la période mi-2015 à août 2016 car des inconnues subsistent sur la calibration des compteurs. Comme il a été constaté plusieurs incohérences et manquements dans les données de comptages, les valeurs ont été corrigées à l'aide des hypothèses rassemblées dans le paragraphe ci-dessous.
- Corrections apportées aux chiffres
- Les chiffres de consommations du bâtiment CI étaient incohérents, ils ont été reconstitués sur une courbe à partir des chiffres des bâtiments CR, architecturalement très similaires.
- Le compteur CA ne semble pas fonctionner (index fixe) ils ont été donc reconstitués sur une courbe à partir des chiffres des bâtiments CR, architecturalement très similaires.
- Le compteur d'énergie thermique provenant du CAD pour la production ECS des bâtiments CR, CA et CI ne figurait pas dans les listes remises. Ils ont été reconstitués sur une courbe à partir du compteur d'eau posé sur l'arrivée d'eau froide du bouilleur, et un rendement estimé du système de production.
- Le compteur d'énergie thermique provenant du CAD et alimentant la sous-station du bâtiment LM était également absent des listes. Il n'a pas été estimé car ce bâtiment est particulier (chauffage à air, production ECS individuelle) et il est voué à une rénovation lourde. Son absence majeure cependant les chiffres des pertes liées à la distribution CAD.
- N'ayant pas de certitude quant à l'étalonnage ou le contrôle des compteurs, des réserves sont émises sur les chiffres contenus dans le paragraphe suivant.
- Etude des consommateurs
- Le graphique suivant présente la répartition des consommations pour les différentes sous-stations, mesurées à l'entrée de chaque sous-station, donc hors pertes de distribution du CAD.



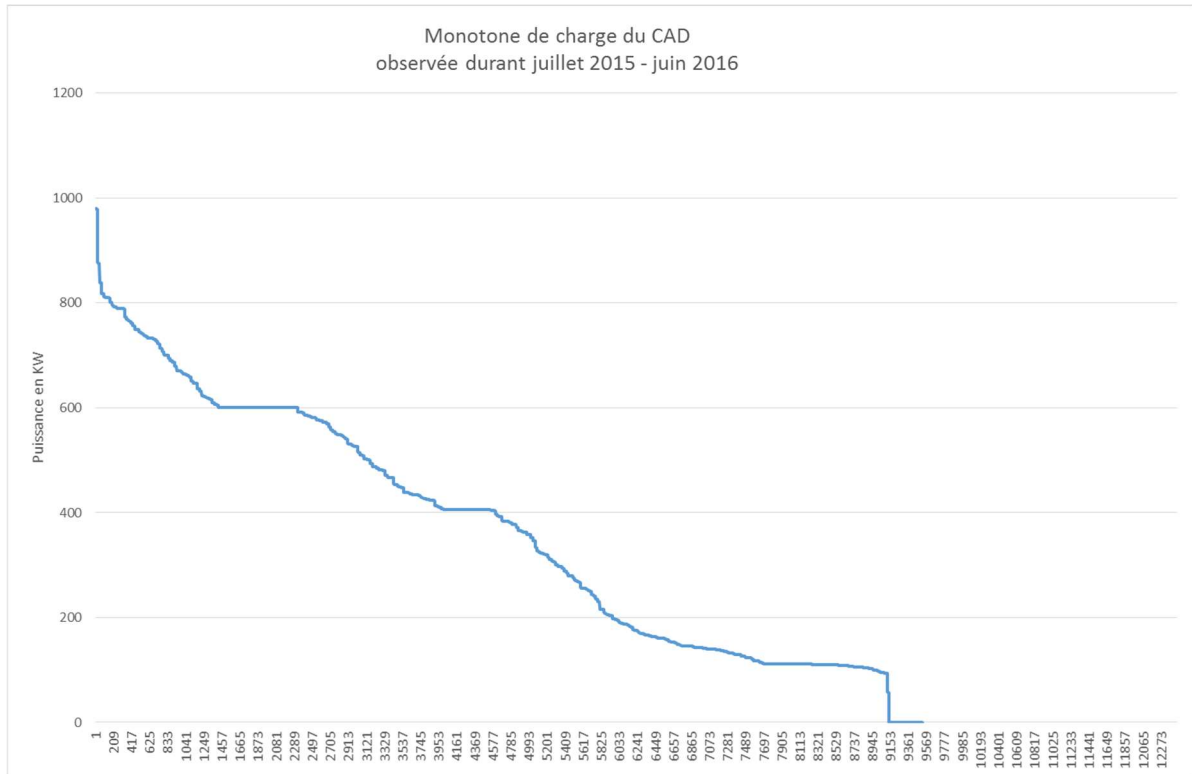
- Il est à noter que l'ensemble « casernes », composés des bâtiments CA, CI, et des 3 bâtiments CR, représente 46% des consommations globales du site (chauffage et eau chaude sanitaire inclus).
- Les consommateurs importants sont ensuite les suivants :
 - bâtiment CS Restauration : 14%
 - bâtiment IH Ateliers : 13%
 - bâtiment IG Bureaux : 11%
 - bâtiment IT Instruction : 9%
 - bâtiment AM Locatif : 8%
- Les faibles consommateurs sont les bâtiments IT Simulateurs, LL Restauration privée, et IV Garages.
- En rapportant ces valeurs de consommations par mètre carré de surface de référence énergétique, SRE, les disparités sont frappantes.



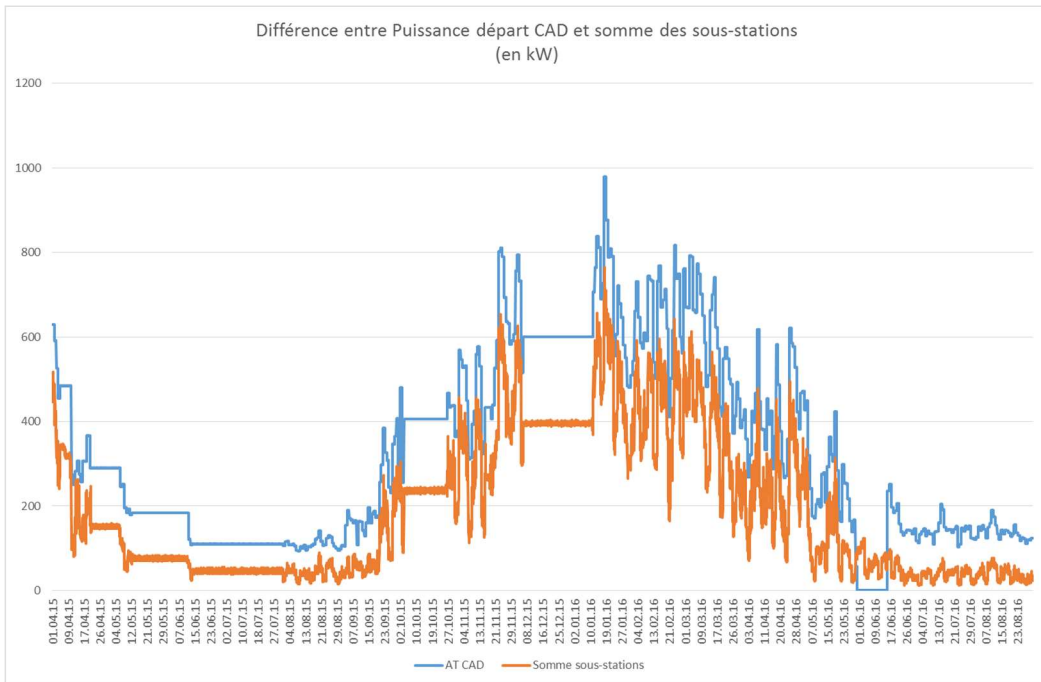
- La très importante consommation du bâtiment IH devrait être expliquée (parmi les facteurs possibles : dérive du compteur, sous-estimation de la SRE, consommation d'ECS pour le lavage...)
- Les variations mensuelles de ces consommations sont représentées sur le graphique suivant. Toutes les courbes suivent les variations des degrés-jours, sauf celle de la seule sous-station uniquement dédiée à la production ECS pour le groupe de bâtiments « casernes ».



