



Installation d'un système de récupération et liquéfaction d'hélium liquide sur le campus de l'Université de Bordeaux

Estelle Morvan IE CNRS IECB UMS3033 US001

Axelle Grélard IR CNRS CBMN UMR5248

Mai 2021

Sommaire

1 – Problématique de l'hélium liquide

- Au niveau national
- Au niveau local / régional

2 – Projet bordelais

- Description de la partie récupération (investissements, coûts du fonctionnement)
- Description de la partie liquéfaction (investissements, coûts du fonctionnement)
- Description de la partie distribution (investissements, coûts du fonctionnement)
- Bilan financier

3 – Amortissement et rentabilité du système

- Démarche de coût complet
- Projection sur 12 ans du budget annuel de fonctionnement et du tarif au litre

Méthodologie

1/ Contexte et objectifs

Le prix de l'hélium liquide augmente de manière quasi-exponentielle et son approvisionnement devient problématique. Nous avons donc réalisé une étude de faisabilité qui vise à fournir un premier ensemble de données pour la mise en place d'un centre de cryogénie sur le campus universitaire bordelais. Elle a pour objectif de vous aider à mieux appréhender les problèmes d'approvisionnement en hélium liquide impactant directement les activités de recherches scientifiques bordelaises. Cette démarche s'inscrit aussi dans le cadre du développement durable : recyclage d'une denrée non renouvelable, production locale, limitation des émissions de gaz à effet de serre.

2/ Présentation des sources de données utilisées

Sources des données de la Partie 1 (problématique)

- Analyse comparative (Benchmarking)
- Enquête interne auprès des responsables techniques de diverses structures existantes en France
- Participation au groupe de travail « liquéfaction » de l'infrastructure de recherche nationale IR RMN THC

Sources des données de la Partie 2 (projet)

- Documentations, visioconférences et devis avec les constructeurs, fournisseurs, centres de cryogénie existants
- Groupe de travail « liquéfaction » au sein du réseau national IR RMN THC

Sources des données de la Partie 3 (rentabilité)

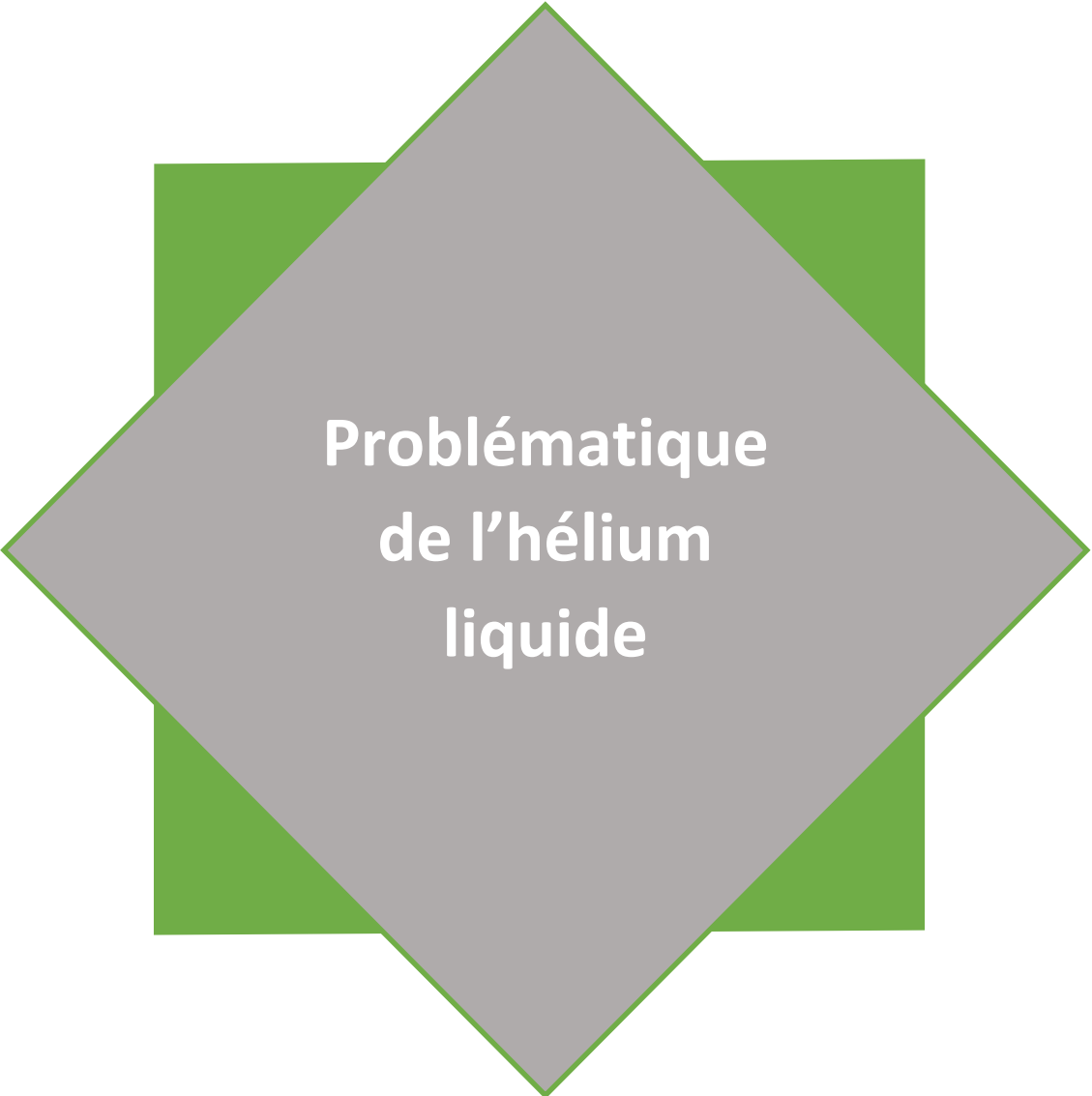
- Devis des fournisseurs et constructeurs
- Données RH de l'université de Bordeaux
- Guide méthodologique du MENESR : coûts complets et ressources des infrastructures de recherche

3/ Remarques préalables

- Les résultats représentent une première approche du problème et sont nécessairement incomplets, notamment du fait du manque d'exhaustivité des données. Au quotidien, en tant que responsables d'une plateforme de RMN, nous sommes consommatrices d'hélium liquide et non expertes en liquéfaction. Pour cette étude de faisabilité, nous avons visité et échangé avec des responsables de centre de cryogénie (experts), les utilisateurs de ces services et les fournisseurs. Leurs retours d'expériences constituent la base de notre réflexion et de la solution proposée.

- L'objectif est de permettre de construire une opinion sur cette problématique nationale.

Partie 1



**Problématique
de l'hélium
liquide**

Quel est ce gaz rare ? Problématique mondiale de l'hélium liquide

L'hélium est un gaz rare et inerte. Dans le monde, l'hélium est utilisé sous sa forme gaz ou liquide (à -269°C) dans divers secteurs d'activités tels que l'aéronautique, la recherche, la santé ou encore le secteur de l'animation. A ce jour, **une dizaine de gisements sont exploités dans le monde** et le marché mondial est approvisionné par les Etats-Unis (55%), le Qatar (30%), l'Algérie (10%). Des nouvelles sources en Tanzanie et en Russie pourraient être exploitées dans les prochaines années (<https://www.lelementarium.fr/element-fiche/helium/>, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/helium-statistics-and-information>).

Depuis plusieurs années, le **prix de l'hélium liquide connaît une forte augmentation**. L'Europe est le deuxième demandeur d'hélium après les Etats-Unis. Plusieurs raisons peuvent expliquer les augmentations du prix de l'hélium et les difficultés d'approvisionnement au niveau des laboratoires de recherche : l'offre est insuffisante due à la rareté des sources de ce gaz, les problèmes géopolitiques des pays producteurs (embargo entre les pays), les maintenances au niveau des sites de production...

Quels sont les impacts directs sur les laboratoires de recherche ?

