



RETOUR D'EXPÉRIENCE

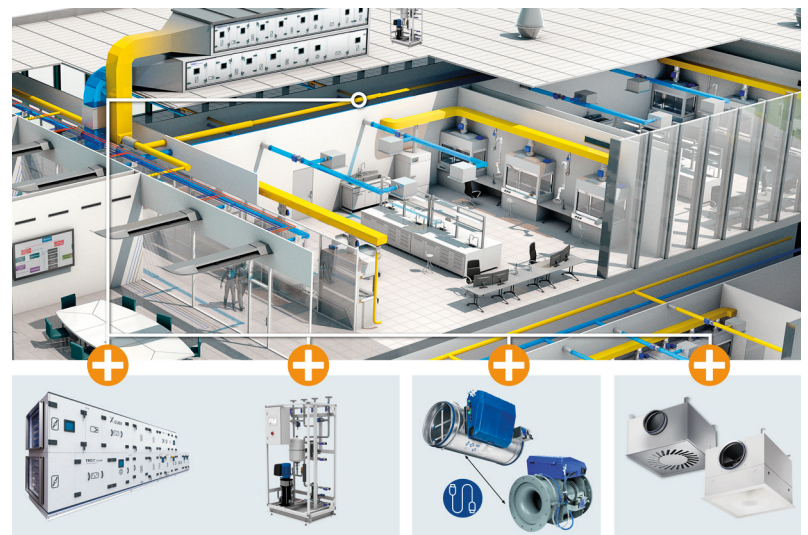
# Récupération d'énergie d'extraction d'un laboratoire équipé de sorbonnes

Par F. MALBOSC, Solvionic, et G. MAHÉ, Trox France

Dans le cadre de la création d'un nouveau site économe en énergie, une société s'est penchée sur la récupération d'énergie d'extraction d'un laboratoire équipé de sorbonnes. Le retour sur investissement a été étudié en travaillant sur le système de régulation des extractions, la récupération d'énergie et les systèmes de boucles à eau glycolée.

La société Solvionic développe une chimie de spécialité dans le domaine des liquides ioniques. Dans le cadre de la chimie durable, elle utilise une technologie innovante qui consiste à concevoir les procédés de chimie dans leur ensemble pour consommer moins d'énergie, moins de matières premières et générer moins de déchets. Solvionic produit des liquides ioniques et développe leurs applications dans les domaines de la catalyse, de la préparation de surface et du stockage d'énergie. Forte d'une croissance importante, la société avait besoin de s'agrandir

et de créer un nouveau site lui permettant de continuer à développer sa recherche dans des conditions optimales. Solvionic et Trox France échantent dès décembre 2018, soit dix-huit mois avant la phase APS du projet, afin de déterminer comment atteindre ces futurs objectifs. Deux cibles sont visées pour le nouveau laboratoire, au-delà de la sécurité des laborantins : un laboratoire économe en énergie et modèle (objectif principal) et un confort de travail élevé. Un laboratoire est par définition très énergivore. De l'air neuf est utilisé pour compenser les extractions de sorbonnes du local tout en garantissant la sécurité des opérateurs.



Cet air a été préalablement filtré, réchauffé ou refroidi (et parfois déshumidifié). L'enjeu du projet pour Trox est donc de réduire les consommations énergétiques tout en assurant une parfaite sécurité aux laborantins avec un confort important. Les données du projet sont :

- taille pour la partie laboratoires : 35 sorbonnes et 20 hottes ;
- débit total de la centrale de traitement d'air (CTA) : 38 000 m<sup>3</sup>/h ;
- environnement non classé mais avec une conception architecturale

visant des moyens similaires à ceux d'une salle propre (paroi lisse, étanchéité...). Nécessité d'être en légère dépression et d'un taux de renouvellement d'air contrôlé, d'où une étanchéité contrôlée.

## Confort de travail

En traitement et distribution de l'air, le confort réside dans les critères suivants :

- une vitesse d'air dans la zone de confort < 0,2 m/s ;
- une différence de température

ContaminExpert Cet article a fait l'objet d'une présentation lors du congrès ContaminExpert 2023.

résiduelle dans la zone de confort < 1 °C (objectif exigeant mais tenu);

- l'humidité de l'air ;
- le niveau acoustique.