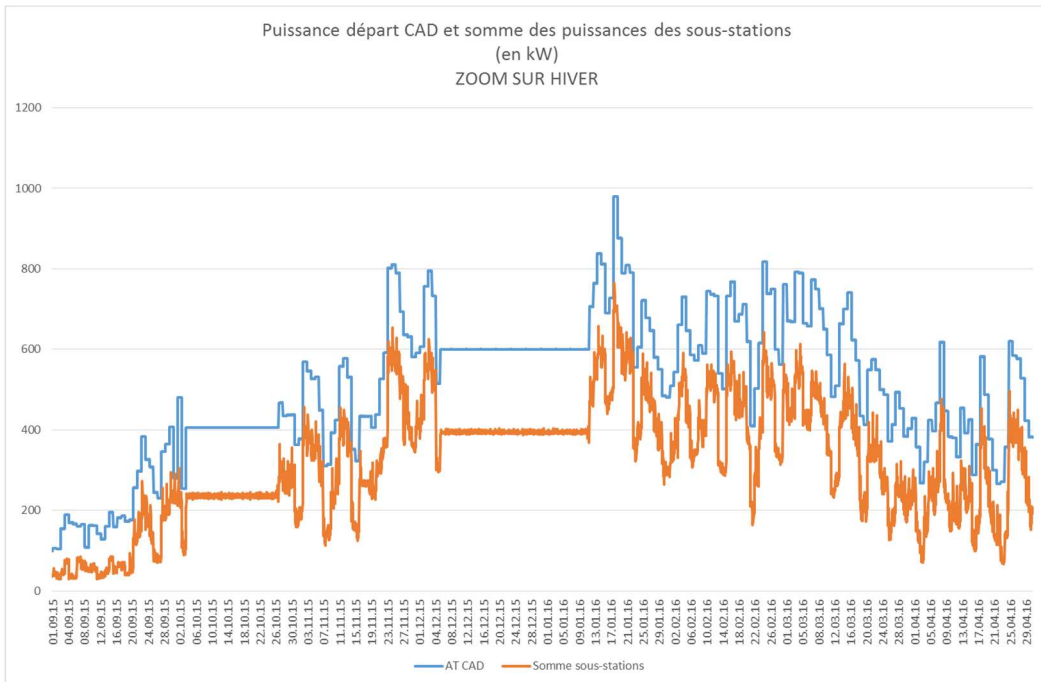
- Etude de la puissance livrée par le CAD
- La monotone de charge du CAD, tracée sur les valeurs du compteur d'énergie durant la période juillet 2015 à juin 2016, donne la courbe suivante :



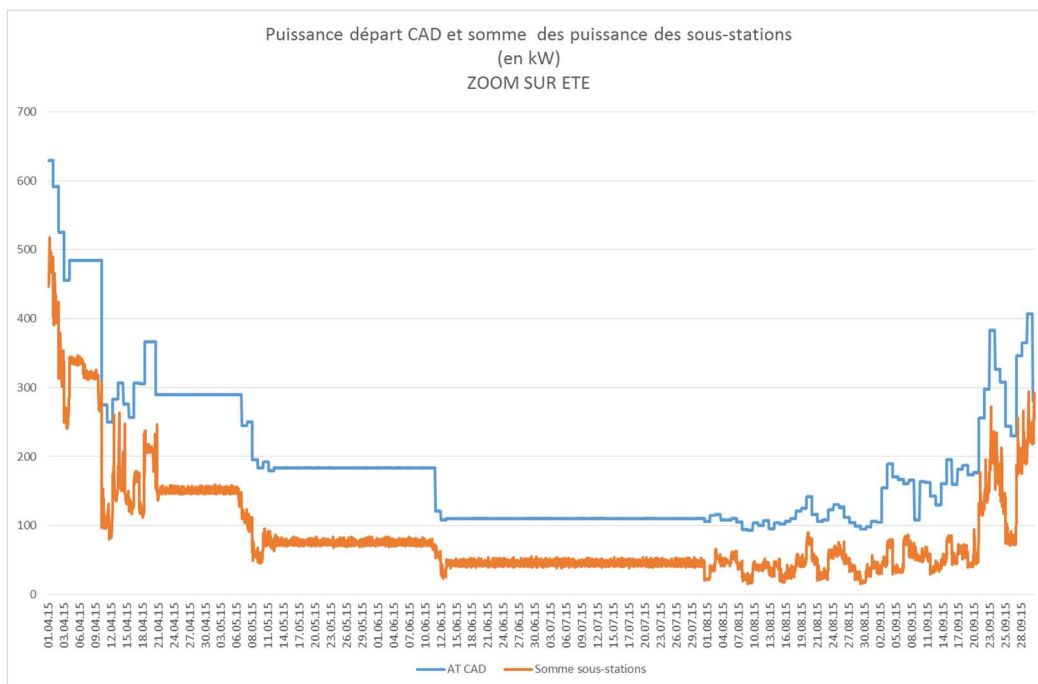
- La puissance pic appelée ne dépasse pas 1MW. La chaufferie est donc encore surdimensionnée à ce jour.
- Rendement de chaufferie
- En rapprochant les données du compteur CAD, celles des factures gaz et mazout, le rendement de la chaufferie de 90 % environ. Ceci semble favorable au regard de l'âge des équipements et du surdimensionnement de la chaufferie.
- Note : les périodes des relevés n'étant pas exactement similaires, ceci reste une estimation donnée à titre informatif.
- Rendement du CAD
- L'étude des consommations montre également que les pertes du CAD sont importantes.
- Les graphiques suivants illustrent cette situation, en présentant les chiffres du compteur posé sur le départ du CAD, et la somme des compteurs des sous-stations.



