

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



**MONTOUT Jessica**  
**Université Paris-Sud**  
**Master PCGE**  
**Promotion 22**  
**2013-2014**

[www.cea.fr](http://www.cea.fr)

# MANAGEMENT ENVIRONNEMENTAL

&

# OPTIMISATION ÉNERGÉTIQUE DE SYSTÈMES CRYOGÉNIQUES



Maîtres de stage : Elodie BANIZETTE et Olivier KUSTER  
Tuteur Universitaire : Jean-Christophe LATA

Présentations du CEA/Saclay et du SACM

Management environnemental au CEA de Saclay

Présentation du sujet principal du stage

Réduction de la consommation d'eau du SACM

Autres actions environnementales

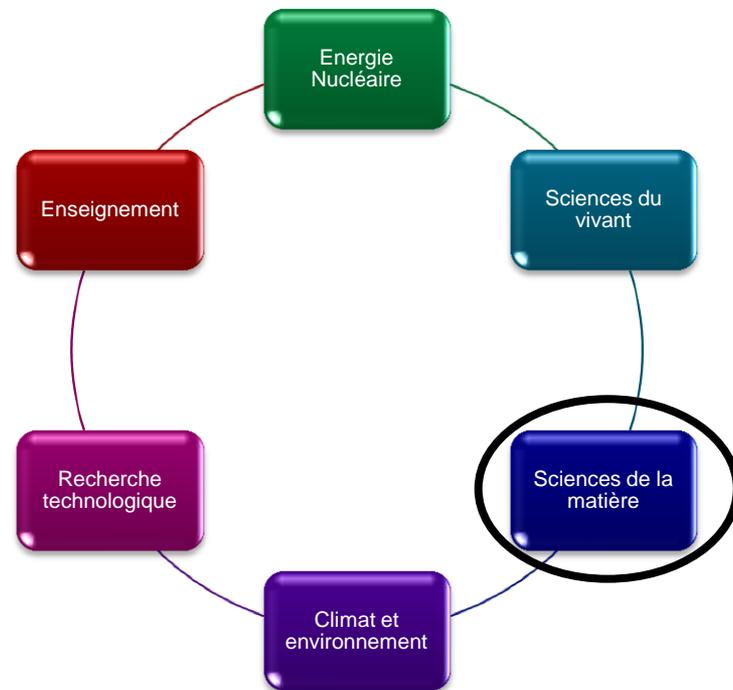
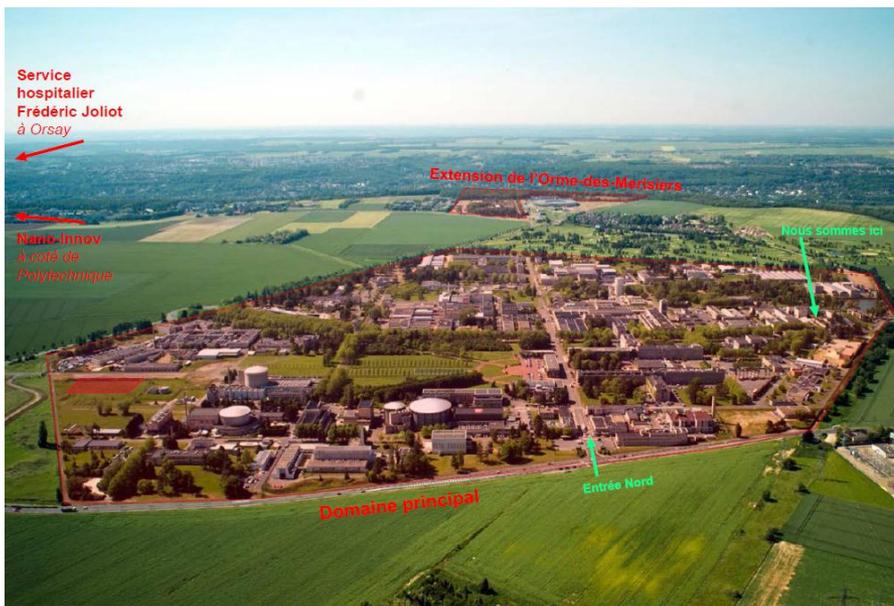
Conclusion

**PRÉSENTATIONS DU CEA/SACLAY  
ET DU SACM**

# PRÉSENTATION DU CEA DE SACLAY

## ■ CEA: Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives

### ■ Activités:



380 bâtiments - 220 ha - 36 km de route - 4,6 km de clôture - 11000 m<sup>3</sup> d'eau/jour - 120 millions de kWh/an

- 5400 salariés CEA
- Environ 6000 personnes (CEA + Extérieurs)

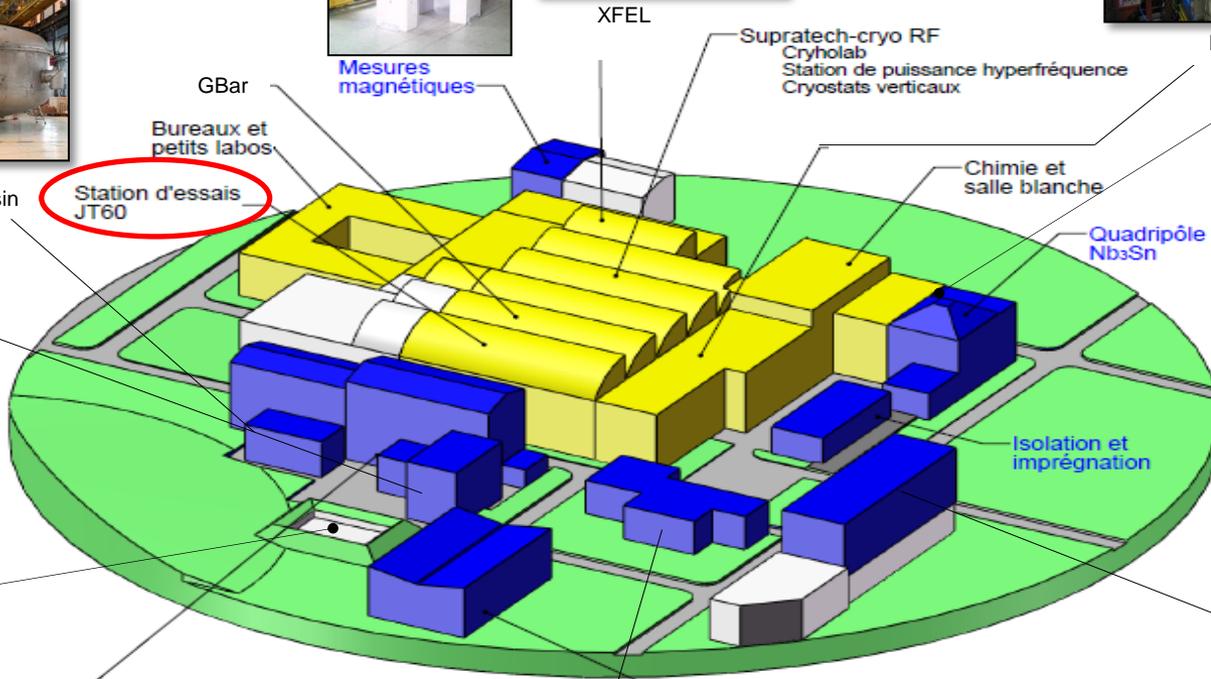


- SACM: Service des Accélérateurs de Cryogénie et de Magnétisme
  - Recherche et développement, réalisation, tests: accélérateurs de particules, systèmes cryogéniques, aimants supraconducteurs
  - 5 laboratoires:
    - le Laboratoire d'Etudes et de Développement pour les Accélérateurs (LEDA),
    - le Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Accélérateurs et Hyperfréquences (LISAH),
    - le Laboratoire d'Intégration et Développement des Cavités et Cryomodules (LIDC2),
    - le Laboratoire d'Etudes des Aimants Supraconducteurs (LEAS),
    - le Laboratoire Cryogénie et Stations d'Essais (LCSE).