À noter deux points :

- l'humidité de l'air est un aspect géré par les CTA mais qui n'a pas été traité par notre étude sur la diffusion ;
- le niveau sonore, important pour le confort des personnels, n'a pas été pris en compte pour cette étude.

La solution mise en place consiste en une diffusion d'air au soufflage à jet hélicoïdal (**figure 1**). Les intérêts de la solution sont multiples. La vitesse d'air résiduelle au soufflage impacte deux éléments pour un projet de laboratoire : le confort du laborantin mais aussi le confinement de la sorbonne. En effet, l'air soufflé par le diffuseur peut jouer le rôle d'un rideau d'air et altérer ainsi le confinement de la sorbonne. Il est donc essentiel d'y attacher une haute importance dès le départ. Le choix des diffuseurs de soufflage va directement impacter *in fine* les résultats. La sorbonne doit être réglée avec les bonnes vitesses d'extraction tout en assurant le haut degré de confinement de l'équipement.

Il est complexe de modifier un réseau aéraulique en fin d'exécution d'un projet car les matériels et installations aérauliques occupent une place souvent importante dans les plafonds techniques. La technologie hélicoïdale possède une particularité intrinsèque unique : la réduction des vitesses résiduelles d'air quand on rapproche les diffuseurs entre eux. En effet le jet hélicoïdal s'apparente à des ondes d'air tournantes autour du diffuseur. Quand on rapproche les diffuseurs, à partir d'une certaine

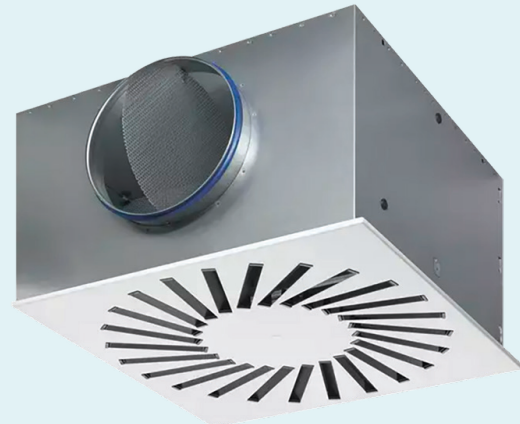
distance (environ 2 mètres), les ondes de diffusion s'entrechoquent et permettent donc de réduire les vitesses. Plus les diffuseurs sont rapprochés, plus les vitesses résiduelles sont faibles (ce phénomène s'apparente au principe d'un casque à réduction de bruit extérieur : le casque envoie une onde sonore inverse de celle mesurée à l'extérieur pour tendre vers une annulation du son parasite).

La **figure 2** et les deux abaques des **figures 3** et **4** permettant de comparer les vitesses résiduelles d'air à une hauteur de 1,80 mètre quand deux jets se mélangent.

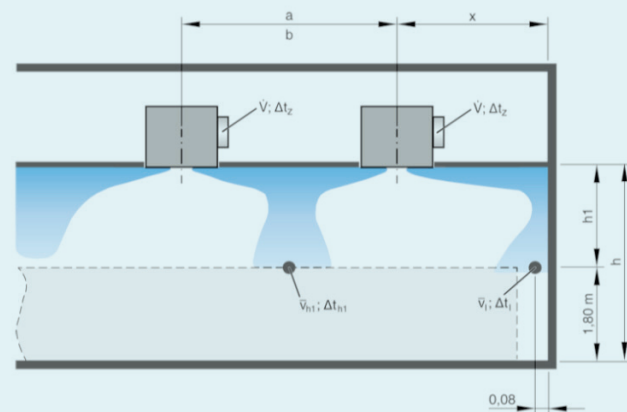
On constate que dans le cas du jet hélicoïde, à partir d'une certaine distance, quand on continue à rapprocher les diffuseurs, la vitesse  $V_{h1}$  diminue. Ce phénomène est propre au jet hélicoïdal et particulièrement au modèle Trox VDW. On constate que sur un diffuseur classique type quatre directions, la vitesse résiduelle ne fait qu'augmenter quand on rapproche les diffuseurs. Dans l'exemple précédent, on observe une vitesse résiduelle plus faible à 1 mètre d'écartement des diffuseurs qu'à 2 mètres ; ce n'est pas le cas pour le diffuseur quatre directions où les vitesses augmentent. Elles sont aussi plus élevées pour un débit équivalent et un même écartement sur le diffuseur quatre directions.