- Graphique détaillé en période hivernale



- Graphique détaillé en période estivale



- En moyenne, 100 kW sont dissipés le long du tracé du CAD en période estivale, et 200 kW en période hivernale. Les rendements de distribution sont les suivants :
 - 62 % sur une année complète ;
 - dont 69 % en hiver et 36 % en été.
- Note : pour reconstituer ces rendements, les hypothèses susmentionnées ont été utilisées, mais une consommation estimative pour le bâtiment LM a été créée.

Incertitudes sur les chiffres de la production ECS

- Sur la base des observations et de l'étude des documents fournis, l'inventaire des bouilleurs (non électriques) présents sur le site est :
 - 1 bouilleur dans le bâtiment AM
 - 1 bouilleur dans le bâtiment CR4, alimentant CR2/CR3/CR4/CI et CA
 - 1 bouilleur dans CS
 - 1 bouilleur dans IG
 - 1 bouilleur dans IH
 - 1 bouilleur dans IT
 - 1 bouilleur dans LL
 - 1 bouilleur dans LM
- Seul le bouilleur présent dans CR4 est équipé d'un compteur d'énergie thermique spécifique. Il dispose d'un échangeur tubulaire de 465 kW.
- Cependant, la puissance estivale mesurée sur le départ CAD est comprise entre 100 et 200 kW, ce qui indique 2 points :
 - que le volume du CAD permet de lisser les appels de puissance,
 - et/ou que les volumes de stockage et les productions ECS sont largement dimensionnés.

3.2 Hypothèse d'évolution des besoins

Rénovation et construction de nouveaux bâtiments

Un scénario a été constitué afin d'estimer l'impact de futures rénovations ou construction de bâtiments, selon les hypothèses suivantes :

- Groupe de bâtiment CR2/3/4, CI et CA : enveloppe rénovée complètement (standard Minergie)
- Bâtiments LL, CS et IT : enveloppe rénovée partiellement, permettant de réduire les consommations de 20 %
- Bâtiment LM supprimé, et reconstruit selon un standard de haute performance énergétique
- Un nouveau bâtiment de 2'000 m², construit à un standard de haute performance énergétique

Avec ce scénario, les consommations projetées seraient de 20 % inférieures aux consommations actuelles. Cette variation est sensible mais ne remet pas en cause le dimensionnement projeté pour la chaufferie.

Simultanéité des besoins chauds et froids

Le site n'a que très peu de besoins en froid (bâtiment simulateurs seulement), et aucune installation d'équipements nouveaux n'est projetée à ce jour. Il n'a pas étudié de solutions permettant la production simultanée de chauffage et d'eau glacée, ni l'utilisation de rejets de chaleur qui seraient disponibles sur le site.

3.3 Ressources potentielles

L'analyse des ressources est résumée dans le tableau suivant.

| | | |
|--------------------------------------|---|--|
| Plaquettes de bois | Ressource disponible localement. Modification de la chaufferie pour permettre l'approvisionnement | Recommandé |
| Pellets | Ressource disponible localement moyennant un nouveau contrat avec clause de proximité. Modification de la chaufferie pour permettre l'approvisionnement | Recommandé |
| Solaire thermique | Ressource disponible localement. Toit à disposition pour les panneaux solaires. | Non souhaité par armasuisse pour des raisons d'entretien |
| Solaire photovoltaïque | Ressource disponible localement. Toit à disposition pour les panneaux photovoltaïques. | Recommandé |
| Pompe à chaleur avec géothermie | Interdiction de forer | Non conforme |
| Pompe à chaleur avec source Moulinet | Source éloignée et n'appartenant pas à la Confédération | Non recommandé |
| Pompe à chaleur air/eau | Ressource locale si une production d'électricité est prévue et en combinaison avec une autre source renouvelable pour obtenir des rendements suffisants. | Recommandé |
| Mazout | Ressource non locale. Concept ne correspondant plus à la stratégie de l'armée | Non conforme. Envisageable pour le secours |
| Biogaz | A priori ressource limitée aux déchets alimentaires du site. Il faudrait vérifier que ces déchets soient valorisés à la centrale de méthanisation de Chavornay. | Non envisageable |
| Gaz | Ressource non locale. Concept ne correspondant plus à la stratégie de l'armée | Non conforme. Envisageable pour le secours |

4 Etudes de variantes

4.1 Variantes étudiées

RAPPEL : toutes les variantes exposées ci-après le sont à titre purement indicatif. Seules les études du groupement de mandataires seront valables comme base de choix final d'armasuisse

4.1.1 Hypothèses retenues pour les comparaisons de variantes

Consommation énergétique : 4'300 MWh /an

Puissance : 1'300 kW

4.1.2 Explications sur les variantes écartées

Achat de gaz vert

L'achat de gaz vert ne peut être retenu à ce jour comme solution répondant à la politique énergétique de l'armée car il n'existe pas de certificat attestant la provenance du gaz acheté contrairement à l'électricité.

Solaire thermique

Les installations solaires thermiques ne sont pas souhaitées par armasuisse pour des raisons d'entretien et de fluctuations des besoins en eau chaude sanitaire.

Gazéification locale de bois

La gazéification est un processus complexe au cours duquel un combustible solide est partiellement oxydé pour produire un gaz. Celui-ci permet à son tour de produire de l'électricité. Le développement de cette technologie est encore en cours aujourd'hui et les premiers produits de série sont en développement.

Récupération de chaleur sur les eaux usées

Le document Concept Global de Gestion, daté de 2015, fait mention d'un débit d'eaux usées total du site de 20 m³/jour, à une température moyenne de 15 °C. Ce débit est trop faible pour imaginer l'investissement d'un échangeur dans un collecteur, ainsi que la mise en place d'une pompe à chaleur.

Installation d'un ORC

Les installations motrices à fluide organique ORC (Organic Rankine Cycle) peuvent fonctionner en cogénération chaleur-électricité. Elles permettent de produire de l'électricité à partir de sources thermiques à relativement basse température (inférieure 300°C) et la chaleur récupérée au condenseur du cycle permet de remplir les besoins du CAD. Cependant pour être rentable avec un fonctionnement, ces installations doivent être dimensionnées en puissance pour satisfaire les besoins du CAD surtout en période estivale. Dans le cadre de ce projet une petite unité ou module ORC de capacité inférieure à 50 kWe serait suffisante. Ces modules ORC de plus petite taille fonctionnent avec une température au condenseur inférieure à environ 50°C et ne permettent pas ainsi de satisfaire les conditions de fonctionnement du CAD.