# INSTALLATION 82 ET 218 DU SACM



Installation 218  
Installation 82



XFEL

Mesures magnétiques

Supratech-cryo RF  
Cryolab  
Station de puissance hyperfréquence  
Cryostats verticaux

Iphi

Bobinage

Chimie et  
salle blanche

Quadripôle  
Nb<sub>3</sub>Sn

Isolation et  
imprégnation

Direction et bureaux

Stations de tests et de caractérisation  
Cétacé  
Christiane  
Séjos  
Mecti  
Thermosiphon  
Essais mécanique  
R&D Cryo

Liquéfacteur  
Hélium

Stations d'essais d'aimants supraconducteurs  
Station W7-X  
Schéma  
Station verticale

Stockage d'hélium HP



Atelier mécanique



Magasin

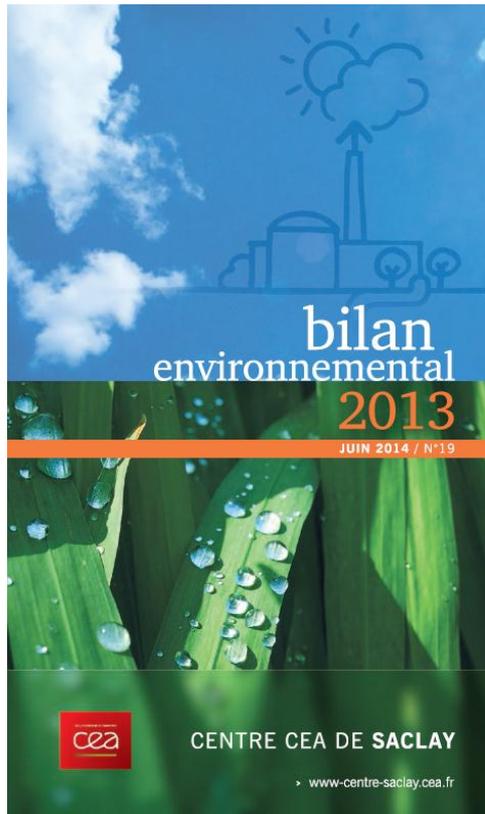
Station d'essais  
JT60

Bureaux et  
petits labos

GBar



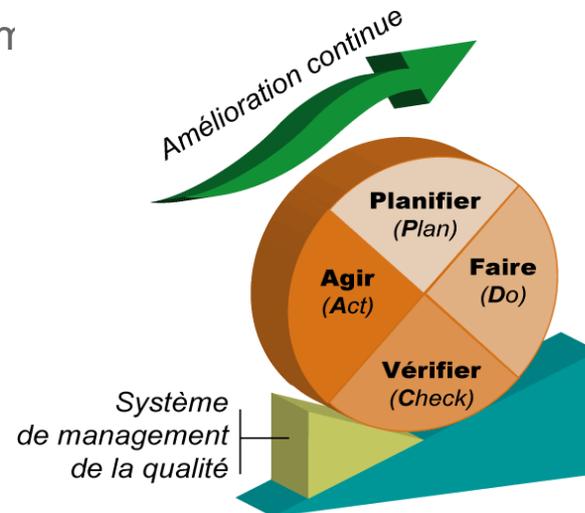
**MANAGEMENT ENVIRONNEMENTAL  
AU CEA DE SACLAY**



- Depuis 2002, le CEA s'est engagée dans une démarche d'amélioration continue:
  - Respect et protection de l'environnement
  - Renouvellement annuel: politique environnementale, objectifs environnementaux, évaluation, plans d'actions
- Le CEA est certifié ISO 14001 depuis 2004
- Audit environnemental des installations 82 et 218 en 2013 : **aucune non-conformité relevée**

- Norme appliquée au système de management environnemental (SME)  
Planifier:  
Définir le plan d'actions du SME
- Evaluation et maîtrise des impacts environnementaux des activités d'une entreprise
- Méthodologie: roue de Deming

Agir:  
Réagir en cas d'écart par rapport aux objectifs



Faire:  
Mettre en œuvre les actions

Vérifier:  
Contrôler, suivre les résultats

# SYSTÈME INFORMATIQUE DE GESTION ENVIRONNEMENTALE (SIGE)

- Aspects environnementaux: éléments des activités, produits ou services d'un organisme susceptibles d'interactions avec l'environnement.
- Outil et méthodologie d'analyse environnementale au CEA: **fichier Excel SIGE**.
- Obtention du Programme de Management Environnemental (PME) pour les installations 82 et 218.

Extrait

ASPECTS ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX : Identification, Quantification, Hiérarchisation, Maîtrise - Irfu/SACM - Inst.82														
Aspect environnemental	Quantité	Hiérarchisation impacts	Activités de l'installation relevant des rubriques ICPE		Substances utilisées ou présentes dans l'installation				Maîtrise de l'impact			INDICATEUR VISUEL <i>Justifier la décision managériale</i>	Justification de la décision managériale	
			Cliquer ici uniquement si l'installation est de type tertiaire (attention, l'action est définitive)		Disponibilités de réduction	Sensibilisation	Suivi	Classe de choix	Questions spécifiques à l'AE	Bilan maîtrise	Bilan (attention les cellules relatives à la maîtrise doivent toutes être renseignées)			Décision managériale
<b>ASPECT ENERGIE</b> - Infos sur la conso d'énergie en France et dans le monde														
Consommation électrique	3		2971,333 MWh relevés en 2013 - Atelier mécanique (machines), liquéfacteur muni de 7 compresseurs		Oui	Oui	Non	Oui			A améliorer	AES	AES	une étude est prévue par une stagiaire à compter du mois d'avril
Consommation de gaz naturel												non AES		
Consommation fioul domestique												non AES		
<b>Cliquer ici si une autre utilisation d'énergie est recensée</b>														
<b>&gt;&gt;&gt; RESSOURCES NATURELLES</b> - Infos sur la conso d'eau en France et dans le monde														
Consommation d'eau de ville	2		12 901,99 m3 relevés en 2013 - activités de réfrigération (compresseurs, alim électriques, turbines, pompes à diffusion)		Oui	Oui	Non	Oui	Oui		A améliorer	AE maîtrisé	AE maîtrisé	
Consommation d'eau recyclée	3		193 228 m3 relevés en 2013 - activités de réfrigération (compresseurs, alim électriques, turbines, pompes à diffusion)		Oui	Oui	Non	Oui	Oui		A améliorer	AES	AES	une étude est prévue par un stagiaire à compter du mois d'avril
Consommation de gaz pour inertage et refroidissement (hélium, azote, ...)	3		Hélium, azote - activité de réfrigération		Non	Oui	Non	Oui			Excellente	AE maîtrisé	AE maîtrisé	utilisation de gaz dans nos projets, est le cœur de nos métiers
Consommation de gaz pour d'autres usages	1		utilisation de gaz Argon pour soudure 520L									non AES		
Consommation de papier	2		Activités tertiaires		Oui	Oui	Non				A améliorer	AE maîtrisé	AE maîtrisé	
<b>Cliquer ici si une autre utilisation de ressources naturelles/matières premières est recensée</b>														
<b>&gt;&gt;&gt; UTILISATION DE PRODUITS DANGEREUX - ACTIVITES DANGEREUSES POUR L'ENVIRONNEMENT</b>														
Organismes pathogènes, génétiquement modifiés	Non											non AES		
Fluide frigorigène	Oui		climatiseur au R22		Oui	Non	Oui	Oui			Excellente	AE maîtrisé	AES	Actions menées par l'IRFU
<b>&gt;&gt;&gt; RUBRIQUES ICPE</b>														
rubrique ICPE 1715	4		Fosse Mirabelle "stockage souterrain de déchets nucléaires" (TFA,FA,MA)		Oui	Oui	Oui	Oui			Excellente	AE maîtrisé	AE maîtrisé	Nous ne savons pas la quantité et la diversité des éléments et objets présents dans les fûts contenus dans la fosse Mirabelle
rubrique ICPE 2560	3		Atelier de mécanique		Oui	Oui	Oui	Oui			Excellente	AE maîtrisé	AE maîtrisé	
<b>&gt;&gt;&gt; REJETS D'EFFLUENTS GAZEUX</b> - Infos sur les pollutions en France et dans le monde														
Substances radioactives	Non											non AES		
Méthaniques	2	web	solvant: éthanol, acétone, formaldéhyde etc.		Non	Oui	Non	Non			A améliorer	AE maîtrisé	AE maîtrisé	
<b>Gaz à effet de serre :</b>														
Dioxyde de carbone (CO2)												non AES		
Méthane (CH4)												non AES		
Protoxyde d'azote (N2O)												non AES		
Hexafluorure de soufre (SF6)			Hors climatiseurs R22 (mise en conformité réglementaire, prise en compte au)									non AES		
<b>Cliquer ici si d'autres rejets gazeux sont recensés</b>														
<b>&gt;&gt;&gt; REJETS D'EFFLUENTS LIQUIDES</b> - Infos sur les pollutions en France et dans le monde														