Le diffuseur hélicoïde crée un  $\Delta P$  négative (dépression) sous sa façade, ce qui permet d'aspirer l'air ambiant et de le mélanger à l'air soufflé. La diffusion est homogène et par ondes circulaires multicanaux. L'induction est très élevée grâce à la séparation des jets d'air. Cela permet, en complément du phénomène d'ondes contraires, d'obtenir des vitesses résiduelles faibles et cela avec des débits d'air dans les locaux ➔

### 1 Diffuseur à jet hélicoïdal

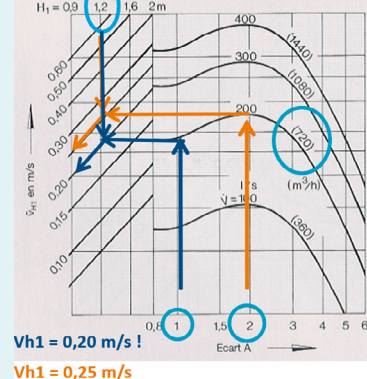


### 2 Illustration de la vitesse résiduelle $V_{h1}$ , à hauteur de 1,80 m



### 3 Abaque pour diffuseur hélicoïdal

31 Positionnement des diffuseurs: un rang ou plusieurs rangs quand  $B > 4,00$  m



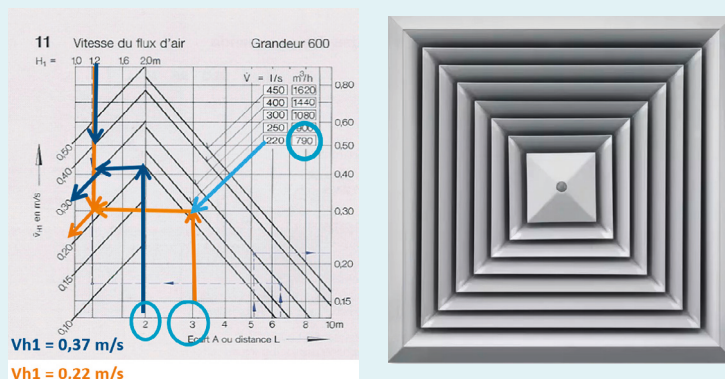
→ qui peuvent être très élevés de par la nature de l'application (compensation de débit d'air de sorbonnes, bras articulés...). On obtient donc un taux d'induction thermique élevé dont la valeur est précisée ci-après.

Grâce à sa capacité à créer une zone de dépression sous le diffuseur et donc à avoir un effet de mélange important, la puissance thermique de l'air est diffusée de manière très homogène et cela même avec des différences de température au soufflage très élevées.

Sur le projet Solvionic, cela donne (exemple en été) :

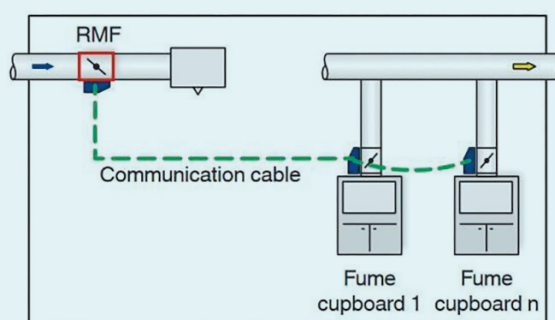
- température consigne été dans les laboratoires : 26 °C ;
- température de soufflage été : 15,6 °C ;
- température d'air soufflé à l'entrée de la zone de confort (1,80 mètre) : 25,6 °C, soit un  $\Delta T$  de 0,4 °C (essais menés en laboratoire Trox) ;
- taux d'induction thermique :  $1 / (\Delta Th1 / \Delta T_{\text{soufflage}}) = 1 / (-0,4 / -10,4) = 26$  ;
- vitesse d'air à l'entrée de la zone de confort (1,80 mètre) : 0,17 m/s. On a donc répondu au critère de différence de température résiduelle

#### 4 Abaque Trox pour diffuseur 4D



Source : études internes Trox, fondées sur des résultats d'essais en laboratoire.