4.2 Variantes potentielles

- Variante 1 : chaudières à bois, pellets (1 MW + 0,3 MW, secours par la chaudière existante de 1,5 MW), réseau haute température

- Variante 2 : chaudières à bois, plaquettes (0,9 MW + 0,45 MW, secours par la chaudière existante de 1,5 MW), réseau haute température
- Variante 3 : chaudières bois et PAC

4.2.1 Variante 1 : chaudières à pellets

Généralités

L'ensemble de la production de chaleur du site deviendra d'origine renouvelable. Le combustible utilisé sera le pellet de bois. La chaudière existante de 1,5 MW sera conservée comme secours.

Deux chaudières utilisant le pellet seront installées : l'une de 1 MW, permettant d'assurer la totalité des besoins hivernaux, l'autre de 300 KW couvrant la bande estivale et venant en appoint en période de pointe.

Un accumulateur de chaleur de 40 m³ sera installé, soit le volume nécessaire au stockage d'une heure de fonctionnement à la puissance nominale.

Stockage du combustible

Le stockage de pellets sera réalisé dans la partie du local citerne déjà vide, qui sera équipé de 5 vis de d'extraction et d'un faux plancher. Le local sera ventilé de façon mécanique. Il permettra de stocker environ 275 m³ de pellets. Un accès direct à l'air libre devra être aménagé pour permettre de vider le local en toute sécurité.

Le combustible collecté par ces vis sera acheminé de façon aérienne vers les réservoirs intermédiaires, situés en chaufferie.

Traitement des fumées et cendres

Pour le traitement des particules fines, chaque chaudière sera équipée d'un cyclone et d'un électrofiltre, permettant de respecter la limite de 20 mg/m³ de particules solides dans les gaz de fumées.

Un décendrage central est prévu, permettant de regrouper toutes les cendres produites dans un container étanche situé à l'extérieur de la chaufferie. Celui-ci devra être vidé par une société spécialisée intervenant avec un camion étanche.

Livraison du combustible

Le volume annuel consommé est estimé à 1'300 m³. Le silo, d'une capacité utile d'environ 275 m³, devra donc être rempli au minimum 5 fois. Avec un camion de livraison d'une capacité de 30 tonnes, cela représente 29 déchargements de camion annuellement.

Le chargement du local de stockage en pellets sera effectué par le dessus. La dalle devra être sciée pour accueillir au minimum deux trappes de remplissages. Elle devra également être renforcée pour permettre le passage d'un camion de 30 tonnes minimum.

Une autre alternative consisterait à laisser le camion sur la route et à remplir par soufflage des pellets. Cette opération est cependant très longue (deux heures par déchargement de camion au lieu de 15 minutes pour le déchargement par la trappe).

Autres

Diverses modifications auront lieu en chaufferie : déplacement de panoplies hydrauliques, déplacement et changement de l'expansion, démolition de socles, adaptation de la passerelle...

Production et performance de la Variante 1 :

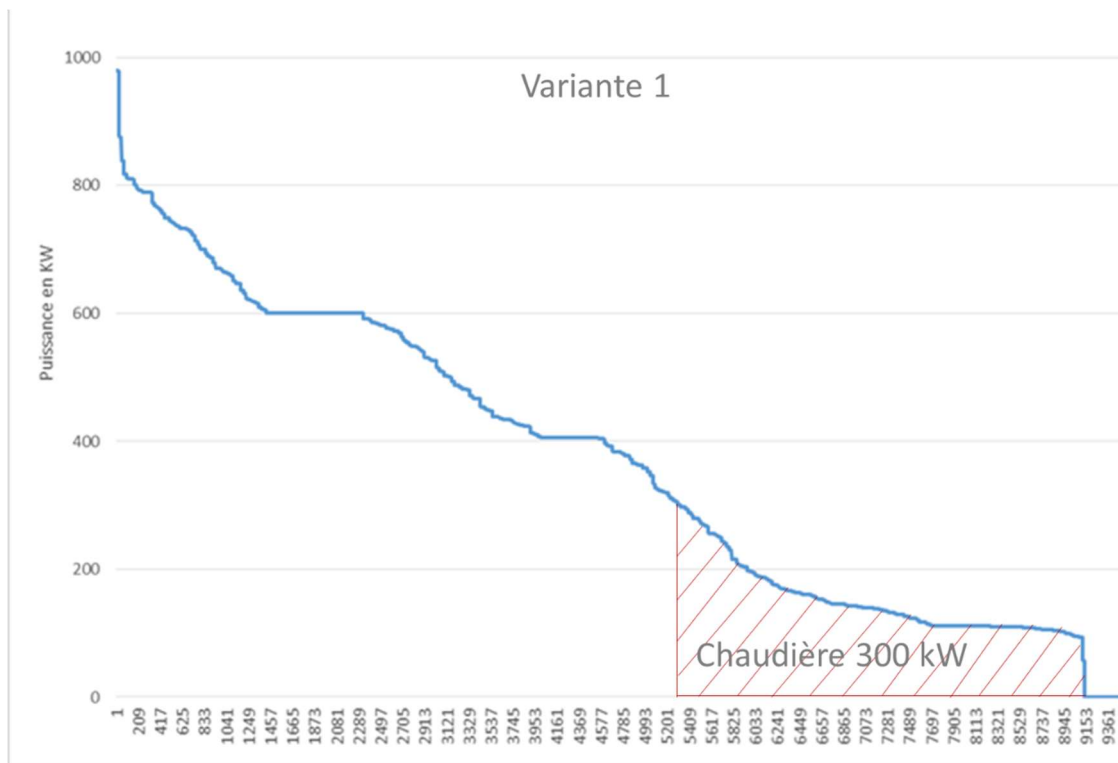
Hypothèses :

- Chaudière à bois de pellets : puissance total 300 kW.
- Chaudière à bois pellets : puissance 1'000 kW.

| | |
|---------|--|
| Période | Stratégie variante V1 |
| Eté | Chaudière à pellets 300 kW modulante |
| Hiver | <ol style="list-style-type: none"> 1. Chaudière à pellets 1000 kW (puissance minimum 350 kW) modulante de 35% à 100% 2. Chaudière à pellets 300 kW (en appoint en période de pointe) |

La stratégie de réglage est basée sur la séquence de démarrage des chaudières suivantes :

- En été uniquement la chaudière de 300 kW fonctionne de manière modulante.
- En automne, printemps et hiver, dès que la puissance nécessaire au CAD le permet, la chaudière de 300 kW devient secondaire et la chaudière à bois de 1.0 MW fournit la puissance au CAD.
- Le graphique suivant montre en bleu les besoins du CAD et en rouge la production de la chaudière 300 kW pendant les périodes d’été et d’entre-saison.



La puissance de la petite chaudière de 300 kW permet de couvrir environ 3'600 heures de fonctionnement en période de faibles besoins avec une production thermique annuel de l'ordre de 540 MWh. L'utilisation de la seconde chaudière 1000 kW en hiver et en période estivale permet de couvrir le reste des besoins.