Au vu du contexte mondial, les **marchés** mis en place au niveau national (INSERM 2018-2021) ou régional (Université de Bordeaux et CNRS 2019-2023) **ne nous garantissent pas une sécurisation de l'approvisionnement et la stabilisation du tarif**. Depuis un an, les fournisseurs ne s'engagent plus dans de nouveaux marchés ou bien ils proposent des tarifs à 40€ le litre. Actuellement, plusieurs unités de recherche nationales achètent l'hélium liquide au tarif de 20€ le litre.

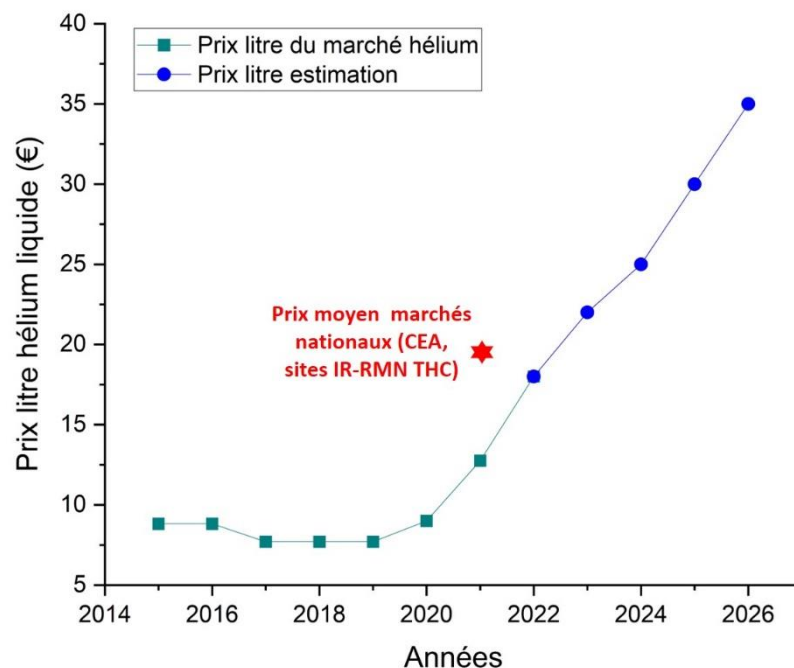
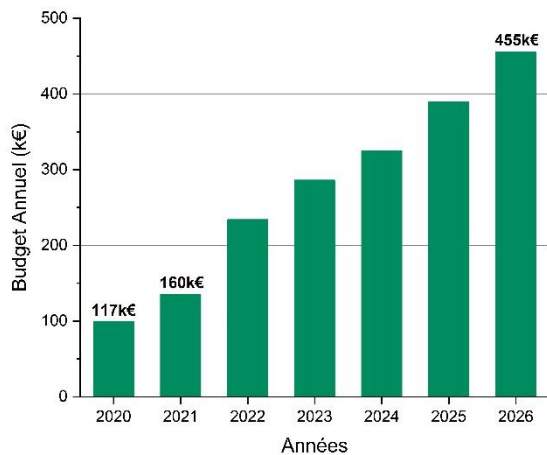


Figure 1 : Evolution du prix de l'hélium liquide (litre / €) . En vert, de 2015 à 2021 le prix moyen obtenu dans le cadre de marchés négociés pour les laboratoires bordelais et en bleu une projection sur les 5 prochaines années (sources fournisseurs)

Pour les laboratoires de recherche, possédant un ou plusieurs équipement(s) scientifique(s) dont le maintien est nécessaire pour les activités de recherche, le budget de l'hélium liquide est une vraie problématique. En échangeant avec les responsables techniques des 11 laboratoires bordelais identifiés, une consommation de 13 000 litres d'hélium liquide a été estimée pour l'année 2020. Ce volume pourrait potentiellement évoluer et légèrement augmenter au cours du temps.



Sur le graphique de la figure 2, nous avons réalisé la projection du budget annuel pour la consommation d'hélium liquide pour le campus bordelais (volume de 13000 litres constant) sur une période de 6 ans. Pour établir la projection du budget sur les 5 prochaines, nous nous sommes basés sur nos discussions avec les fournisseurs d'hélium liquide, les responsables des centres de cryogénie en France.

Figure 2 Estimation de l'évolution du budget annuel pour la consommation d'hélium liquide (13000L) pour le campus bordelais

Comment se déroule actuellement notre approvisionnement en hélium liquide ?

Aujourd'hui, pour le campus bordelais, l'hélium liquide est acheté en vrac auprès de l'un de ces trois fournisseurs : Air Liquide, Messer et Linde. Chaque laboratoire de recherche effectue ses commandes auprès du fournisseur titulaire du marché contractualisé. La société nous livre la quantité commandée dans un réservoir cryogénique adapté à la date de livraison définie lors de la commande. Suivant le fournisseur, les livraisons sont au départ de la région parisienne ou lyonnaise. Elles sont réalisées de plusieurs manières : tournée en France avec livraisons chez le client (départ de Paris en passant par Brest, Nantes, Bordeaux, Toulouse, Clermont Ferrand ... et retour à Paris) ou pré-acheminement des réservoirs vers un site régional et distribution faite par un partenaire local au niveau du laboratoire.

Ces transports sont sources de problèmes, avec une perte d'hélium lié à l'évaporation durant le transport, des délais de livraisons non maîtrisés dû aux aléas du trafic routier, des émissions de gaz à effet de serre. Dans une perspective de développement durable, les déplacements doivent avant tout être orientés vers la réduction des longs trajets routiers et favoriser les livraisons de proximité.

Quelle est la solution pour lutter contre nos problèmes d'approvisionnement ?

En France, de nombreuses universités (Paris, Grenoble, Strasbourg, Nancy, Toulouse, Montpellier ...) ont choisi de **mettre en place un service de basse température ou centre de cryogénie centralisé pour leurs laboratoires de recherche**. Environ une dizaine de centres sont implantés en France. Cette solution, au plus proche des activités scientifiques, permet de sécuriser l'approvisionnement en hélium liquide et de s'affranchir des gaziers (Air Liquide, Linde, Air Products, Messer).

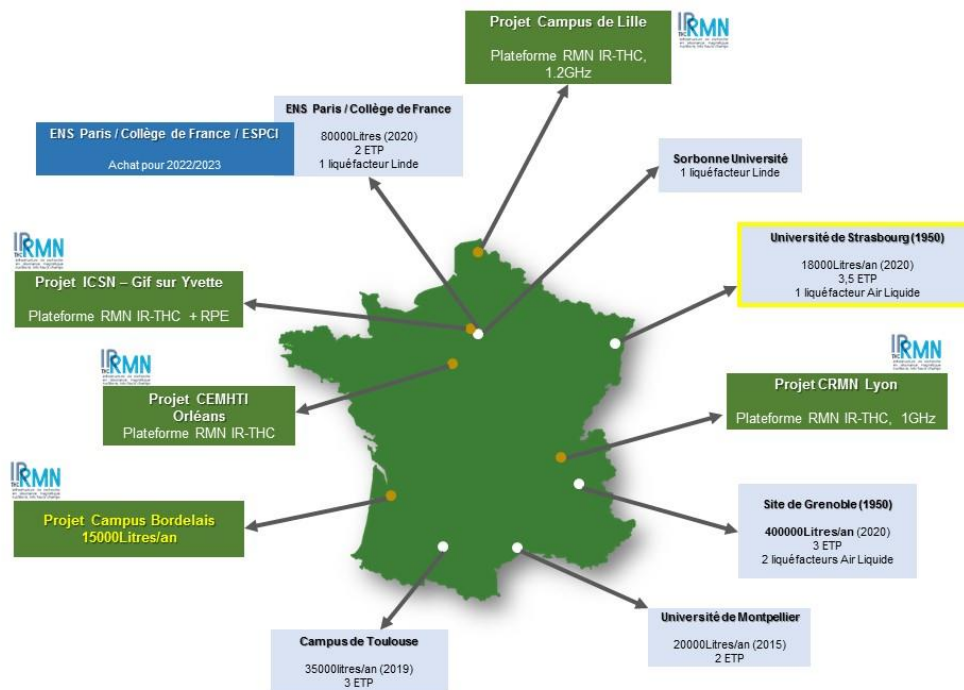


Figure 3: Exemples de centres de cryogénie (points blancs) et projet d'installation en étude (point jaune)

Quel est l'objectif de ce projet de centre de cryogénie sur le campus universitaire bordelais ?