#### 5 Schéma de principe



RMF : Room Management Function (régulateur maître).

dans la zone de confort et de vitesse tout en assurant un confinement parfait des sorbonnes.

Si on part sur une valeur moyenne de taux d'induction thermique de 5 pour un diffuseur quatre directions, on comprend qu'il devient impossible d'obtenir un même niveau de vitesse résiduelle et de  $\Delta T$  résiduelle. Il va falloir augmenter le débit d'air (avec la même puissance injectée) pour réduire le  $\Delta T$  au soufflage, et donc celui dans la zone de confort, pour se rapprocher d'un confort équivalent, ou bien réduire le débit d'air mais cela est impossible car il faut compenser l'air extrait par le process. La technologie hélicoïde permet d'atteindre le niveau de confort souhaité, même avec des débits d'air importants.

#### Amélioration de la performance énergétique du laboratoire

Les deux piliers de l'approche « économie d'énergie » sont :

- un système de régulation précis et rapide, à débit variable des extractions et compensations ;
- la récupération d'énergie sur les extractions spécifiques.

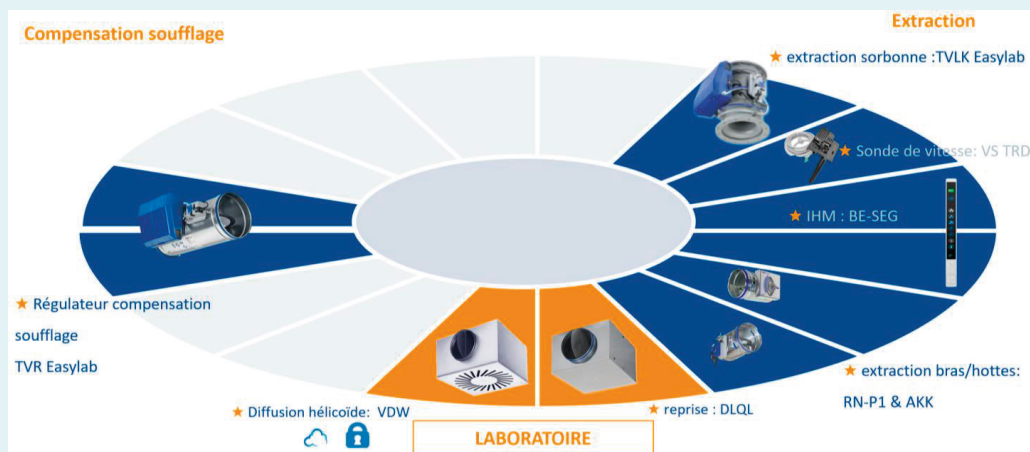
#### Le système de régulation des extractions/compensations

Le système Trox EasyLab mesure l'ensemble des débits d'air avec une précision de 4 % (sur toute la plage de mesure et non pas seulement au débit maximum). L'ensemble des débits extraits est transmis à un régulateur de compensation (figures 5 et 6). La demande de débit d'air neuf de chaque local et donc au niveau de la CTA correspond donc exactement au besoin.

#### Différentes étapes du design

1. déterminer les équipements et leurs modes de fonctionnement : sorbonnes, hottes, bras, etc.

#### 6 Éléments techniques/matériels



2. déterminer le mode de régulation des sorbonnes ;
3. sélectionner et dimensionner les compensations/reprises en fonction des taux de renouvellement minimum exprimés/nécessaires ;
4. choisir le type de diffusion et les emplacements pour obtenir les confinements et le confort des laborantins ;
5. concevoir la CTA et le système de récupération d'énergie (figures 7 et 8).