Dans le tableau ci-dessus sont présentées les valeurs de production de la variante 1 :

Bilan énergétique annuel :

| | |
|---|---------------------|
| Production d'énergie thermique pour le CAD | 4298 MWh |
| Energie thermique produite par la chaudière à pellets 300 kW | 540 MWh |
| Energie thermique produite par la chaudière à pellets 1000 kW | 3758 MWh |
| Volume de bois consommé par les deux chaudières à pellets | 1322 m ³ |
| Quantité de pellets consommés par les deux chaudières | 860 tonnes |
| Energie électrique consommée par la chaufferie | 193 MWh |
| Heures opérationnelles de la chaudière à pellets 300 kW | 3600 h |
| Heures opérationnelles de la chaudière à pellets 1000 kW | 5100 h |

4.2.2 Variante 2 : chaudières à plaquettes

Généralités

L'ensemble de la production de chaleur du site deviendra d'origine renouvelable. Le combustible utilisé sera la plaquette forestière. La chaudière existante (gaz) de 1,5 MW sera conservée comme secours.

Deux chaudières utilisant la plaquette seront installées : l'une de 900 kW et la seconde de 450 kW. Ces puissances ont été retenues en fonction des gammes offertes par le fournisseur consulté.

Un accumulateur de chaleur de 40 m³ sera installé, soit le volume nécessaire au stockage d'une heure de fonctionnement à la puissance nominale.

Stockage du combustible

Le stockage de plaquettes sera réalisé dans l'ensemble de l'ancien local citerne. Le local sera ventilé de façon mécanique. Il permettra de stocker environ 420 m³ de plaquettes. Un accès direct à l'air libre devra être aménagé pour permettre de vider le local en toute sécurité.

Le combustible sera collecté par un fond racleur ce qui nécessitera les aménagements suivants :

- création d'une cloison pour compartimenter l'espace stockage et l'espace accueillant les vérins du fond racleur ;
- abaissement de la dalle sur un mètre de profondeur tout au long de la cloison et ferrailage pour l'ancrage des vérins ;
- coulage d'une chape sur l'ensemble du plancher du local de stockage pour ancrage des profilés du fond racleur ;
- fosse de récupération du combustible avant la vis principale d'alimentation.

La vis conduira le combustible jusqu'au réservoir de chaque chaudière.

Note : Cette variante présente plus de contraintes au niveau du génie civil. Dans le cas du stockage bas, la suppression du mur entre les deux locaux citernes impose la mise en place de poteaux et sommiers, dont les positions ne devront pas être en conflit avec celles des échelles racleuses.

Une variante de stockage haut a également été envisagée, mais il semble difficile d'abaisser partiellement le niveau de la dalle pour placer les vérins.

La construction d'un silo extérieur serait une solution non étudiée dans ce rapport. Dans tous les cas, une étude détaillée devra être conduite par un ingénieur civil en phase avant-projet.

Traitement des fumées et cendres

Pour le traitement des particules fines, chaque chaudière est équipée d'un cyclone. Un électrofiltre commun permet par la suite de respecter la limite de 20 mg/m³ de particules solides dans les gaz de fumées.

Un décentrage central n'est pas prévu en raison de l'encombrement déjà très important de la chaufferie et de son coût. Des containers seront installés à chaque point de collecte : chaudières, filtre, cyclones. Un tuyau avec raccord rapide sera installé afin de connecter le camion étanche côté extérieur et de permettre le raccord rapide d'un flexible côté intérieur pour l'extraction aisée des cendres. Des containers de réserve seront mis à disposition.

Livraison du combustible

Le volume annuel consommé est estimé à 6'150 m³. Le silo, d'une capacité utile d'environ 420 m³, devra donc être rempli au minimum 16 fois. Avec un camion de livraison d'une capacité de 65 tonnes (30 tonnes + remorque 35 tonnes), cela représente 33 déchargements de camion annuellement.

Le chargement du local de stockage en plaquettes sera effectué par le dessus. La dalle devra être sciée pour accueillir au minimum 4 trappes de remplissage carrossables. Elle devra également être renforcée pour permettre le passage du camion.

Autres

Diverses modifications auront lieu en chaufferie : déplacement de panoplies hydrauliques, déplacement et changement de l'expansion, démolition de socles, adaptation de la passerelle...

Production et performance de la Variante 2 :

Hypothèses :

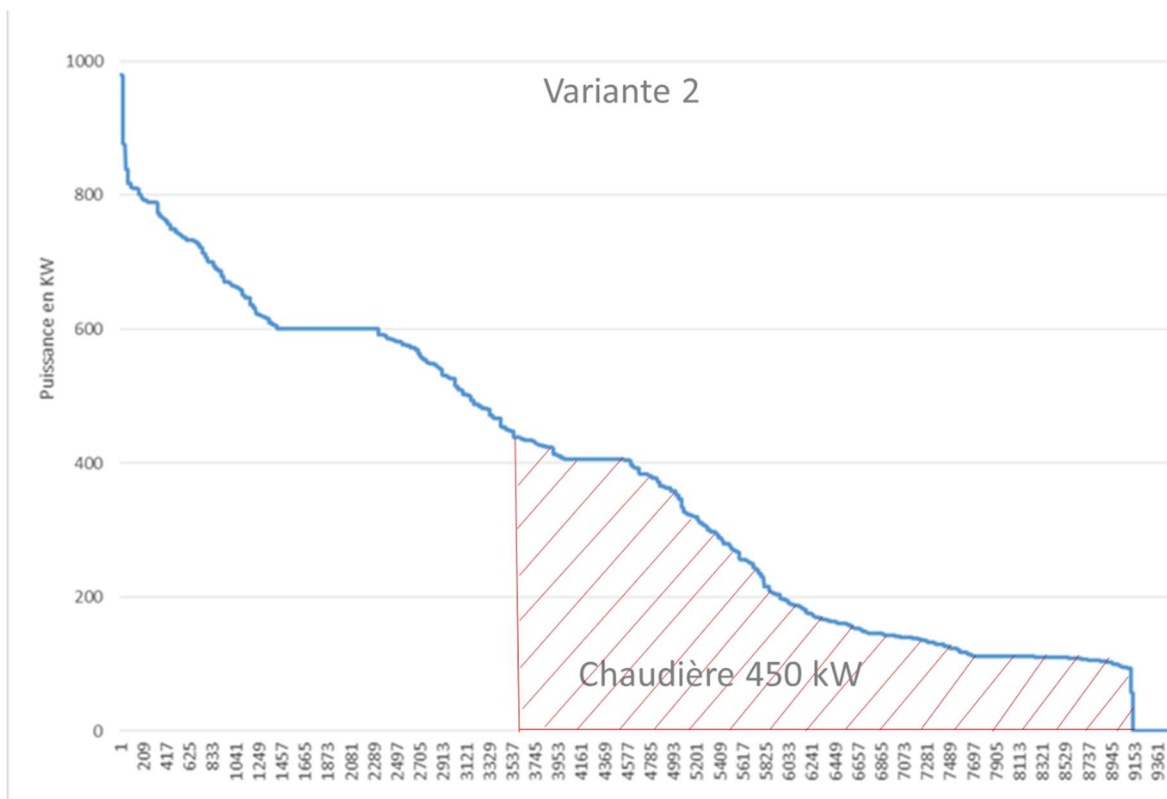
- Chaudière à bois plaquettes : puissance total 450 kW.
- Chaudière à bois plaquettes : puissance 900 kW.