A l'instar de ce qui est fait ailleurs le projet bordelais propose un système de récupération et de liquéfaction pour le campus, afin de **pérenniser et de sécuriser l'approvisionnement** en hélium liquide et de **stabiliser le coût** de revient / d'achat de ce dernier. Ce projet serait une réelle **opportunité pour l'Université de Bordeaux / le campus Bordelais d'accélérer sa transition écologique**. La réduction des longs trajets de livraisons entre Paris / Lyon et Bordeaux permettrait de lutter contre le changement climatique et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

En 2020, le volume commandé en hélium liquide du campus bordelais était d'environ 13 000 litres par an pour une dizaine de laboratoires de recherche. Ce volume pourrait légèrement évoluer au cours des douze prochaines années. Ce fluide cryogénique est nécessaire pour la réalisation d'expériences scientifiques, pour le maintien d'équipements scientifiques (comme des aimants supraconducteurs, des magnétomètres, etc). L'accès à la fourniture d'hélium liquide est **indispensable aux activités de recherche de toute une communauté scientifique bordelaise**.

Focus sur les laboratoires de recherche sur le campus universitaire bordelais

Au cours de cette étude nous avons identifié **11 laboratoires de recherches** (rattachés à plusieurs tutelles : Université de Bordeaux, CNRS, INSERM, Bordeaux INP, INRAE) concernés par la mise en place d'un centre de cryogénie. Trois départements de recherche (Sciences et technologies pour la santé, Sciences de la matière et du rayonnement et Sciences de l'environnement) fédèrent ces différentes structures. De nombreux équipements sont également présents dans les plateformes labélisées (CESAMO, Plateforme de Biophysicochimie Structurale de l'IECB, Plateforme d'Imagerie Biomédicale (IBIO), Plateforme MétaboHUB-Bordeaux). Les activités de recherche de six départements sur onze sont directement concernées par la problématique de l'approvisionnement en hélium liquide sur le campus universitaire bordelais.

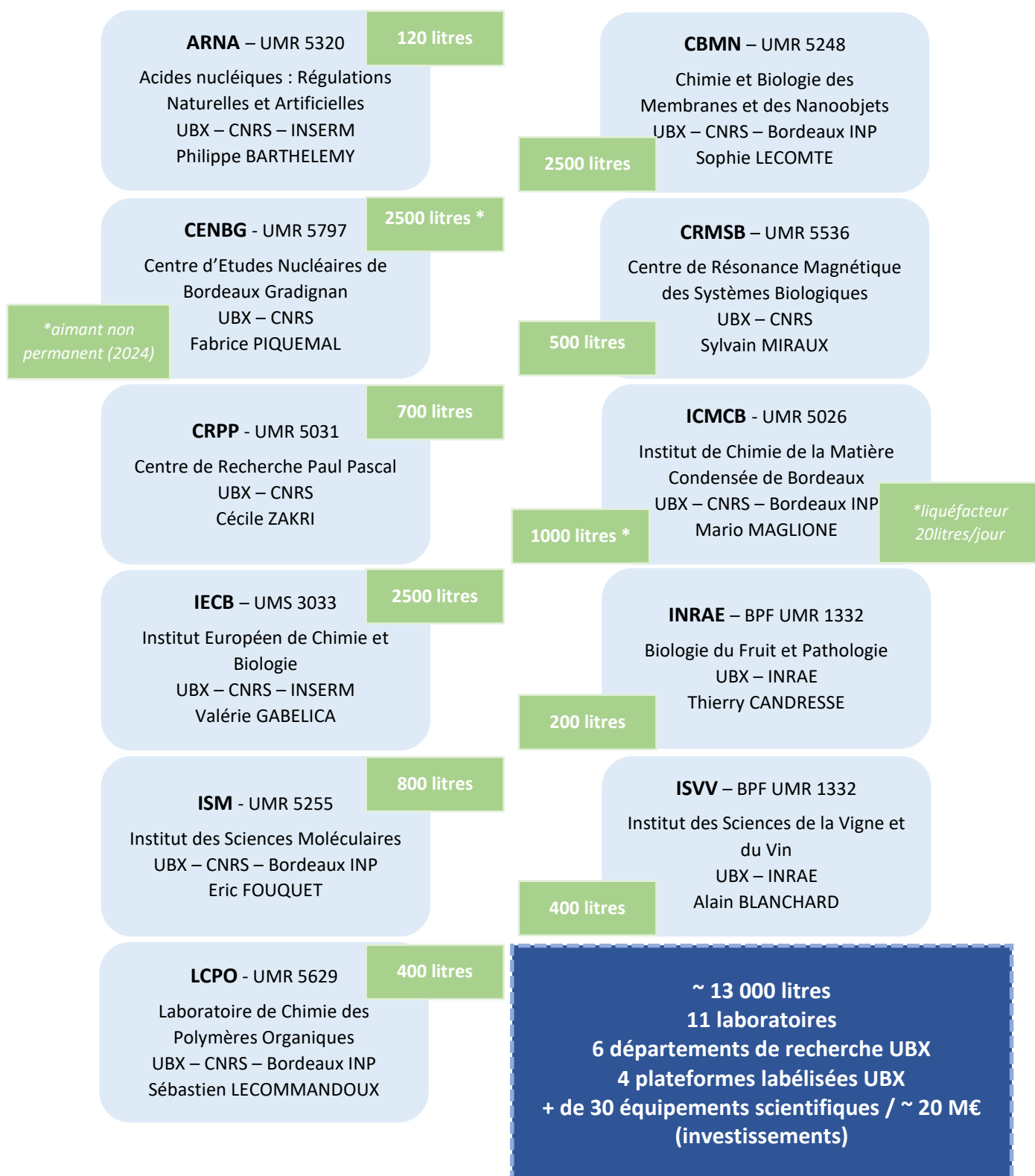


Tableau 1 : Etat des lieux de la consommation annuelle des 11 laboratoires de recherche identifiés en hélium liquide (sources : responsables techniques des laboratoires (2020), informations de l'Université de Bordeaux)

Partie 2



**Centre de
cryogénie sur le
campus
universitaire
bordelais**

Ce système global de récupération et liquéfaction est composé de trois parties : **la récupération** de l'hélium gaz au niveau des laboratoires de recherche, **la liquéfaction** au sein du centre de cryogénie mutualisé et **la distribution** de l'hélium liquide dans les unités de recherche. Les objectifs du centre de cryogénie seront de coordonner et superviser le fonctionnement du liquéfacteur, de conseiller leurs clients (= les laboratoires de recherche UBX et les extérieurs) dans la mise en œuvre du système de récupération du gaz, de gérer et planifier les commandes en hélium liquide en fonction des besoins, de planifier la récupération des systèmes de stockage haute pression sur les sites des clients et la livraison des réservoirs mobiles en hélium liquide.