**La récupération d'énergie sur les extractions spécifiques**

Pour rappel, le texte de loi de la Commission européenne publié au Journal officiel du 24 novembre 2014 stipule : « Directive 2009/125/CE – Règlement 1253/2014 – Unités de ventilation Deuxième niveau : 1<sup>er</sup> janvier 2018

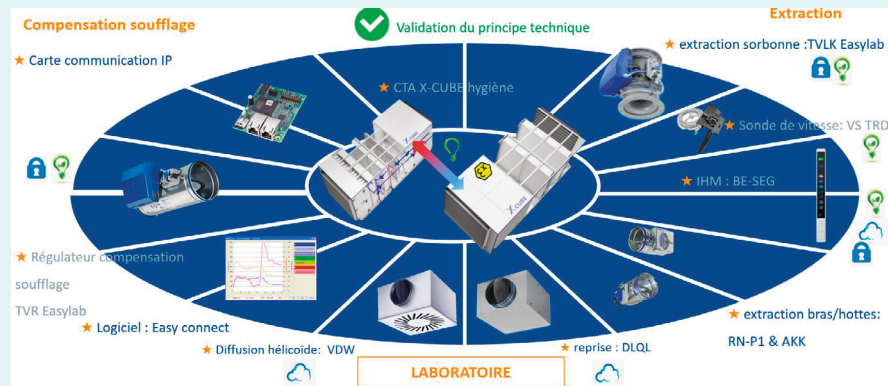
- rendement de récupération des batteries à eau glycolée (BEG) : 68 % ;
- rendement de récupération autres systèmes (roues, plaques...) : 73 % ;
- SFP interne < SFP limite réduit par rapport à 2016. »

L'Europe impose la récupération d'énergie non seulement pour les applications tertiaires mais également pour tous les process. Sont compris dans les process : les salles propres pharmaceutiques, les diverses industries, les blocs opératoires, etc. Les cas d'exclusion sont très limités :

- les unités de recirculation avec moins de 10 % d'air neuf (mention apportée par le Groupement des fabricants de CTA mené par Eurovent) ;
- les zones sans aucune présence humaine, même intermittente ;
- les CTA Atex ;
- les unités sans traitement thermique de l'air neuf.

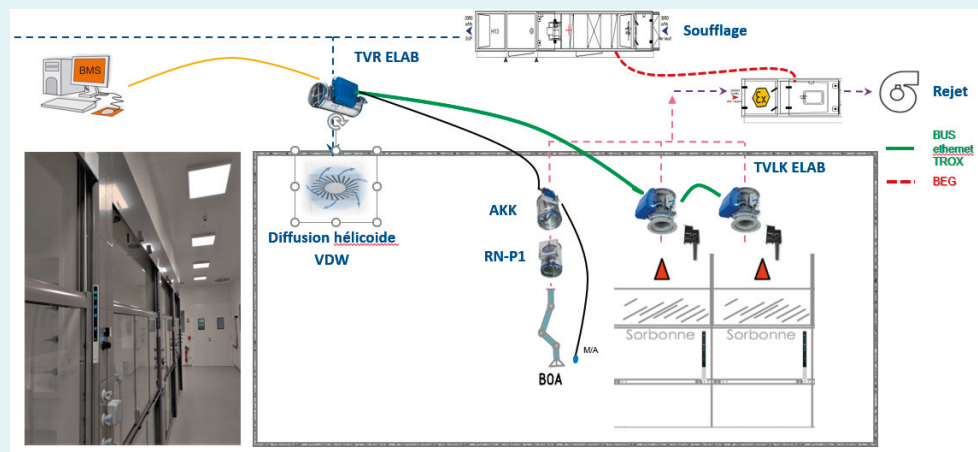
Néanmoins, pour les trois premiers cas, pourquoi se priver d'un potentiel énergétique si important ? La sorbonne de laboratoire est un ➔

**7 Schéma des matériels du laboratoire Solvionic**

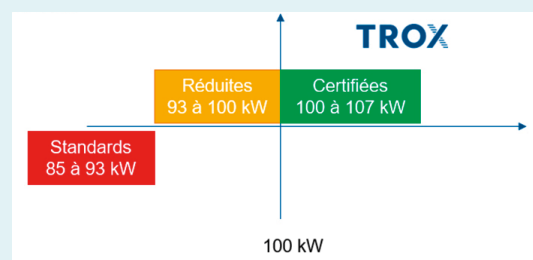


La CTA prévue au rejet est Atex, classée : II 2G Ex h IIB T4 Gb.