| Période | Stratégie variante V2 |
|---------|---|
| Eté | Chaudières à bois plaquettes 450 kW modulante |
| Hiver | Chaudière à plaquettes 900 kW (puissance minimum 315 kW) modulante de 35% à 100% Chaudière à plaquettes 450 kW (en appoint en période de pointe) |

La stratégie de réglage est basée sur la séquence de démarrage des chaudières suivantes :

- En été et entre-saison, la chaudière de 450 kW fonctionne de manière modulante.
- En hiver, dès que la puissance nécessaire au CAD le permet, la chaudière de 450 kW devient secondaire et la chaudière à bois de 900 kW fournit la puissance au CAD.

Le graphique suivant montre en bleu les besoins du CAD et en rouge la production de la chaudière 450 kW pendant les périodes d'été et d'entre-saison.



La puissance de la petite chaudière de 450 kW permet de couvrir environ 5'200 heures de fonctionnement en période de faibles besoins avec une production thermique annuelle de l'ordre de 1170 MWh. L'utilisation de la seconde chaudière 900 kW en hiver et entre-saison permet de couvrir le reste des besoins.

Dans le tableau ci-dessus sont présentées les valeurs de production de la variante 2 :

Bilan énergétique annuel :

| | |
|--|---------------------|
| Production d'énergie thermique pour le CAD | 4298 MWh |
| Energie thermique produite par la chaudière à pellets 450 kW | 1170 MWh |
| Energie thermique produite par la chaudière à pellets 900 kW | 3128 MWh |
| Volume de bois consommé par les deux chaudières à plaquettes | 6122 m ³ |
| Quantité de pellets consommés par les deux chaudières | 1653 tonnes |
| Energie électrique consommé par la chaufferie | 193 MWh |
| Heures opérationnelles de la chaudière à pellets 450 kW | 5200 h |
| Heures opérationnelles de la chaudière à pellets 900 kW | 3500 h |

4.2.3 Variante 3 : Fonctionnement avec un concept hybride PAC/Chaudière à bois

Hypothèses :

- La température du réseau est optimisée pour un fonctionnement à plus basse température, 70-65°C au départ du CAD.

Le nouveau concept est composé par :

- 1xChaudière à bois à pellet : puissance total 1'000 kW (Comme celle décrite ci-haut avec la variante 1).
- 1x module de pompe à chaleur : puissance 300 kW dont la gestion est optimisée pour maximiser ses performances avec un fonctionnement en été.

Le système de PAC air-eau est basé sur un module eau-eau placé dans la chaufferie et dont l'évaporateur est relié à un aéro-refroidisseur. La chaleur produite au niveau du condenseur à eau est directement renvoyée au circuit du chauffage à distance (CAD). La chaleur utilisée à source froide avec évaporateur à eau est prélevée de l'air extérieur grâce à un aéro-refroidisseur réversible placé à l'extérieur (sur le toit).

La PAC ne travaille pas en dessous de 5°C extérieure, les dégivrages peuvent se faire naturellement avec l'air extérieur (durée de dégivrage plus longue), ce qui permet de se passer d'un module hydraulique spécifique.

Le Coefficient de performance (COP) de la PAC dépasse une valeur de 3 pour une température extérieure supérieure à 5°C. Sa capacité peut atteindre valeur de 360 kW en fonction de la température de départ (55-60°C).

Ce principe d'intégration d'une PAC qui ne fonctionne qu'en été et entre-saison permet de tirer profit d'un meilleur coefficient de performance (COP) comparé avec les PAC air-eau dimensionné pour fonctionner en plein hiver.

Production et performance de la Variante 3 :

Hypothèses :

- Pompe à chaleur : puissance total 300 kW.
- Chaudière à bois pellets : puissance 1'000 kW.

| Période | Stratégie variante 3 |
|-------------------|---|
| Eté | Pompe à chaleur 300 kW modulante |
| Automne/printemps | <ol style="list-style-type: none"> 1. Chaudière à bois en mode de charge minimum à 35% (puissance minimum 350 kW) 2. PAC-300 kW modulante pour compensation rapide (priorité à la chaudière à bois) |
| Hiver | <ol style="list-style-type: none"> 1. Chaudière à bois modulante de 35% à 100% (puissance minimum 350 kW) |

La chaudière à bois fonctionne à une température constante fixée à 70°C.

La PAC fonctionne uniquement au-dessus de 5°C extérieure avec une température de sortie glissante en fonction de la température extérieure :

- La température de départ PAC est de 55°C pour une température extérieure de 5°C
- Sa valeur peut atteindre 65°C pour une température extérieure supérieure à 17°C

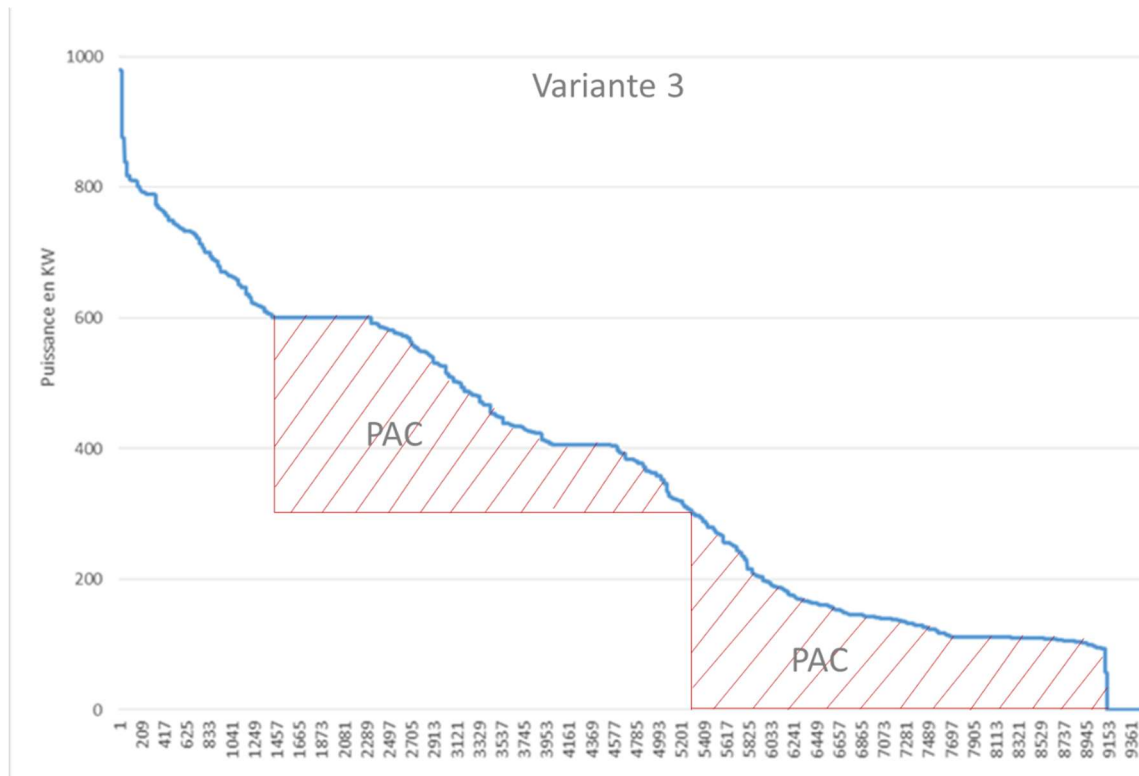
Pour chaque période de fonctionnement (été, automne, printemps, hiver), une certaine priorité est donnée à la séquence de démarrage des deux unités de production (PAC et chaudière à bois).