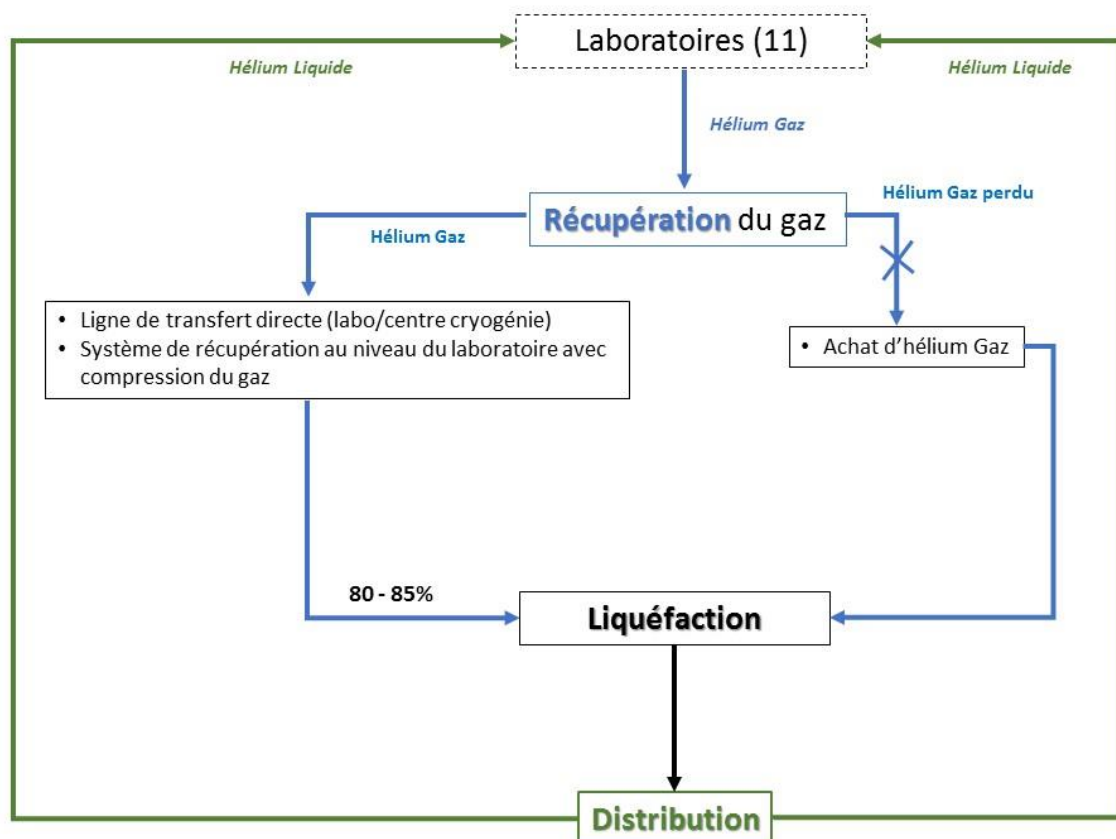


Figure 4 : Schéma synoptique du système global de récupération et liquéfaction.

Dans les paragraphes ci-dessous, nous allons détailler les trois parties de ce système.

A – Implantation du centre de cryogénie mutualisé

Dans ce projet, un **bâtiment existant** déjà destiné en partie à la cryogénie de l'ICMCB, localisé avenue Pey Berland à Pessac, propriété du CNRS, a été identifié pour accueillir le futur centre de cryogénie du campus universitaire bordelais. Ce bâtiment a été construit et conçu pour accueillir un système complet de récupération et de liquéfaction. Actuellement, l'ICMCB possède un liquéfacteur dimensionné à l'échelle du laboratoire (20 litres/jour) et localisé dans leurs locaux. Seule une partie de de leur système de récupération (baudruche, compresseur haute pression, rack de bouteilles gaz) est actuellement présent dans le bâtiment. Le futur système mutualisé intégrera la configuration actuelle de récupération de l'ICMCB. De plus, deux lignes de transfert sont déjà présentes entre ce bâtiment « cryogénie » et les laboratoires CRPP et ICMCB. De fait, ce bâtiment est parfaitement adapté pour la future installation de la partie récupération (baudruche, compresseur haute pression, rack de bouteilles de stockage) et du liquéfacteur. Toutefois pour sa mise aux normes, des travaux électriques et des aménagements seront à envisager.

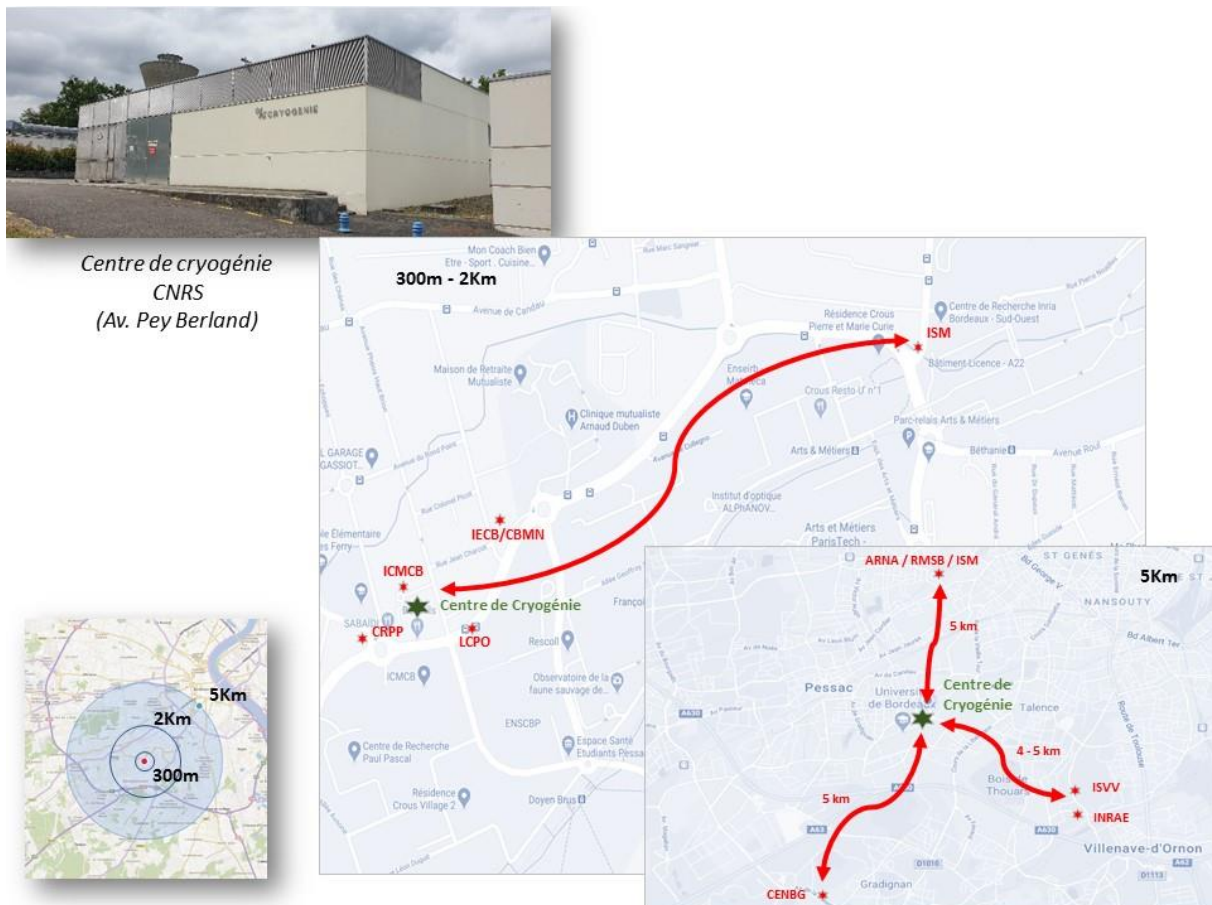


Figure 5 : Localisation du futur centre de cryogénie mutualisé

L'emplacement de ce bâtiment est central par rapport aux positionnements des 11 laboratoires de recherche. Actuellement, aucun personnel technique n'est rattaché à ce bâtiment existant.