**8 Schéma de principe du laboratoire Solvionic**



**9 Puissances et niveaux de tolérance des batteries**



**10 Protection de la batterie**



→ équipement dont le système de protection de l'utilisateur réside dans le fait d'utiliser de l'air comme moyen d'empêcher les substances nocives d'en sortir. La consommation d'air d'un laboratoire est donc très importante au regard du nombre d'utilisateurs pouvant y travailler. Ce poste énergétique étant *de facto* lié à la sécurité, la récupération d'énergie sur ces extractions est donc clé pour créer un laboratoire économe en énergie.

### Le système de boucles à eau glycolée

#### Certification de puissance

Trox travaille en puissance certifiée sur l'ensemble de ces échangeurs (batterie chaude, froide, boucle à eau glycolée). Un fabricant de batteries a demandé aux fabricants de CTA de choisir le niveau de certification de puissance sur lequel il veut réaliser le dimensionnement. Il existe trois niveaux :

- la certification de puissance ;
- la tolérance réduite ;
- le dimensionnement standard.

Une batterie est donnée pour une puissance mais avec une tolérance (comme un capteur de température par exemple). En puissance certifiée, on est certain que



Exemple de CTA Atex de rejet avec récupération - Projet Solvionic

la batterie restituera au minimum la puissance demandée. En tolérance réduite, la batterie fournira au mieux la puissance nécessaire. Ce choix est la première étape qui permet de garantir que les temps de retour sur investissement seront exacts. En effet, si l'on travaille par exemple en « tolérances réduites », on peut obtenir jusqu'à 7 % de puissance en moins au niveau de la récupération, cela va donc impacter directement le temps de retour sur investissement. Aussi le risque est de sursolliciter les productions avec des rendements qui ne seront pas ceux prévus initialement (figure 9).

#### Calcul de rendement de boucle à eau glycolée certifié

L'obtention du rendement de récupération à 68 % sur une boucle à eau glycolée est réalisée *via* un logiciel complexe de calcul propre à chaque fabricant de CTA. Trox a décidé de faire certifier ce calcul par un organisme externe, le TÜV, en Allemagne. Ce n'est donc pas le fabricant de CTA qui s'engage sur le rendement de récupération mais un organisme externe qui approuve que le rendement calculé soit exact. Côté extraction d'air, pour des laboratoires privés ou de recherche il n'est pas possible de travailler avec des batteries métalliques standard ou revêtues de peinture. Il faut mettre en place un traitement spécifique de la batterie afin que celle-ci conserve son intégrité dans le temps, malgré l'air corrosif qui la traverse. La problématique réside dans le fait de bien protéger la batterie sans pour autant perdre en échange thermique. Il existe une multitude de protections de batterie. Trox a choisi un traitement avec un minimum de dépôt. Tout dépôt de matière va jouer le rôle de résistance thermique et donc réduire l'échange et *in fine* la récupération d'énergie. Il s'agit d'un procédé par lequel une pièce métallique est immergée dans

une solution aqueuse contenant une émulsion avec 10 à 20 % de peinture, d'époxy ou d'autres composants et 80 à 90 % d'eau. Un voltage électrique est appliqué pour attirer les particules en suspension dans la solution liquide désionisée afin qu'elles se déposent à la surface de la batterie. On maintient la position de l'électrode jusqu'à atteindre le niveau désiré de revêtement, qui peut être ajusté par l'augmentation ou la diminution de la tension. La protection est ensuite cuite au four pour favoriser la réticulation (figure 10). Cette méthode de protection présente plusieurs avantages :

- haute résistance à la corrosion (batterie garantie cinq ans en classe de corrosion C5) ;
- densité de revêtement uniforme sur la pièce tout entière, indépendamment de la complexité du produit ;
- traitement à cœur des batteries quel que soit le nombre de rangs ;
- bonne apparence esthétique.

#### Calcul du temps de retour sur investissement (ROI)

Évolution des températures extérieures à Toulouse : le dimensionnement de la CTA a été réalisé pour 38 000 m<sup>3</sup>/h et des températures extérieures de 35 °C en été et - 5 °C en hiver. On constate que sur l'évolution de température lissée sur plusieurs années, on s'approche rarement des conditions nominales. Nous reviendrons en fin d'article sur les pistes d'amélioration.