# PME ET SUIVI DES ACTIONS DU SME INSTALLATION 218

## Programme de Management Environnemental et suivi des actions du SME - Irfu/SACM - Inst.218

AES	Actions à mettre en œuvre :	Responsable de l'action :	Moyens :	Calendrier de réalisation :	Indice de réalisation :
Consommation électrique	1) Etude et mise en place de systèmes d'économie d'énergie sur les équipements cryogéniques de la plateforme Supratech cryo HF. 2) Poursuite de pose d'éclairages automatiques (126N, etc.).	1) O. Kuster et E. Banizette ISI SACM. 2) T. Vappereau	1) 10k€ 2) 0,5k€	1) en 2014 et 2) 2014	1) 10% 2) 90%
Consommation de gaz naturel	Etude et récupération de la chaleur de certains locaux (hall compresseur SCHF notamment) (+ isolation toiture B124 mais pas à court terme)	O. Kuster et E. Banizette	10 k€	2015	10%
Fluide frigorigène	Mise à jour du fichier d'autoévaluation du compresseur IPHI	O. Kuster & G. Bourdelle	0,5 h.j	2014	0%
Rejets d'effluents industriels	Correction au niveau des écarts de rejets d'eau dans le réseau des pluviales (DIVA en 2014, SILHI plus tard car très coûteux)	T. VAPPEREAU	10 k€	juin 2014 pour DIVA	50%
Rejets d'eaux pluviales	Rénovation réseau d'eaux pluviales du 126 Sud	UST	33 k€	2014	10%
Déchets radioactifs solides	Caractérisation des déchets TFA du B126 Nord	E. Banizette et O. Kuster (CD SACM)	10k€	T4 2014	5%
Rejets potentiels de liquides dangereux dans les réseaux d'effluents	Entretien du bassin de la TAR	G. Bourdelle	10k€	2014	0%
Perte potentielle de sources, de matière nucléaire ou d'objets contaminés	1) Rédaction d'une procédure de gestion des sources radioactives scellées intégrant l'aspect gestion accidentelle (perte de source). 2) Evacuation des sources radioactives sans emploi	1) O. Kuster (GSR SACM) . 2) O. Kuster	1) 1 h.j ; 2) 10 h.j	2014-2015	10%
Fuites de liquides (pollution potentielle des sols, des eaux de surface ou des nappes)	1) mise en conformité du rejet des éventuelles eaux de refroidissement de COCASE. 2) Détection inondation supplémentaire en galerie JT60. 3) Examen du circuit avec appoint eau potable sur EPV (rex SAC pollution sans disconnecteur) (*)	1 et 2) T. Vappereau (CT). 3) O. Kuster	1) 3k€ 2) 4k€ 3) 1k€	1) 2015. 2 et 3) 2014	30%

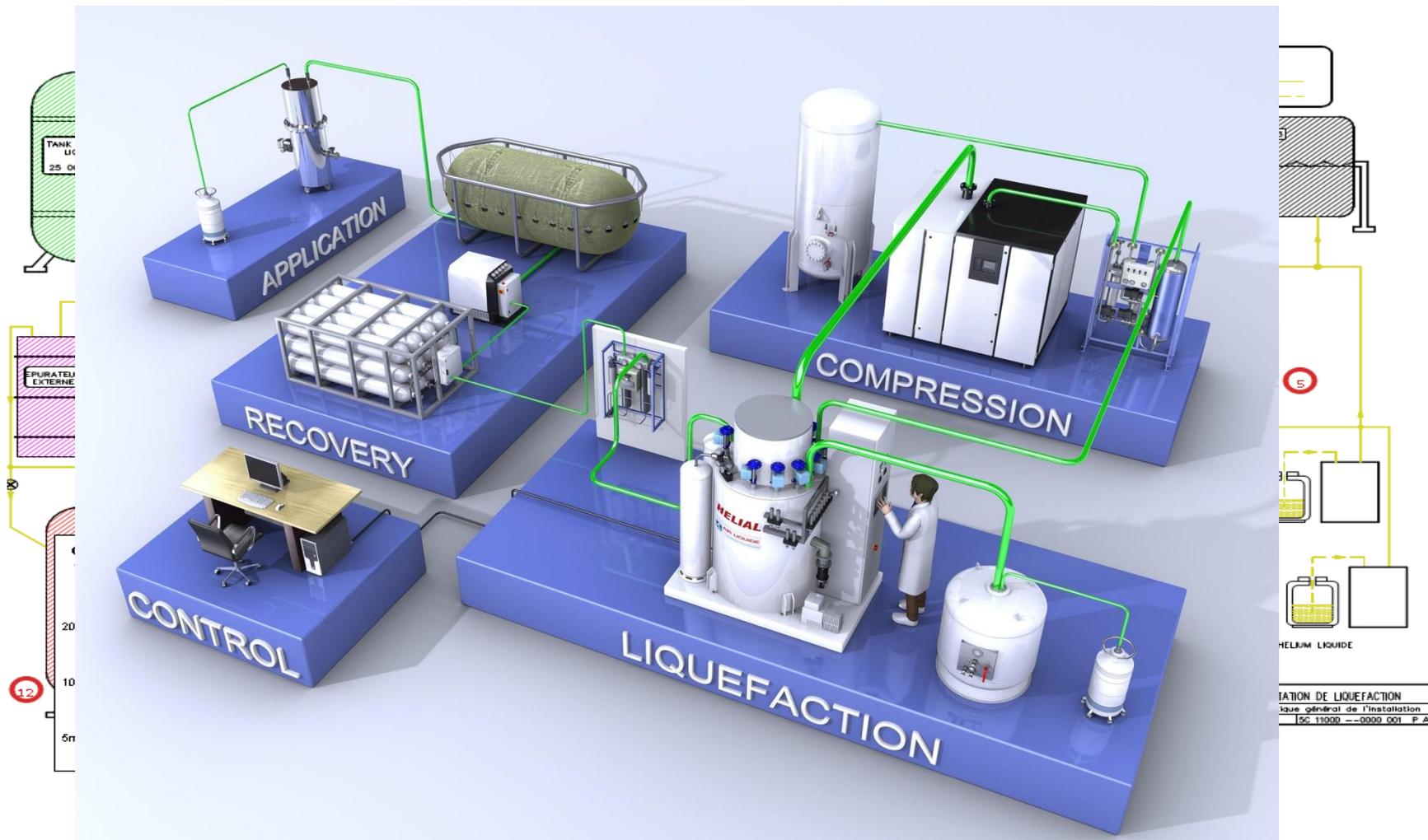
# PME ET SUIVI DES ACTIONS DU SME INSTALLATION 82

## Programme de Management Environnemental et suivi des actions du SME - Irfu/SACM - Inst.82

AES	Actions à mettre en œuvre :	Responsable de l'action :	Moyens :	Calendrier de réalisation :	Indice de réalisation :
Consommation électrique	1) Mise en place de programmeur extinction auto couloir bât 123. 2) Isolation bât 192 3) Changement des aérothermes bât 192	T. Vappereau (CT) + E. Banizette (ISI)	1) 1,6 k€ 2) 27 k€ 3) 22k€	1) 2014. 2) 2014 3) 2014	1) 0%. 2) 75% (Partie Ouest du hall réalisée; poursuite de l'action engagée au PME 2013) 3) 100%
Consommation d'eau recyclée	Amélioration du système de réduction de la consommation ou utilisation d'un système de refroidissement à eau non perdue	E. Banizette (ISI) et J. Montout	80 h.j	en cours	25%
Fluide frigorigène	Changement de 2 climatiseurs contenant du R22	E. Bougamont (CE)	12 k€	2014	25%
Rejets potentiels de liquides dangereux dans les réseaux d'effluents	Les rejets accidentels sont possible en cas de déversement dans les canalisations d'eau pluviales à l'extérieur des bâtiments notamment le regard présent entre le bât 198 et la pièce 5E bât 198 C; exercice annuel+ instruction à l'ELPS lors de la sensibilisation 2013	E. Banizette (ISI)	2 h.j	2014	100%