B - Récupération de l'hélium gaz au niveau des équipements scientifiques

Au cours de notre benchmarking, tous les responsables techniques des centres de cryogénie consultés nous ont alerté sur l'importance de la partie récupération de l'hélium gaz. En effet, la **rentabilité globale d'un centre de liquéfaction repose en grande partie sur l'efficacité de cette récupération**. Au sein du campus bordelais, sur la base de leur production d'hélium gaz, nous avons identifié 8 laboratoires sur 11 pour lesquels l'investissement dans un système de récupération serait rentable à court terme. L'objectif de ces laboratoires sera de limiter les pertes et d'optimiser la récupération d'hélium gazeux au niveau des équipements scientifiques (aimants supraconducteurs (RMN, RPE, IRM), des magnétomètres ...). L'objectif est d'atteindre rapidement **80 – 85% d'hélium gaz récupéré**.

Laboratoires proches

Acheminement direct de l'hélium gaz (canalisation enterrée en inox) entre le laboratoire de recherche à proximité vers le centre de cryogénie

Cette ligne directe est déjà existante pour deux laboratoires de recherche (CRPP et ICMCB).

Cette solution technique est envisagée pour deux autres laboratoires proches du centre de cryogénie : LCPO (distance 200 m) et IECB (distance 400 m)

Pour la mise en œuvre de cette solution, une demande d'autorisation sera à déposer auprès de la mairie de Pessac pour la réalisation des travaux de terrassement au niveau de la rue Pey Berland à Pessac. Ce périmètre n'est pas situé sur le domaine universitaire.

Un surpresseur sera installé en début de ligne dans les laboratoires pour favoriser l'acheminement de l'hélium gaz vers le centre de cryogénie.

Cette solution technique (canalisation enterrée en inox) présente l'avantage d'être pérenne et sans de frais de fonctionnement.

Laboratoires identifiés : LCPO, IECB / CBMN

Laboratoires éloignés

Installation d'un système de récupération et de compression de l'hélium gaz dans les laboratoires éloignés du centre de cryogénie.

Cette solution technique est composée de différents éléments et doit être dimensionnée en fonction des quantités d'hélium gaz émises par chaque laboratoire concerné : une baudruche ou un gazomètre de taille adéquate, d'un compresseur haute pression en adaptant sa capacité de compression, de rack(s) de bouteille(s) d'hélium gaz comprimé transportable(s). En effet, l'hélium gaz est stocké temporairement dans un réservoir souple à température ambiante et à pression atmosphérique puis comprimé à 200 bars dans des réservoirs de stockage transportables.

Au niveau des frais de fonctionnement (électricité) et maintenance, le coût sera inférieur à 1000 euros par an par système de récupération (données fournisseurs, constructeurs). Ce système de compression fonctionnera quelques heures dans la semaine.

Laboratoires identifiés : ISM, CENBG, ISVV, INRAE, ARNA, CRMSB

Systeme de récupération	Equipements/Travaux	Montant (k€)	Fournisseur	Coût annuel de la maintenance (k€)
Laboratoires distants	Baudruche d'une capacité de 20 m ³	9,3	CTT (Chalamont - 01)	< 1
	Compresseur Haute Pression (8m ³ /heure)	22	Bauer	
	Rack de 9 bouteilles gaz comprimés (200 bars) – 81m ³	5	Peters (Hasnon – 59)	
Laboratoires proches	Canalisation en inox enterrée (entre le laboratoire de recherche et le centre de cryogénie) – 400m	80	Terrassement (LTP - 33) Canalisation (2G Tuyauterie - 33)	0

Tableau 2 : Estimations des coûts d'investissement pour les 2 systèmes de récupération envisagés

L'hélium gaz comprimé dans les racks sera acheminé ultérieurement par un service de livraison externalisé ou internalisé au sein du centre de cryogénie (ceci sera détaillé dans la partie distribution).

La récupération de l'hélium gaz commence au plus proche de l'équipement scientifique ou de l'expérience. Un réseau de canalisation à basse pression sera à prévoir et à connecter au réseau de récupération (ligne de transfert ou système de récupération sur site). Ces installations seront composées de canalisations en inox, de compteurs à gaz, de vannes, des clapets anti-retours, des soupapes permettant d'isoler et de protéger nos équipements scientifiques d'une surpression (par exemple).

Voici un exemple de canalisation en inox pour récupérer l'hélium gaz au niveau des aimants supraconducteurs de l'IECB (le chiffrage de ce réseau est en attente):

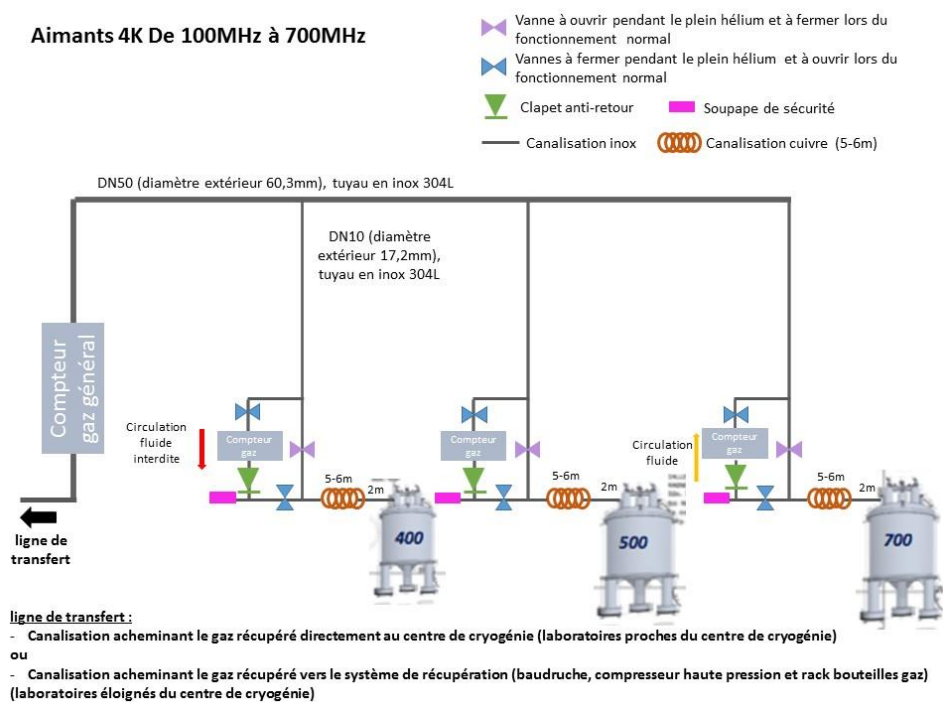


Figure 6 : Exemple de système de canalisation pour une partie des aimants RMN à l'IECB

Chaque aimant sera équipé de raccords en inox, de flexibles, de joints de type KF25. Le coût par aimant de ces raccordements est d'environ 100 à 200 euros.



aimant avec système de récupération



Figure 7: Accessoires permettant le raccordement des aimants supraconducteurs au réseau de récupération

C – Liquéfaction de l'hélium gaz par le centre de cryogénie

Nous avons contacté différents fournisseurs de liquéfacteurs (Cryomech (Absolute System), Quantum Design, Quantum Technology, Air Liquide Advanced Technologies). Les liquéfacteurs proposés ont des capacités de liquéfaction très variables (cf tableau 3).

Liquéfacteur	Fournisseur	Capacité de liquéfaction (litres / jour)	Montant (k€)
ATL160	Quantum Design	22 – 27	430
LHeP22	Absolute System (Cryomech)	22	230
QLHe200	Quantum Technology	200	800
HELIAL SL	Air Liquide Advanced Technologies	360 - 720	1700

Tableau 3 : Exemples de liquéfacteurs disponibles sur le marché

Les premiers liquéfacteurs du tableau sont ceux dimensionnés pour un usage à l'échelle du laboratoire (entre 20 litres et 200 litres par jour). Le laboratoire de recherche ICMCB possède un système ATL160 (22-27 litres/jour) depuis 2018. Ce liquéfacteur est actuellement connecté au système de récupération (boudruche, compresseur haute pression et racks de bouteilles gaz) installé dans le bâtiment cryogénie. Ce liquéfacteur ne couvre qu'une partie des besoins en hélium liquide de l'ICMCB. Le raccordement de ce système sera à prendre en compte lors de l'installation du nouveau liquéfacteur.