En été uniquement la PAC de 300 kW fonctionne et agit de manière modulante.

En automne et en printemps, dès que la puissance nécessaire au CAD le permet, la chaudière à bois est utilisée au minimum de sa charge, soit 35% du nominal et fournit au CAD une puissance constante de l'ordre de 350 kW. La PAC modulante devient secondaire en fournissant le complément de puissance nécessaire pour le CAD.

En plein hiver, la chaudière à bois de 1000 kW reste prioritaire et la PAC secondaire sera complètement arrêtée lorsqu'on observe des températures extérieures en dessous de 5°C. Dans ce cas, la chaudière à bois sera donc exploitée seule de manière modulante pour couvrir la totalité des besoins du CAD, y compris les pointes.

Le graphique suivant montre en bleu les besoins du CAD et en rouge la production de la PAC pendant les périodes d'été et d'entre-saison.



La monotone présente un fonctionnement pour la chaudière à bois de plus de 4900 h, soit 1460 h de fonctionnement en hiver et 3500 h de fonctionnement en mode de charge minimum en période estivale. Ce qui représente une production thermique annuelle de 2'375 MWh.

En été la PAC fonctionne toute seule pour couvrir les besoins d'eau chaude sanitaire. En hiver et entre-saison, le temps de fonctionnement de la PAC est lié au temps de fonctionnement de la chaudière. La production thermique de la PAC permet de couvrir jusqu'à environ 35% des besoins du CAD, de l'ordre environ de 1'425 MWh.

Dans le tableau ci-dessous sont présentées les valeurs de production de la variante 3 avec la stratégie de contrôle décrite ci-dessus.

4.3 Récapitulatif techniques de variantes

| Description Variante | 1xChaudière pellets 300 kW 1xChaudière pellets 1000 kW | 1xChaudière plaquettes 450 kW 1xChaudière plaquettes 900 kW | 1xPAC 300 kW 1xChaudière pellets 1000 kW |
|---|---|--|---|
| Bilan énergétique | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
| Besoins thermiques du CAD [MWh/an] | 4'298 | 4'298 | 3'911 |
| Apport chaudière pellets [MWh/an] | 4'298 | - | 2'486 |
| Apport chaudière plaquettes [MWh/h] | - | 4'298 | - |
| Apport thermique PAC [MWh/an] | - | - | 1'425 |
| Besoins d'électricité de la chaufferie [MWh/an] | 193 | 193 | 621 |

4.3.1 Option d'installation photovoltaïque pour couvrir les besoins d'électricité de la chaufferie

Pour couvrir les besoins de consommation d'électricité de la chaufferie, il est proposé d'utiliser une installation photovoltaïque (PV).

Le tableau suivant montre les résultats de calcul pour les différentes variantes :

| Système PV pour couvrir les besoins d'électricité | Variante 1 | Variante 2 | Variante 3 |
|---|------------|------------|------------|
| Capacité installation PV [kWc] | 129 | 129 | 414 |
| Production PV annuelle [MWh/an] | 193 | 193 | 621 |
| Surface nécessaire pour couvrir les besoins [m ²] | 774 | 774 | 2'483 |

Remarque :

- Une capacité d'installation PV de 414 kWc pour la variante 3 (à comparer avec l'installation de 129 kWc pour les variantes 1 et 2)
- Une surface requise de l'ordre de 2'483 m² pour la variante 3

La différence de production en MWh/an observée entre la variante 3 et les autres variantes représente l'énergie totale consommée par la PAC. Ainsi un nombre de surface supplémentaire de l'ordre de 1'709 m² est nécessaire pour compenser cette quantité d'énergie consommée par la PAC.

5 Descriptif des études et des travaux

L'objectif est de transformer en un seul été, en 1, 2 voire 3 étapes, afin de garantir l'exploitation du site la chaufferie de la Place d'Armes de Chamblon en remplaçant la production de chaleur au mazout et à gaz par une production respectueuse de l'environnement, locale et conforme aux objectifs fixés par Armasuisse.

Des prises fixes pour un raccordement externe d'une production provisoire devront être prévues afin de garantir la production d'ECS, voire de réduire le nombre d'étapes de transformation.

- Remplacements complets des unités de production de chaleurs et de leurs éléments annexes comme stockage, filtres, etc. en fonction des choix opérés
- Adaptation des réseaux hydraulique de la production et de la distribution en centrale
- Changements des systèmes d'expansion et de dégazage réseau centrale et CAD
- Suppression des citernes mazout existantes et installations annexes (pompage, etc.)
- Adaptation génie civil des locaux (ouverture, socle, etc.)
- Adaptation des installations techniques CV du bâtiment en fonction des choix opérés
- Adaptation de l'éclairage des locaux
- Adaptation des installations sanitaire
- Adaptation des installations MCR
- Adaptation des installations électriques Force

Les études sont basées sur les normes SIA 112, 103 et 108 (voir détails dans document « partie A » et proposition de contrat) respectivement pour le pilote planificateur général, l'ingénieur civil et les ingénieurs techniques CVSEA. Le groupement de mandataires est obligatoire.

5.1 Travaux complémentaires

L'analyse a permis d'identifier des dysfonctionnements qui sont précisés dans ce chapitre et **qui seront à traiter.**

5.1.1 Véracité des informations de comptage

Le site de Chamblon dispose d'un système de comptage. Par bâtiment, on trouve un compteur d'énergie sur la sous-station CAD, des compteurs d'eau froide entrée immeuble et entrée bouilleur, des compteurs électriques sur l'alimentation générale et sur chacun des tableaux de régulation chauffage et ventilation.