**PRÉSENTATION  
DU SUJET PRINCIPAL  
DU STAGE**

# LA STATION DE LIQUÉFACTION-COMPRESSION D'HELIUM (LIQUÉFACTEUR)

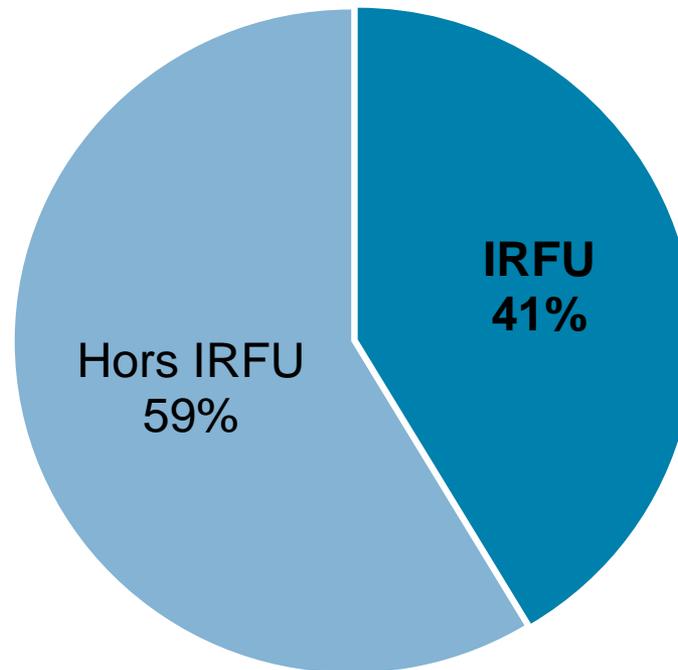


Source: Air Liquide

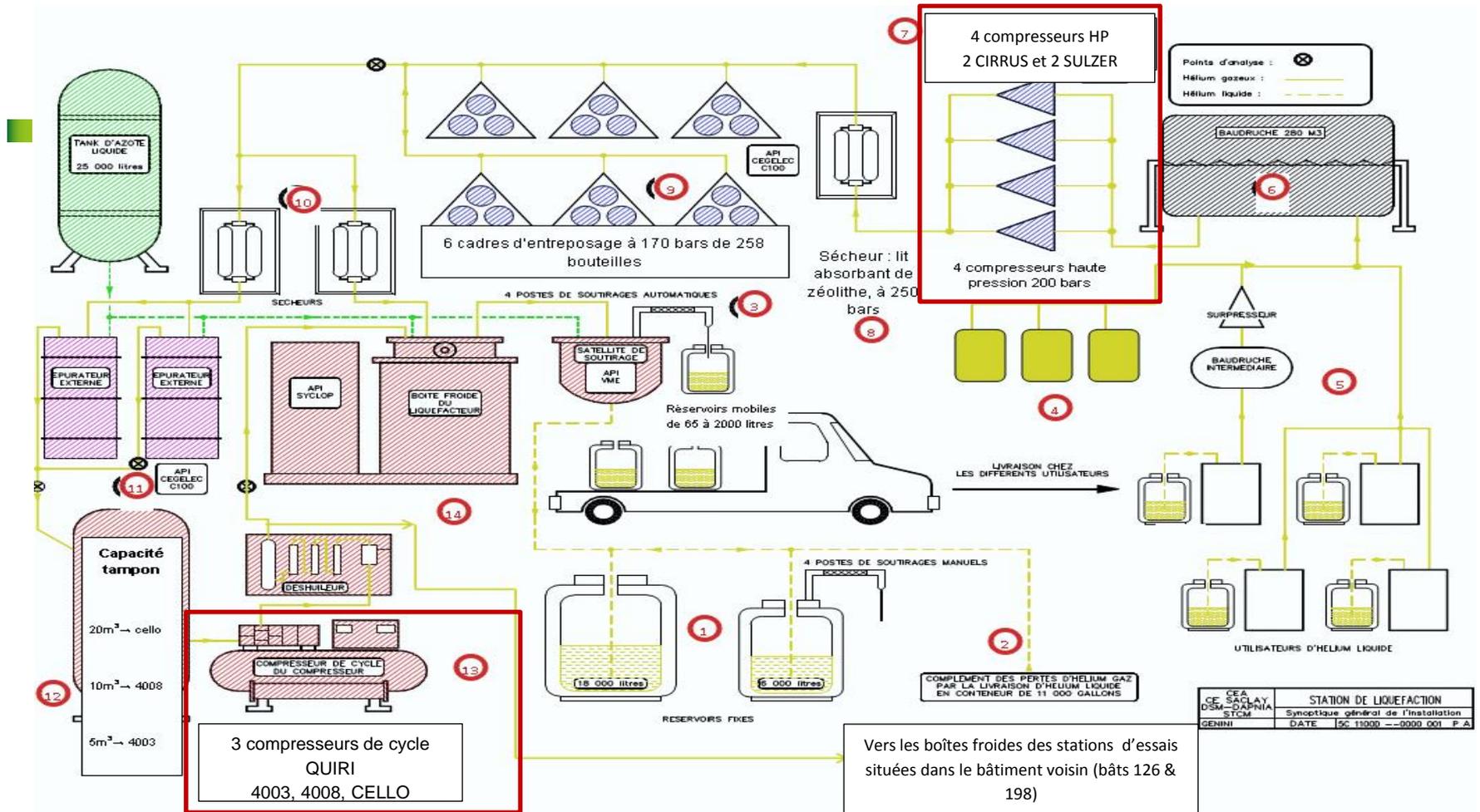
## Quantité d'Hélium liquide livré en 2013 : 174 000 l

### LIVRAISONS HORS IRFU :

- Synchrotron SOLEIL
- Ecole Polytechnique
- Faculté d'Orsay
  
- Autres directions du centre
- Autres départements de la DSM



# CONTEXTE DE L'ETUDE



Vers les boîtes froides des stations d'essais situées dans le bâtiment voisin (bâts 126 & 198)

# CONSOMMATION D'EAU RECYCLÉE DU LIQUÉFACTEUR

	Année 2013	
	Installation 82	Installation 218
Electricité	2 971 MWh	3 192 MWh
Eau potable	11 299 m <sup>3</sup>	3 702 m <sup>3</sup>
Eau recyclée	193 464 m <sup>3</sup>	31 937 m <sup>3</sup>

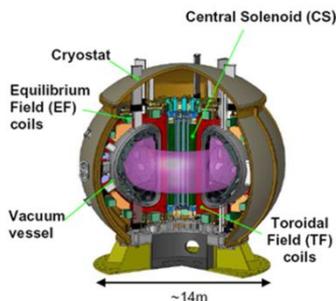
Eau recyclée: 1€/m<sup>3</sup>  
Electricité: 0,08€/kWh

Station de liquéfaction  
participant pour 82%

Sans fonctionnement  
du compresseur  
CELLO

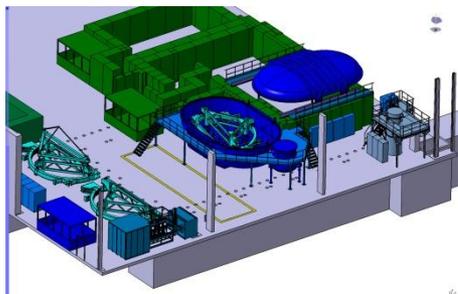
- Station de liquéfaction:
  - 2013: 158 605 m<sup>3</sup> d'eau recyclée

# LA STATION D'ESSAIS JT60-SA ET LE COMPRESSEUR CELLO



Tokamak JT60-SA  
(JAPON)

- Réalisation de tests à froid: 18 aimants supraconducteurs toroïdaux utilisés pour le confinement magnétique du plasma.
- Réfrigérateur et compresseur CELLO: mise en froid + fourniture d'Hélium liquide
- Compresseur CELLO: refroidissement par eau recyclée (circuit ouvert)
- 2ème trimestre 2015: début d'exploitation de la station d'essai
- Fonctionnement théorique: 10 000 h réparties sur 2 ans avec  $Q_v = 50 \text{ m}^3/\text{h}$



Station d'essais JT60-SA  
(CEA/Saclay/Bâtiment 126)

**500 000 m<sup>3</sup> d'eau recyclée (1€ / m<sup>3</sup> )**  
**500 000 € pour 2 ans**

Prévission 2015: 158 605 m<sup>3</sup> + 250 000 m<sup>3</sup>(CELLO):  
 408 605 m<sup>3</sup> soit **408 605 €**  
**40 % de la consommation en eau recyclée**  
**du CEA de Saclay**

## **REDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU DU SACM :**

*Comment optimiser le coût de production  
des systèmes cryogéniques tout en  
économisant les ressources naturelles ?*