Cette première solution peut apparaître économiquement intéressante, mais dans l'éventualité de l'installation d'un tel équipement dans chaque laboratoire de recherche le budget global serait de plus de 4M€. Il faut également noter qu'un ou deux personnel(s) sont nécessaires pour gérer quotidiennement chaque système. Pour ces raisons, à la fois humaine et financière, nous n'avons pas retenue cette solution et nous nous sommes orientés vers un système industriel (entre 360 litres et 7920 litres par heure).

Notre « benchmarking » nous a par ailleurs confortés dans ce choix. En effet, tous les responsables techniques des centres de cryogénie (C. Gianèse (Grenoble), O. Andrieu (ENS, Paris), F. Hopfner (Strasbourg), F. Beuran (Sorbonne, Paris)) sont unanimes sur la fiabilité, la robustesse et nous conseillent ce choix. Toutes ces personnes appartiennent au réseau national de liquéfaction et ils échangent sur leur problématique, leur quotidien, leur retour d'expériences ou encore les pannes rencontrées. De plus, la configuration du centre de cryogénie du campus universitaire de Strasbourg avec un liquéfacteur HELIAL SL (géré par Fabien Hopfner) est similaire à celle que nous souhaitons mettre en place à Bordeaux : besoins en hélium liquide, périmètre de livraison, activités scientifiques... Les soutiens potentiels ou aides des membres de ce réseau national de liquéfaction sont un point rassurant pour la future installation de centre de cryogénie sur le campus universitaire bordelais. Les personnels du site bordelais auront tout intérêt à intégrer ce réseau national pour bénéficier de son expérience.

Voici un descriptif du système de récupération et liquéfaction qui serait installé au sein du centre de cryogénie :

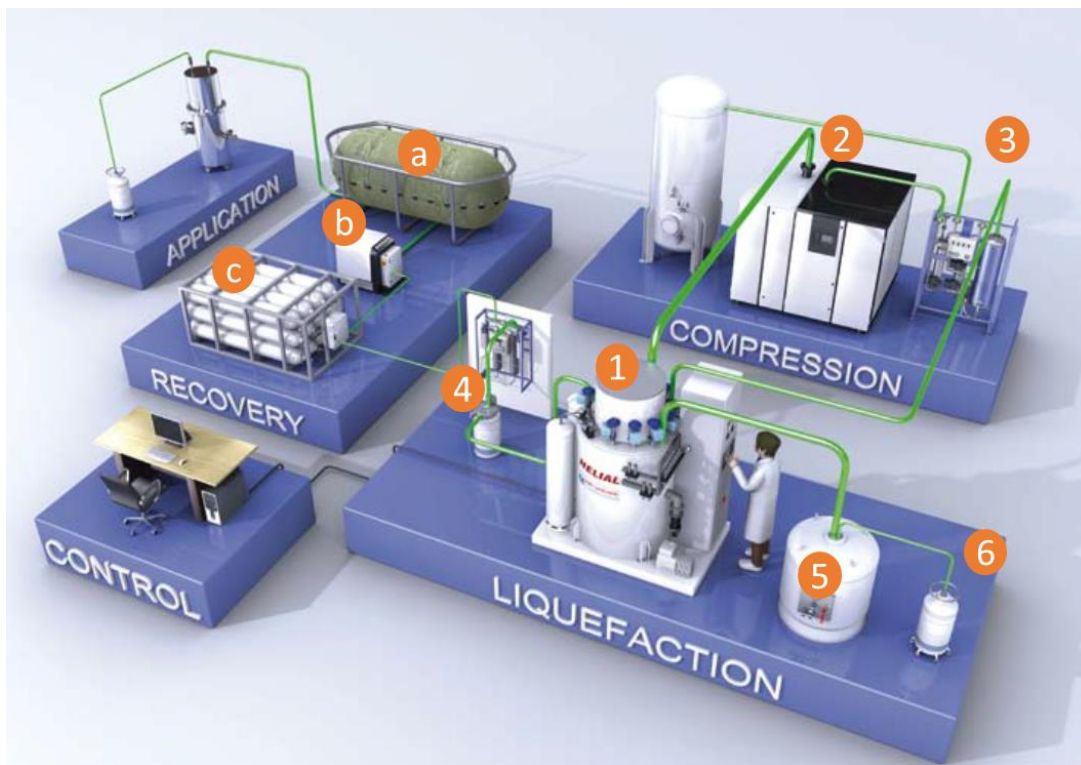


Figure 8: Système complet au niveau du centre de cryogénie : partie récupération : a – boudruche, b- compresseur haute pression, c – rack(s) bouteilles gaz, partie liquéfaction : 1 – liquéfacteur, 2- compresseur haute pression, 3- purificateur, 4 – sécheur, 5 – réservoir(s) de stockage pour hélium liquide, 6 – réservoir(s) mobile(s) (image d'Air Liquide Advanced Technologies)

L'investissement total de ce système est d'environ **1,7 M€**.

Pour le conditionnement de l'hélium liquide, une cuve de stockage d'une capacité de 1000 litres sera installée, une deuxième de 500 litres pourra aussi être envisagée pour éviter d'être limité en capacité de stockage. Pour la livraison de l'hélium liquide dans les laboratoires de recherche, ce fluide sera transféré dans des réservoirs mobiles et habilités pour les transports. Dans un premier temps, 6 réservoirs sont envisagés d'une capacité comprise entre 100 litres et 250 litres (investissement financier d'environ 88k€). L'objectif est de récupérer le maximum du gaz d'évaporation le long de la chaîne de récupération et de liquéfaction. C'est pour cette raison que toutes les cuves de stockage et les réservoirs mobiles sont reliés directement ou par des raccords rapides (type Staubli) aux canalisations. Le gaz récupéré est re-liquéfié en continu.

Comme indiqué précédemment, si tous les moyens techniques sont mis en œuvre pour récupérer l'hélium gaz, un taux minimum de récupération de 80 à 85% doit être atteint. Le centre de cryogénie devra donc acheter un complément de 15 à 20% d'hélium gaz auprès des gaziers pour couvrir ces pertes.

La capacité de liquéfaction du liquéfacteur étant supérieure aux besoins exprimés sur le campus, l'équipement ne devrait pas fonctionner 24h/24 et 7j/7. En conséquence, et d'après notre analyse comparative, le coût de fonctionnement (électricité) et de **maintenance annuel serait de 40k€**.

Cette marge dans la capacité de liquéfaction, nous permet d'envisager avec sérénité une augmentation potentielle du besoin pour les prochaines années.

La société Air Liquide Advanced Technologies peut proposer plusieurs solutions pour l'exploitation et la maintenance du système de liquéfaction parmi lesquelles, l'installation du système de liquéfaction avec ou sans contrat de maintenance, avec ou sans personnel d'Air Liquide pour gérer le système. Le chiffrage de l'achat du système complet de liquéfaction a uniquement été demandé et les options complémentaires non pas été évaluées.

D – Distribution

Le centre de cryogénie sera en charge de gérer la livraison des réservoirs mobiles et la récupération des systèmes de stockage (hélium gaz ou liquide) sur les différents sites du campus bordelais dans un périmètre maximum de 5 km. Deux possibilités sont envisagées : externalisation ou internalisation de la livraison.