Cet outil paraît sous exploité et l'analyse des données de comptage permet d'identifier certains dysfonctionnements qui avaient déjà été signalés en 2015, et des préconisations avaient été faites afin de procéder au contrôle des compteurs.

Suite à ce constat, une entreprise avait réalisé un contrôle de la bonne transmission des informations de comptage. Le compteur d'ECS du bâtiment CR4 semblait être le seul à ne pas fonctionner.

Il y a cependant aujourd'hui, en plus de ce compteur, d'autres dérives, ou absence de données.

Il est nécessaire de dresser un inventaire de ces compteurs et d'effectuer :

- un contrôle global du fonctionnement mécanique ;
- un contrôle global de la transmission des informations

Et en fonction des résultats obtenus il faudra remettre en état ces installations indispensables au suivi énergétique de la caserne.

5.1.2 Qualité d'eau

La qualité d'eau a été contrôlée fin 2021 et laisse apparaître de valeurs hors normes 2 fois sur 3.

Au vu de l'âge de l'installation, du fait qu'aucun ébouage n'a été réalisé depuis la construction, il est nécessaire

- lessivage du réseau complet (CAD et bâtiments), nettoyage et remplissage en eau déminéralisée ;
- pose d'une station pour appoint

Des demandes d'offres ont été réalisées en 2022 afin d'effectuer ces travaux si possible avant les travaux de cet appel d'offre.

Comme il n'y a aucune séparation hydraulique entre les bâtiments et le CAD, la pose d'échangeur de chaleur utilisés comme séparation de systèmes sera à étudier.

La séparation du réseau de chauffage à distance primaire au moyen d'échangeurs de chaleur est réalisée uniquement sur les places d'armes de Thoune et de Bière. Pour toutes les autres installations de chauffage cette solution n'est pas appliquée pour des raisons de pertes de chaleur et des coûts engendrés au niveau de l'investissement, de l'exploitation et de la maintenance. »

5.1.3 Expansion et dégazeur

L'installation de type Transféro de 1997 arrive au bout de sa durée de vie théorique. Dans le cadre des travaux en chaufferie, leur remplacement complet ainsi que la pose d'un nouveau dégazeur doivent être étudiés.

5.1.4 Monobloc de préchauffage de l'air de combustion

Le monobloc date de 1977. Son remplacement n'est nécessaire que si l'on n'arrive pas à maintenir hors gel la centrale de chauffage par les pertes des futures systèmes installés. Si tel n'est le cas pas, il peut être supprimé.

5.1.5 Nouvelle isolation du CAD

L'étude a montré des pertes de distribution importantes. Le calorifuge du CAD est ancien, les épaisseurs relevées de l'ordre de 6 cm, défectueuses à certains endroits (retraits). L'isolation du CAD doit être remplacée par les épaisseurs MOPEC actuelles.

5.1.6 Risque de légionnelles

Plusieurs alertes légionnelles ont eu lieu, dans les bâtiments casernes notamment. Pour ces raisons, la température des bouilleurs du bâtiment CR4 est actuellement maintenue à 70°C minimum. En raison de l'absence de calorifuge sur certaines tuyauteries de la sous-station, cela crée des pertes considérables. Les pertes liées à la distribution et la circulation de l'ECS s'en trouvent également augmentées.

Les types de bouilleur et les positions des prises ECS et réchauffage ne sont pas optimaux.



Cette production ECS devient le consommateur critique du réseau en termes de température à fournir par le CAD.

Une réflexion sur cette production et distribution ECS afin de pouvoir éliminer le risque légionnelles de façon efficace, tout en maintenant une température de 60°C dans les bouilleurs en temps normal doit être menée.

5.2 Mesures préliminaires

La réalisation d'une production de chaleur faisant appel à une pompe à chaleur (variante 3) nécessite la diminution de la température du réseau de distribution de chaleur. Cette possibilité devra être confirmée par calcul ou par la mise en place d'une courbe de température de départ plus basse pour le CAD, pendant 1 an, et le suivi de cette température en plusieurs points du réseau. Ce point nécessitera de trouver une solution aux problèmes de légionnelles évoqués.

5.3 Planning intentionnel des études et des travaux

La planification intentionnelle des études est définie au chapitre 6 de la proposition de contrat.

5.4 Estimation des coûts

La solution finale proposée par le groupement de mandataires et qui sera retenue par Armasuisse fait l'objet de ce cahier charges et de cette étude, les estimations de coûts des travaux transmises sont des enveloppes moyennes

qui servent à définir les heures et les honoraires de la 1^{ère} phase des études comme cela est indiqué dans la proposition de contrat.

Afin de ne pas péjorer le calcul des honoraires, aussi bien en plus qu'en moins, et en complément des travaux à exécuter définis ci-avant, il faut tenir compte que :

- Un montant de CHF. 154'000.- est prévu dans les travaux CV pour de désenbouage et de traitement d'eau du CAD. Si ces travaux sont réalisés avant l'adjudication des prestations, ils seront déduits du montant CV.
- Il est prévu un montant de CHF. 772'000.- pour une installation photovoltaïque sur la toiture de la chaufferie. Il s'agit d'une valeur moyenne car selon le type des installations retenues les montants peuvent varier de CHF. 445'000.- à CHF. 1'428'000.- sans pour autant avoir une incidence réelle sur le calcul des honoraires.
- Les éventuels besoins de spécialistes (ingénieur sécurité, acousticien, etc.) feront l'objet de mandats directs par Armasuisse.
- Tous les coûts transmis ci-dessus sont TTC

Montants estimés des travaux TTC (HT) :

- Coûts totaux CHF. 3'073'000.- (CHF. 2'853'000.-)
- Coûts CV CHF. 1'918'000.- (CHF. 1'781'000.-) y compris traitement de l'eau CAD
- Coûts S CHF. 38'000.- (CHF. 30'000.-)
- Coûts E CHF. 844'000.- (CHF. 784'000.-) y compris photovoltaïque
- Coûts MCR CHF. 40'000.- (CHF. 37'000.-)
- Coûts génie civil CHF. 238'000.- (CHF. 221'000.-)

5.5 Plans, schémas et croquis

Annexe 1 : Schéma hydraulique actuel

Annexe 2 : Synthèse des caractéristiques des bâtiments du site

Annexe 3 : Schéma du réseau de chauffage à distance

Annexe 4 : Schémas hydrauliques des sous-stations (état actuel)

Annexe 5 : Schéma de principe des variantes

Annexe 6 : Plans de la chaufferie

Annexe 7 : rapport Amiante

Annexe 8 : rapport qualité de l'eau CAD