## ■ Objectifs:

- Mise en conformité réglementaire du circuit de refroidissement par eau en circuit ouvert
- Préservation de la ressource en eau
- Baisse des coûts

## ■ Critères imposés:

- **Température maximale de l'eau en entrée des compresseurs: 25°C**
- **Solution hors de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)**
- **Entretien aisé**

## ■ Solutions envisageables:

- Tour aéroréfrigérante semi-ouverte
- Tour de refroidissement fermée
- Aéroréfrigérant sec

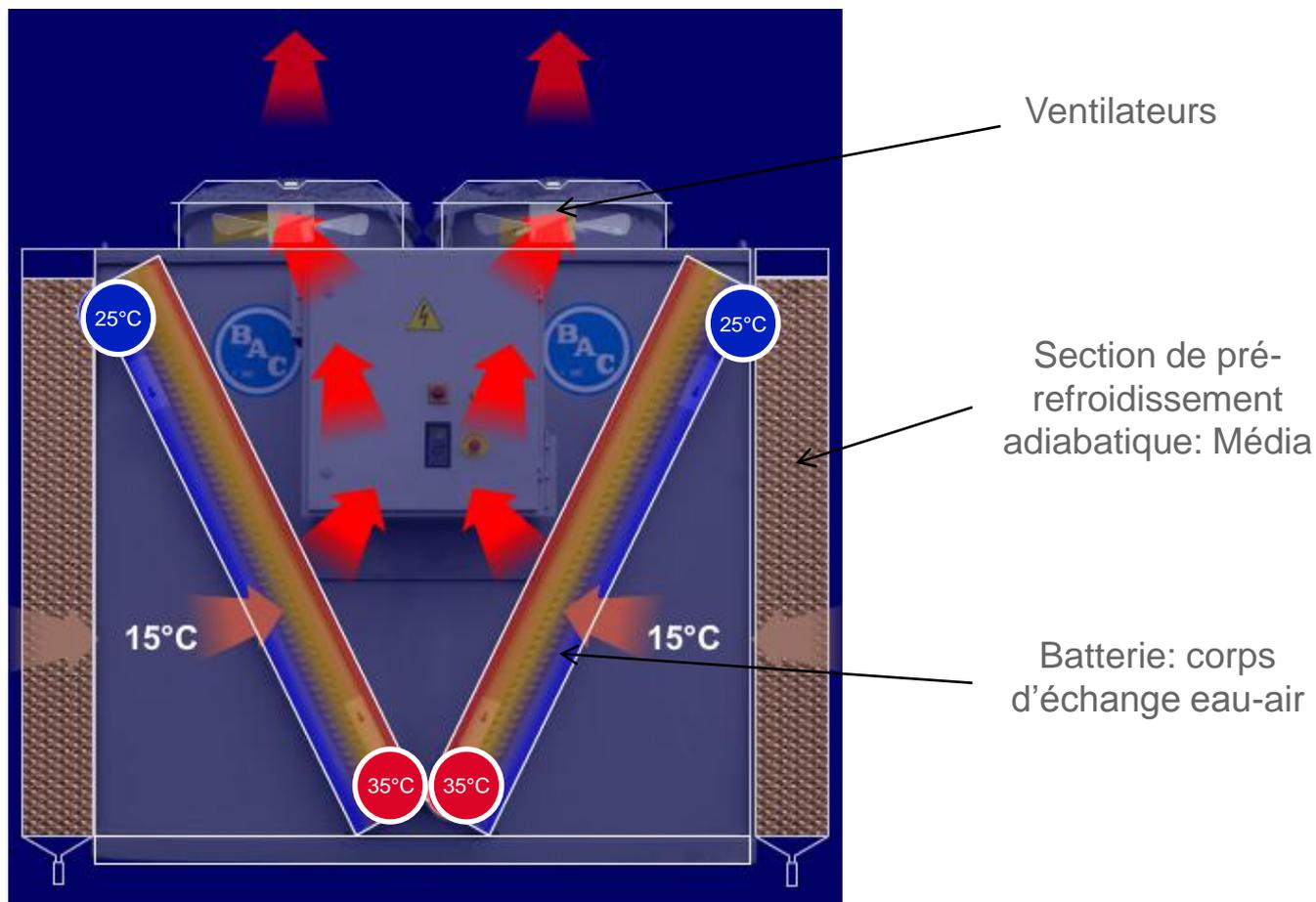


TAR SACM semi-ouverte  
(CEA/Saclay/Bâtiment 122A)

## Solution retenue: refroidisseur adiabatique

Avantages	Inconvénients
Suppression de la consommation d'eau recyclée	Surface au sol importante
Pas de risque légionnelle ni de traitement de l'eau	Consommation électrique supplémentaire de 15 à 20 kW maximum (ventilateurs à vitesse nominale)
Absence de panache	Consommation d'eau potable très faible ( $\approx 1000 \text{ m}^3 / \text{an}$ )
Non concerné par la rubrique 2921 des ICPE	
Entretien et maintenance aisés	
Refroidissement à une température inférieure à celle de l'air ambiant	

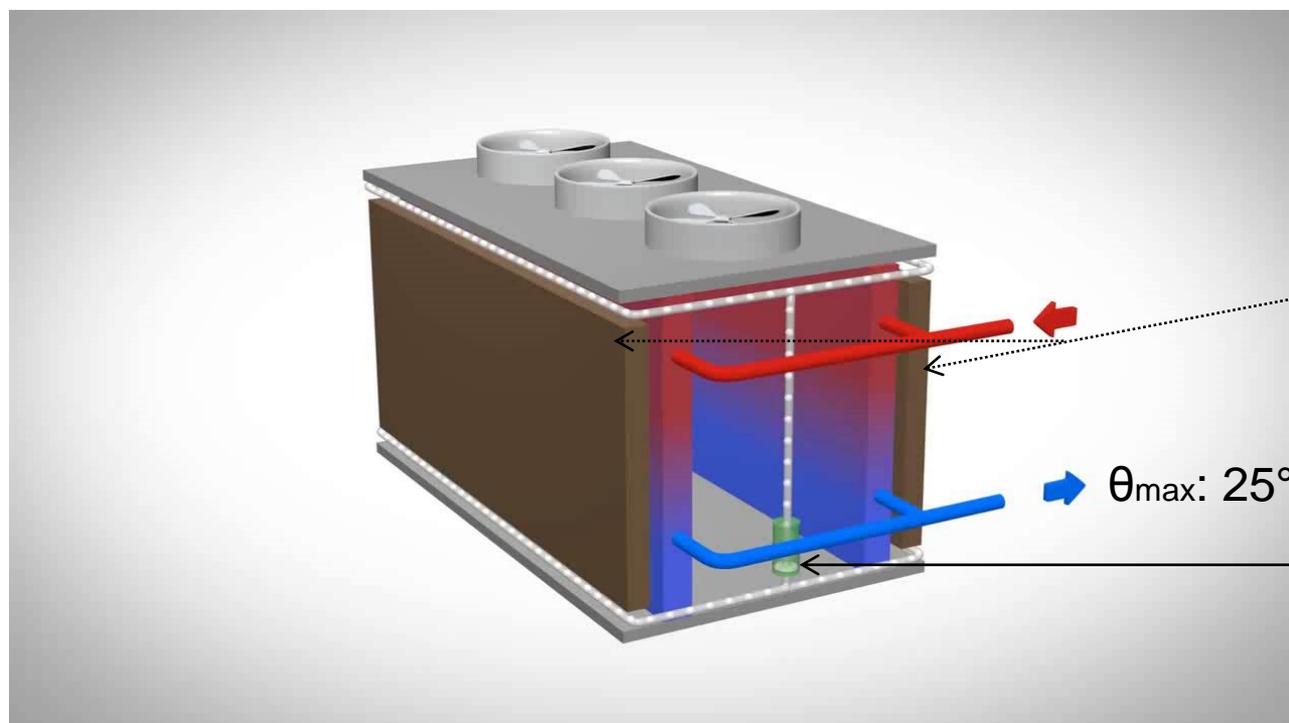
# FONCTIONNEMENT DU REFROIDISSEUR ADIABATIQUE



Source: BAC



# REFROIDISSEUR ADIABATIQUE: MODE ADIABATIQUE



Eau glycolée  
à 30% (-15°C)