Mode de livraison	Critères / Avantages	Fournisseurs	Montant (k€)
Externalisation	Expertise et expérience du prestataire	BERT	45
	Gestion des heures de conduite et respect des obligations légales	DUMONT	40
		MER	15
Internalisation	Achat d'un camion utilitaire avec des aménagements spécifiques (hayon, ventilation adaptée ...)	RENAULT TRUCKS	35 (investissement) 5 (coûts annuels)
	Formation du personnel (ADR)		

Tableau 4 : Coûts annuels ou investissements financiers pour le service de livraison (externalisé et internalisé)

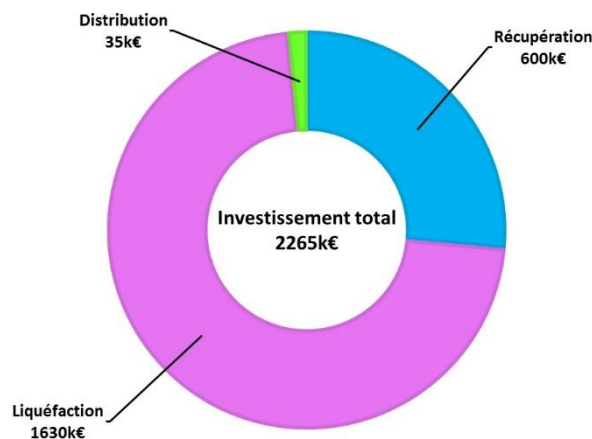
Dans une première étape, le service de livraison au sein du centre de cryogénie serait externalisé pendant quelques mois pour permettre aux personnels de mettre en place progressivement le fonctionnement et l'organisation du centre de cryogénie. Dans un second temps, l'investissement financier pour se doter d'un service de livraison en interne pourrait être réalisé.

E – Moyens humains

Actuellement, aucun agent n'est affecté à la gestion ou au fonctionnement d'un service de cryogénie. Pour la bonne réalisation de ce projet, **2 ETP** seront nécessaires pour gérer l'ensemble du centre de cryogénie (de la gestion des commandes à la livraison de l'hélium liquide dans les laboratoires de recherche). Compte tenu des différentes activités à prendre en charge pour ce projet, le niveau d'un ingénieur d'études (BAP G) est à envisager. Ce dernier aura pour fonction de superviser et coordonner la mise en œuvre des diverses opérations logistiques (de la gestion budgétaire au contrôle opérationnel du système) et d'encadrer le technicien.

F – Bilan financier

Le **budget global** pour l'ensemble du projet pour le campus universitaire bordelais est estimé à **2,3 M€**. Le graphe ci-dessous décrit la répartition des investissements des **3 éléments essentiels au processus**.



Les graphes ci-dessous représentent la répartition des **coûts de fonctionnement annuel du centre de cryogénie**

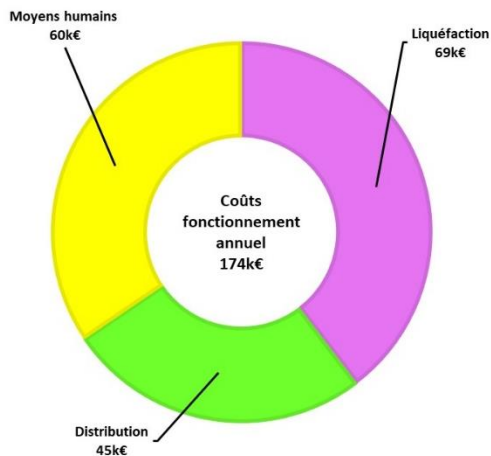


Figure 9: coûts de fonctionnement annuel en externalisant la livraison

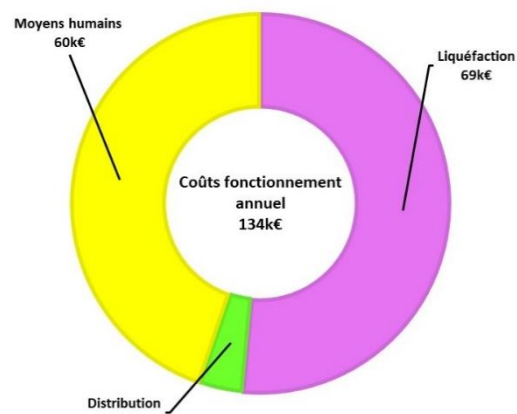
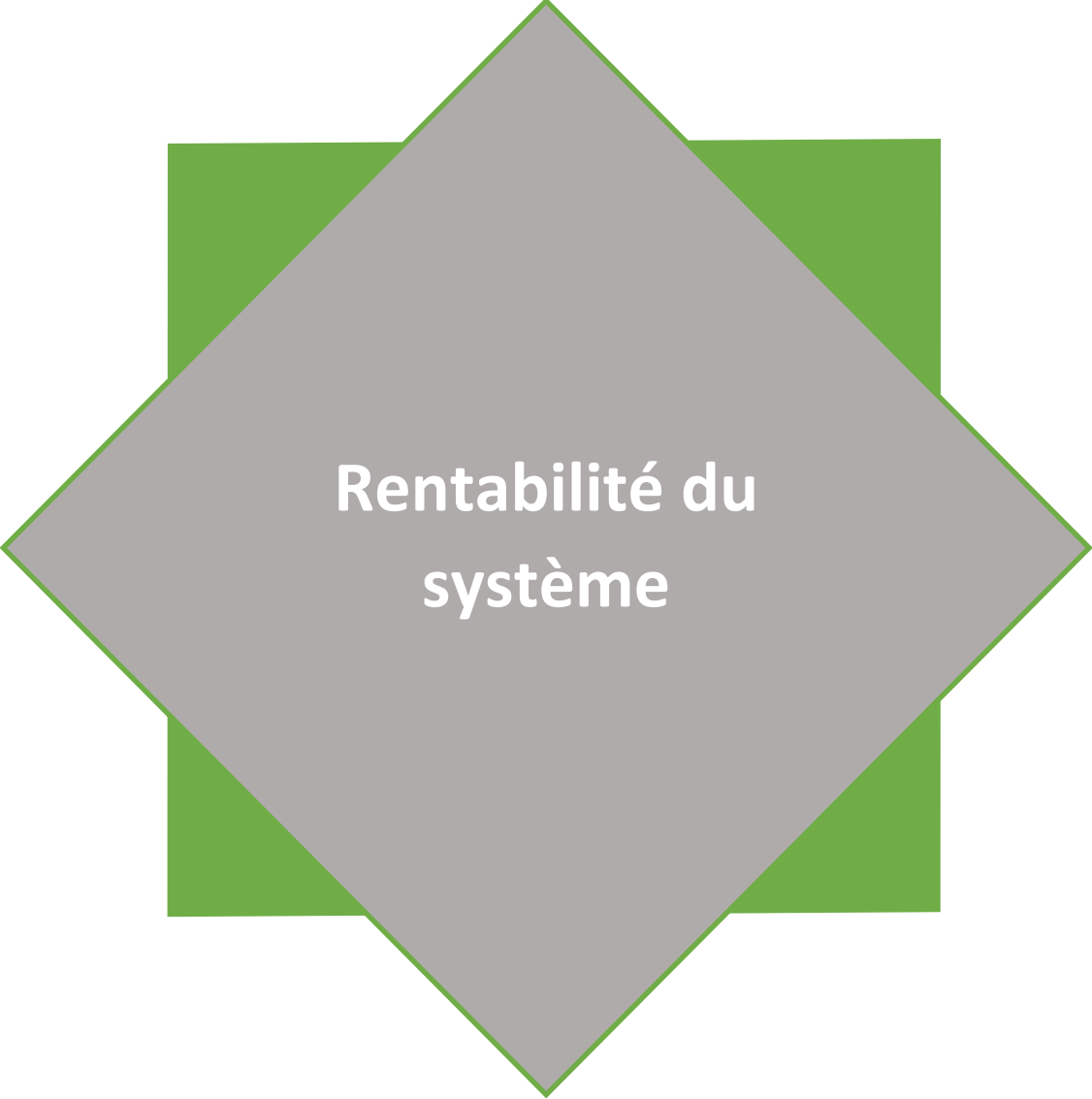


Figure 10: coûts de fonctionnement annuel en internalisant la livraison

Partie 3



**Rentabilité du
système**

Depuis plusieurs années le MENESR et les établissements publics de recherche sont engagés dans une démarche de calcul des coûts complets notamment pour les infrastructures nationales de recherche (TGIR et IR). Pour estimer la rentabilité de l'implantation d'un centre de cryogénie sur le campus bordelais nous avons transposé la méthode déjà utilisée pour le calcul des coûts complets de notre plateforme nationale RMN. Cette méthode consiste à prendre en compte l'ensemble des charges directes et indirectes afférentes à une prestation. Dans notre cas il s'agit de la fourniture d'hélium. Notre calcul nous a permis d'estimer un prix au litre d'hélium avec une projection sur 12 ans.