#### Détails des calculs

##### CTA sans récupération

Investissement : 48 696 euros.

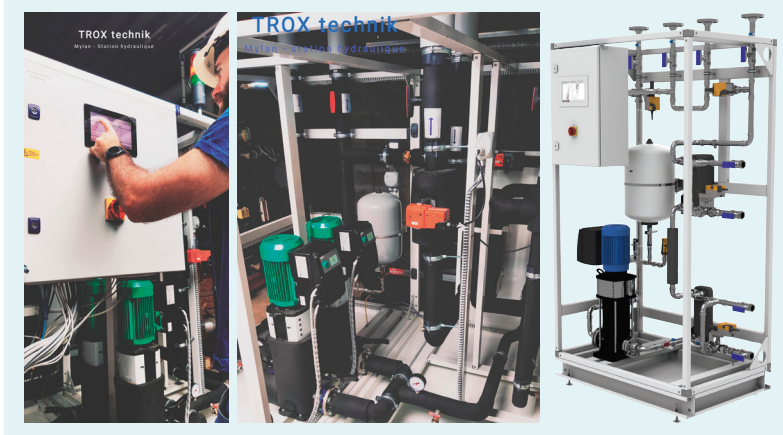
Électricité : 0,11 €/kWh.

Chauffage : 0,10 €/kWh.

Refroidissement : 0,10 €/kWh.

Coût de fonctionnement annuel : 28 298 euros.

### Exemples de station hydraulique pour BEG



**CTA avec récupération**

Investissement :  
82 471 euros.  
Électricité : 0,11 €/kWh.  
Chauffage : 0,10 €/kWh.  
Refroidissement :  
0,10 €/kWh.  
Coût de fonctionnement annuel :  
11 110 euros.

**Hypothèses de calcul**

Fonctionnement 8h-18h, du  
lundi au vendredi : 65 % du débit  
nominal.  
Fonctionnement 18h-8h, du lundi  
au vendredi :  
25 % du débit nominal.  
Week end : 25 %.  
(Coûts basés sur l'année 2021).

**Temps de retour  
sur investissement**

$(82,5 \text{ k€} - 48,7 \text{ k€}) / (28,3 \text{ k€} - 11,1 \text{ k€}) = 1,96$  année.  
Soit 16 MWh d'économie par an.

**Ajustement du calcul pour  
un projet réalisé en 2023****CTA sans récupération**

Investissement 54 539 euros.  
Électricité : 0,22 €/kWh.  
Chauffage : 0,20 €/kWh.  
Refroidissement : 0,20 €/kWh.  
Coût de fonctionnement annuel :  
55 622 euros.

**CTA avec récupération**

Investissement : 92 367 euros.  
Électricité : 0,22 €/kWh.

Chauffage : 0,20 €/kWh.  
Refroidissement : 0,20 €/kWh.  
Coût de fonctionnement annuel :  
20 572 euros.

**Temps de retour  
sur investissement**

$(92,4 \text{ k€} - 54,5 \text{ k€}) / (55,6 \text{ k€} - 20,6 \text{ k€}) = 1,1$  année.  
Soit 16 MWh d'économie par an.

**Points d'amélioration  
possibles**

- Une meilleure régulation de la boucle à eau glycolée : les systèmes de régulation sont conçus pour les conditions extrêmes mais en réalité ils fonctionnent en régime réduit à 80-90 % du temps. Ils doivent donc

aussi prévoir les moyens matériels et logiciels de gérer l'intersaison car le potentiel le plus important cumulé sur une année est en intersaison. Trox propose des stations hydrauliques pour gérer entièrement les boucles à eau glycolées et prendre en compte l'intersaison (**figure 11**).

- Une réflexion sur des modes réduits au niveau des régulateurs de compensation.
- Une mission d'exécution confiée à un bureau d'études pour bien suivre les travaux et éviter des désagréments et non-conformités (exemples : plafonds).
- Une bonne exécution et vérification de l'étanchéité des réseaux aérauliques et hydrauliques. ■