Section de pré-  
refroidissement  
adiabatique:  
Média

$\theta_{\max}$ : 25°C

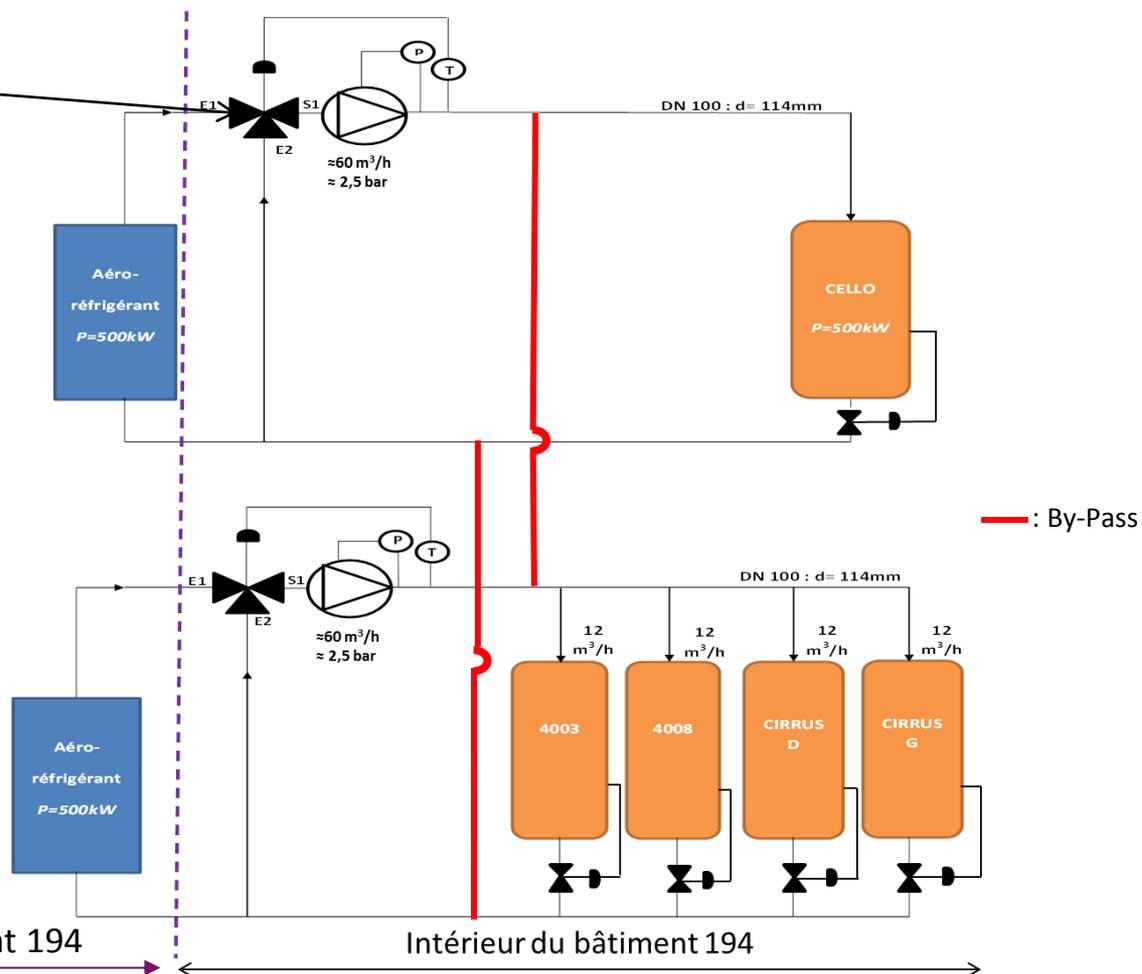
Pompe de  
recirculation  
d'eau

Source JACIR

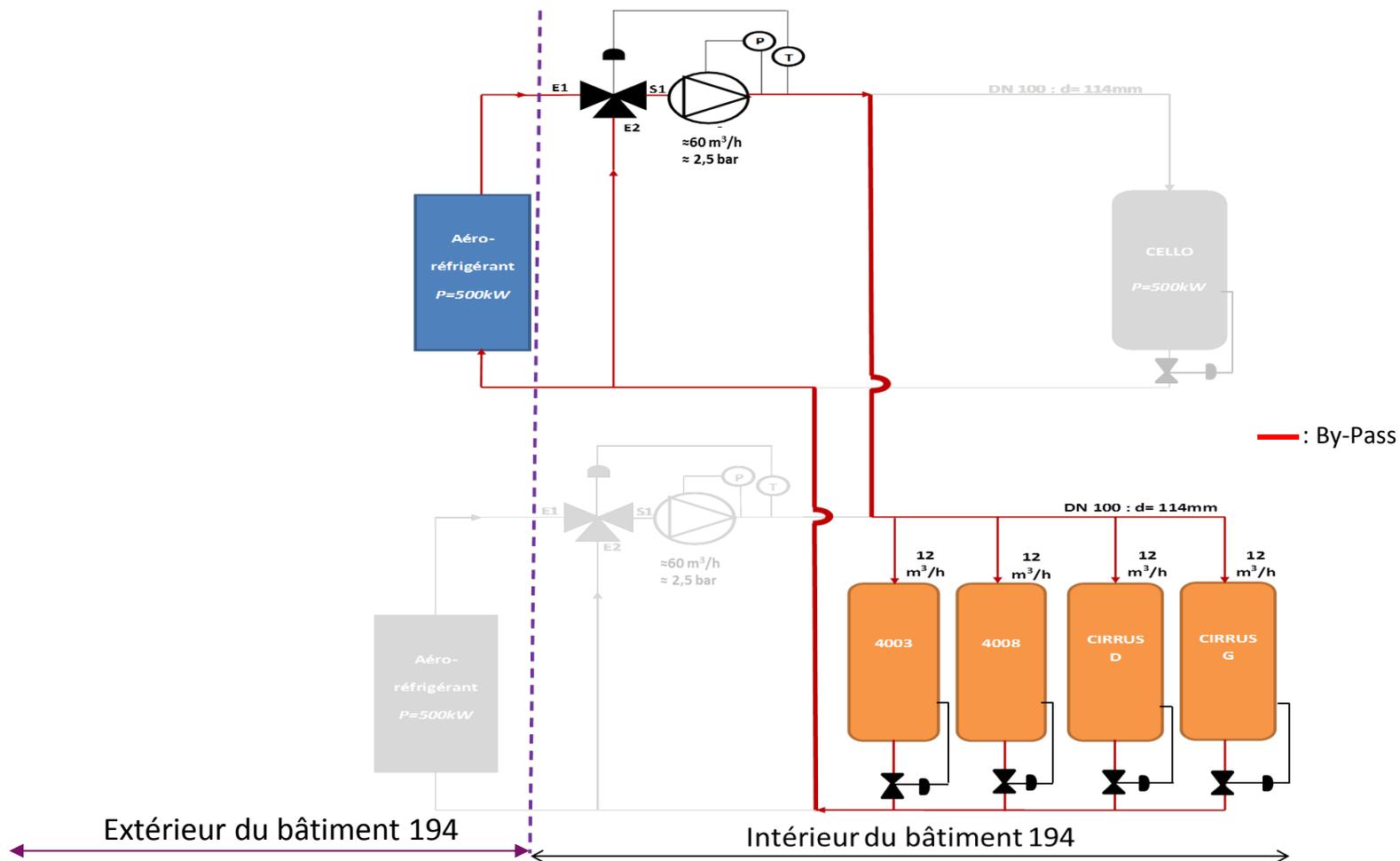
# DESCRIPTION DU PROJET



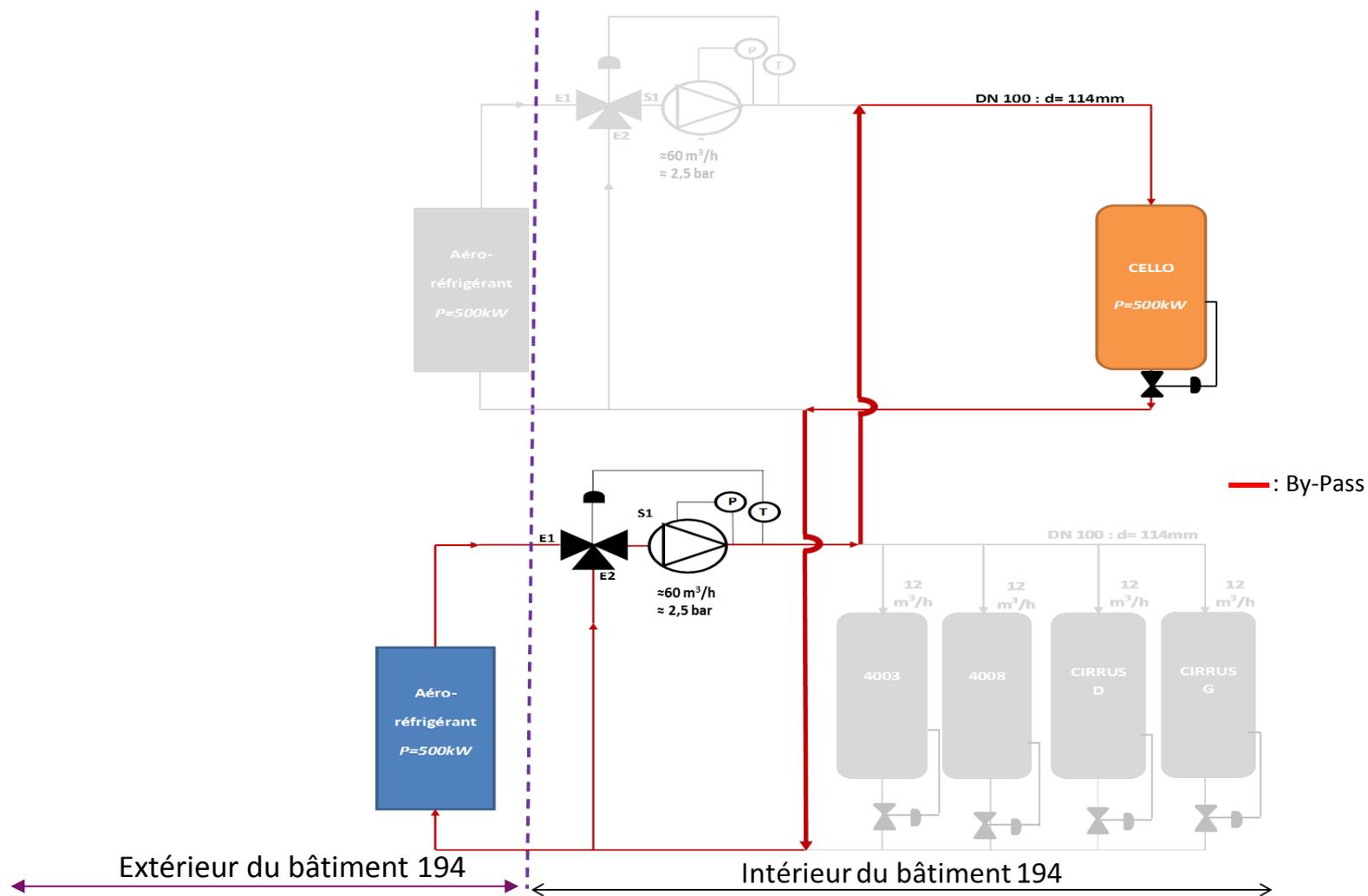
Vanne trois voies de type mélangeuse (2E/1S)



# DESCRIPTION DU PROJET



# DESCRIPTION DU PROJET



# PROJET D'IMPLANTATION DES REFROIDISSEURS ADIABATIQUES



# PARTICULARITÉS DU REFROIDISSEUR ADIABATIQUE

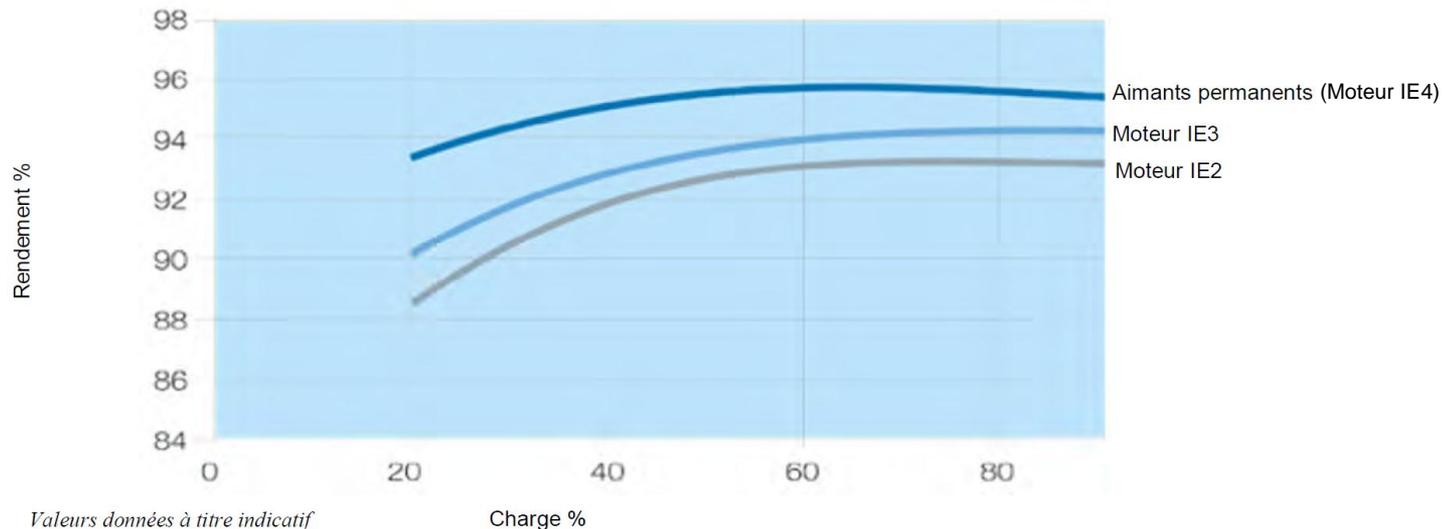
## JACIR

- Pompe de recirculation d'eau des médias
- Variateurs de vitesse
- Exclusion à la rubrique 2921 des ICPE
- Moteurs à aimants permanents

## Baltimore Aircoil Company (BAC)

- Pas de pompe de recirculation
- Variateurs de vitesse