Nature des charges prises en compte pour le calcul des coûts complets

Nous avons pris en compte les éléments suivants pour notre calcul :

- Equipements avec un amortissement sur 10 ans incluant
 - Le système complet de liquéfaction (liquéfacteur, compresseur, baudruche, racks de bouteilles gaz...)
 - Les systèmes de récupération pour l'ensemble des laboratoires concernés (compresseurs, canalisations, terrassement...)
 - Achat d'un camion pour le transport (utilitaire, réservoirs d'hélium mobiles...)
- Charges d'exploitation / coûts de fonctionnement
 - Coûts d'électricité et de maintenance du système de liquéfaction
 - Coûts d'électricité et de maintenance des compresseurs des systèmes de récupération
 - Coûts d'entretien et de carburant du camion
 - Achat d'hélium gaz pour complément (2500m³/an)
 - Contrôles réglementaires des racks de bouteilles de gaz
- Personnels : 2 personnels permanents (IE/T)

Projection sur 12 ans du budget annuel d'un centre de cryogénie

Les charges listées ci-dessus nous amènent à un budget annuel d'environ **360k€ sur les 10 premières années**. Puis, à un budget de **160k€ au-delà de 10 ans** lorsque les équipements sont amortis. Ces données ont été tracées dans le graphe ci-dessous (ligne noire) et comparées à l'évolution du budget global d'achat d'hélium liquide auprès des fournisseurs actuels.

Projection sur 12 ans du tarif au litre

Notre unité d'œuvre est le litre d'hélium et nous avons considéré un volume annuel de 13000 litres pour le campus bordelais. Nos **projections** nous amènent à un tarif de **27€/L sur 10 ans** puis **10€/L à partir de la dixième année**. Cette projection a été réalisée en considérant un volume annuel d'hélium, 13000 litres, inchangé sur une période de 15 ans.

Dans notre étude, l'externalisation de la partie distribution a été envisagée. Les devis réalisés par les 3 sociétés de transports consultées conduisent à une augmentation moyenne du prix au litre de 1€, soit 28€/L les dix premières années, puis 11€/L ensuite.

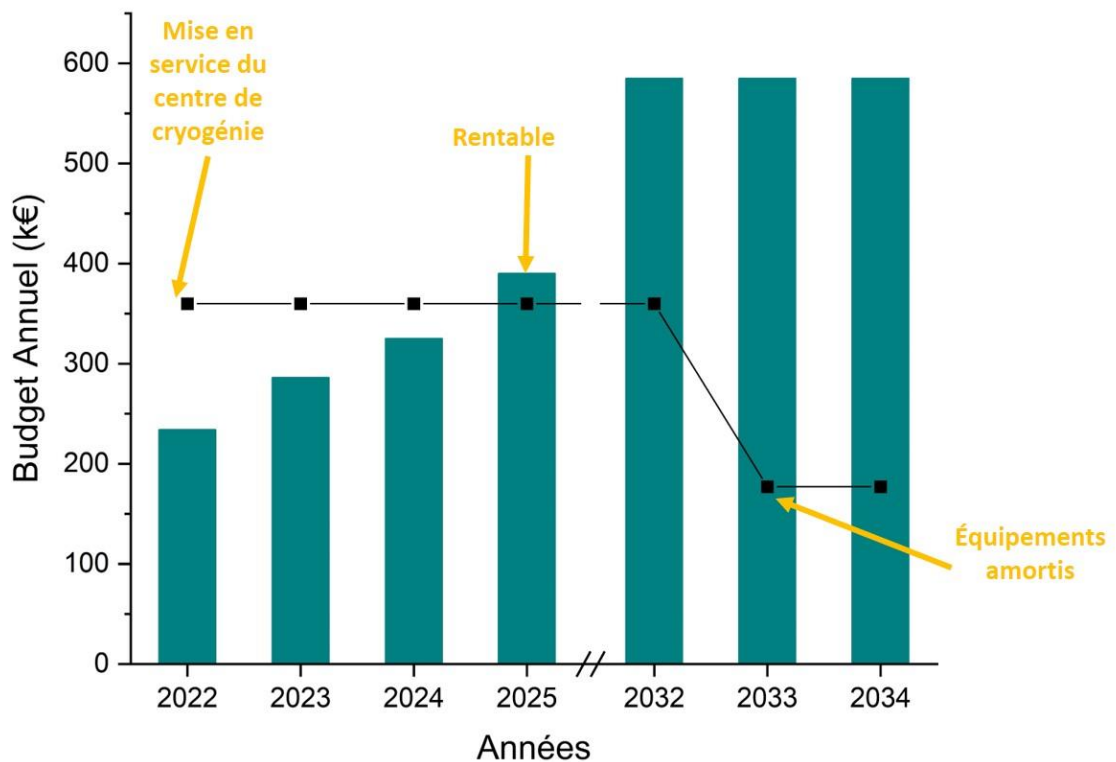


Figure 101: Evolution et prévisions du budget global pour le campus bordelais sur 12 ans (comparaison fournisseurs d'hélium liquide en bleu et centre de cryogénie en noir)

Nous constatons que dans la perspective d'une évolution des prix d'hélium établis par les gaziers, nous aurions un prix attractif du litre d'hélium dès la troisième année. A une échéance de 10 ans, avec un système amorti, notre prix d'hélium serait nettement inférieur à celui pratiqué aujourd'hui par les fournisseurs (14€/L au 01/04/2021 (Linde) vs 10€/L avec centre de cryogénie bordelais).

Le court de l'hélium liquide est très fluctuant et nos projections restent très spéculatives.

Conclusion

1/ Sécuriser l'approvisionnement en hélium liquide

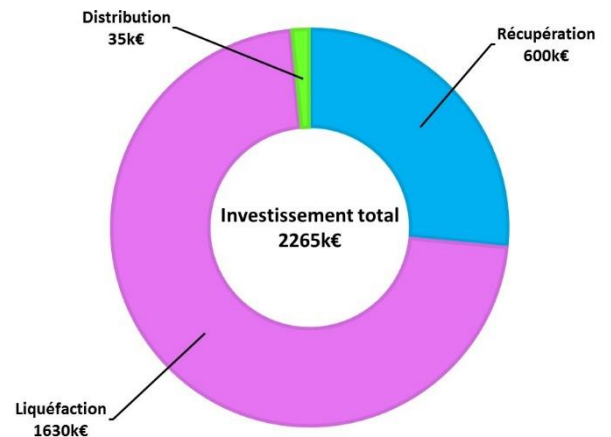
2/ Stabiliser le coût de l'hélium liquide

3/ Peu de travaux bâtimentaires à prévoir

4/ Investissement financier global de 2,3 M€

5/ Ouverture aux extérieurs (laboratoire des fraudes, CHU, laboratoires de la Nouvelle Aquitaine, entreprises...)

6/ Amorcer une démarche éco-responsable au sein du campus universitaire



Futures étapes du projet (calendrier prévisionnel)

1/ Montage des dossiers des demandes de financement (AAP régional, tutelles ...) – 2^{ème} semestre 2021

2/ Demande de moyens humains – 2^{ème} semestre 2021

3/ Création d'un groupe « cryogénie » – 2^{ème} semestre 2021

4/ Visite sur site des différentes entreprises (aménagement du bâtiment cryogénie, mise en place des solutions techniques...) et consultation des entreprises avec une équipe d'experts (ex : Christian Gianèse...) – 1^{er} semestre 2022

5/ Phase de planification et d'exécution du projet – 2022 - 2023

6/ Mise en service du centre de cryogénie – fin 2023 - début 2024