- Exclusion à la rubrique 2921 des ICPE
- Moteurs à aimants permanents

Tableau comparatif des rendements



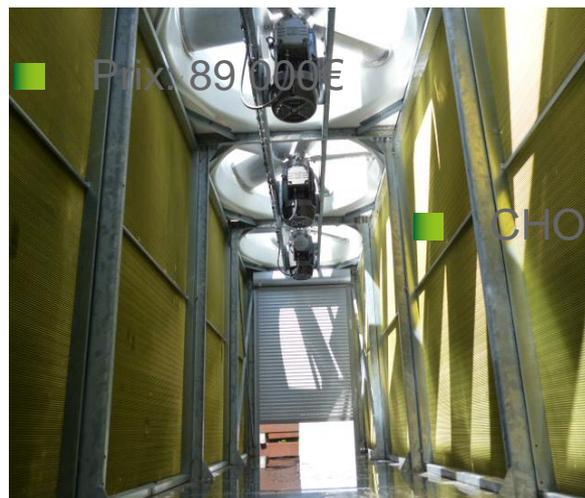
## COMPARAISON DES OFFRES DES FOURNISSEURS

## JACIR vs. BAC



- 4 ventilateurs; P= 521 kW
- Maintenance des ventilateurs par l'intérieur
- Pompe de recirculation d'eau des médias

- 7 ventilateurs; P= 623 kW
- Maintenance des ventilateurs par l'extérieur



Source: JACIR

- Cloisonnement entre ventilateurs
- Prix: 72 000 €



Source: BAC

CHOIX DU FOURNISSEUR A FAIRE

# INVESTISSEMENT GLOBAL POUR DEUX REFROIDISSEURS ADIABATIQUES

- Suppression de la consommation d'eau recyclée des compresseurs

- Amortissement en 1 an

**JACIR**

**BAC**

- Possibilité d'obtention de CEE (certificat d'économie d'énergie) pour les variateurs de vitesse:

Eléments	Compresseur CELLO		Compresseurs CIRRUS D, CIRRUS G, 4003, 4008	
	Quantité	Prix	Quantité	Prix
Génie Civil	1	10 500,00 €		10 500,00 €
Aéroréfrigérant + fournitures + transport + régulation + mise en place	1	89 000,00 €	1	89 000,00 €
Groupe motopompe	1	15 000,00 €	1	15 000,00 €
Vanne 3 voies (DN 100)	1	8 000,00 €	1	8 000,00 €
Tiroir de régulation (température)	1	800,00 €	1	800,00 €
Armoire de commande	1	2 000,00 €	1	2 000,00 €
Capteur de Pression	3	550,00 €	3	550,00 €
Afficheur de pression	3	200,00 €	3	200,00 €
Capteur de débit	1	1 700,00 €	1	1 700,00 €
Projet JT 60-SA	3	900,00 €		900,00 €
Capteur de température type PT100				
Afficheur de température	3	200,00 €		200,00 €
Raccordement hydraulique et modification	1	25 000,00 €		25 000,00 €
Electricité		10 000,00 €		10 000,00 €
Calorifugeage tuyauterie extérieur		3 000,00 €		3 000,00 €
<b>SOUS-TOTAL</b>		<b>170 550,00 €</b>		<b>170 550,00 €</b>
<b>TOTAL</b>		<b>341 100,00 €</b>		

Eléments	Compresseur CELLO		Compresseurs CIRRUS D, CIRRUS G, 4003, 4008	
	Quantité	Prix	Quantité	Prix
Génie Civil	1	10 500,00 €		10 500,00 €
Aéroréfrigérant + fournitures + transport + régulation + mise en place	1	72 000,00 €	1	72 000,00 €
Groupe motopompe	1	15 000,00 €	1	15 000,00 €
Vanne 3 voies (DN 100)	1	8 000,00 €	1	8 000,00 €
Tiroir de régulation (température)	1	800,00 €	1	800,00 €
Armoire de commande	1	2 000,00 €	1	2 000,00 €
Capteur de Pression	3	550,00 €	3	550,00 €
Afficheur de pression	3	200,00 €	3	200,00 €
Capteur de débit	1	1 700,00 €	1	1 700,00 €
Projet JT 60-SA	3	900,00 €		900,00 €
Capteur de température type PT100				
Afficheur de température	3	200,00 €		200,00 €
Raccordement hydraulique et modification	1	25 000,00 €		25 000,00 €
Electricité		10 000,00 €		10 000,00 €
Calorifugeage tuyauterie extérieur		3 000,00 €		3 000,00 €
<b>SOUS-TOTAL</b>		<b>153 550,00 €</b>		<b>153 550,00 €</b>
<b>TOTAL</b>		<b>307 100,00 €</b>		

# COMPARAISON: COÛT D'EXPLOITATION ACTUEL/COÛT D'EXPLOITATION FUTUR D'UN REFROIDISSEUR ADIABATIQUE

## Coût d'exploitation actuel

## Coût d'exploitation futur

Refroidisseur adiabatique	JACIR	BAC
Consommation d'eau des médias pour 5h de fonctionnement pendant 50 jours	885 €	2295 €
Consommation électrique du refroidisseur (ventilateurs)	4000 €	2800€
Consommation électrique des pompes de recirculation d'eau des médias	30€	
Maintenance 2 fois/an	5000 €	3989€
Consommation électrique des groupes motopompes	8000?	8000?
Maintenance des groupes motopompes	4000?	4000?
Coût d'exploitation:	21 915 €	21 084€
<b>Coût d'exploitation par litre d'Hélium liquide livré:</b>	<b>0,126 €</b>	<b>0,121 €</b>

Part du refroidissement à l'eau recyclée par litre d'Hélium liquide livré en 2013 : **1,1 €**



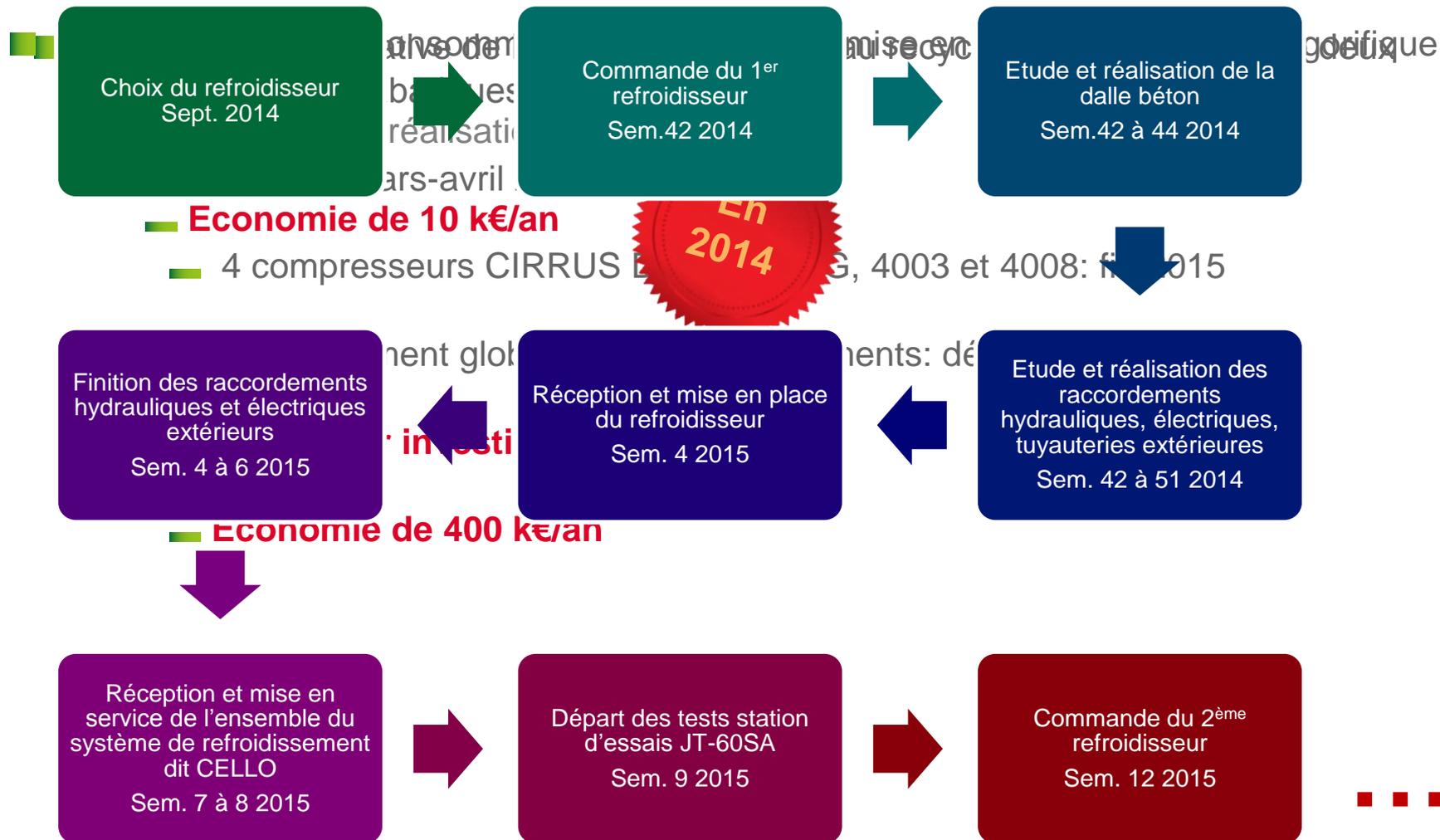
# AUTRES ACTIONS ENVIRONNEMENTALES

# RÉDUCTION DE LA CONSOMMATION D'EAU POTABLE DU LIQUÉFACTEUR



- Mise en place d'un groupe frigorifique (liquéfacteur d'Hélium au bâtiment 202) pour la turbine et la pompe à diffusion:
  - Investissement: 4 700 €
  - Consommation d'eau potable en 2013: 10 266 € (3 422 m<sup>3</sup> pour 3€ le m<sup>3</sup> d'eau potable)
  - **Retour sur investissement: < 1 an**
  
- Mise à jour de l'Analyse Méthodologique des Risques (AMR) de la tour aérorefrigérante ouverte du SACM (ICPE autorisée)
  
- Mise à jour du plan des exutoires des déchets du SACM
  
- Analyse approfondie par l'arbre des causes d'une inondation survenue au SACM et consolidation de l'arbre générique « inondation »
  
- Instructions de demandes de CEE

# CONCLUSION



**MERCI POUR VOTRE ATTENTION**

[http://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/movies/TrilliumSeries/baltimore\\_online.html](http://www.baltimoreaircoil.eu/sites/BAC/files/movies/TrilliumSeries/baltimore_online.html)

---

Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives  
Centre de Saclay | 91191 Gif-sur-Yvette Cedex

Etablissement public à caractère industriel et commercial | RCS Paris B 775 685 019

DSM  
Irfu  
SACM