



# Formation en cryogénie et gaz comprimés

Comité de sécurité du département  
de physique  
Université de Sherbrooke



## Caractéristiques physiques

Cryogène	Température d'ébullition	Volume gazeux/Volume liquide	Densité	Odeur	Inflammable
N <sub>2</sub>	77K (-196°C)	695	Juste un peu plus faible que l'air	Non	Non
He	4.2K (-269°C)	757	Très faible	Non	Non

- L'azote gazeux compte pour 78% de l'air que nous respirons. L'oxygène compte pour 21% et l'argon 1%. De la vapeur d'eau se mélange également à l'air.
- L'azote liquide coute environ 50¢ le litre, alors que l'hélium liquide (provenant des puits de pétrole) se vend environ 12\$ le litre sur le marché (en 2022).
- Notre liquéfacteur d'hélium permet de réduire le cout de production à 4\$ le litre.



## Classification pour transport

Cryogène	Classe	No UN	Appellation
N <sub>2</sub>	2.2	UN1977	Azote liquide réfrigéré
He	2.2	UN1963	Hélium liquide réfrigéré

**Classe 2.2 -** Gaz ininflammables non toxiques.

**Numéro UN**

Code alphanumérique (deux lettres et quatre chiffres) servant à désigner une substance dangereuse ou un groupe de substances dangereuses ayant les mêmes caractéristiques. Il permet d'identifier rapidement une substance lors de son transport en Amérique du Nord.



## Les pictogrammes pour l'azote et l'hélium liquide



Pour les contenants en cours d'utilisation et en entreposage qui contiennent les cryogènes (SIMDUT 2015).



Pour les transporteurs de cryogènes.



## Contenants pressurisés d'azote

Manomètre (typiquement 20 psi)

Soupape de surpression

Vide d'isolation (ne pas modifier)

« Pressure builder » mécanique

Ne pas forcer les valves

Attention à votre visage

Présence d'oxygène liquide lors de transferts (ne pas approcher de flamme)



Un technicien vous expliquera en détails les différents composants (valves, soupapes, etc.) des contenants en laboratoire.

De la glace peut se former près du goulot de la bouteille, surtout si l'air ambiant est humide. Par contre, si un contenant est glacé sur une grande surface, il faut le signaler à un technicien.



## Contenants pressurisés d'hélium

Manomètre (pression nulle car contenant  
raccordé à la récupération)

Soupape de surpression

Vide d'isolation (ne pas modifier)

Ne pas forcer les valves

Attention à votre visage

Il ne devrait pas y avoir de glace sur un  
contenant d'hélium

« Pressure builder » (résistance chauffante)



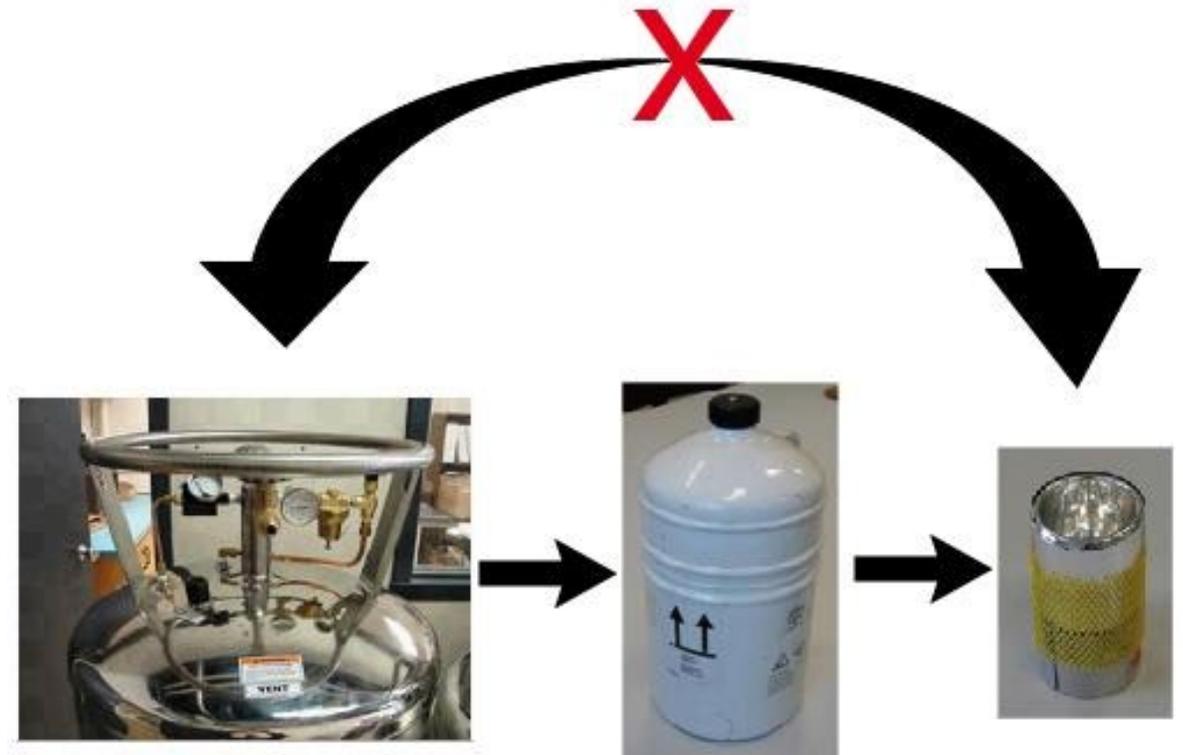
## Contenants non pressurisés

**Ne jamais sceller complètement!**

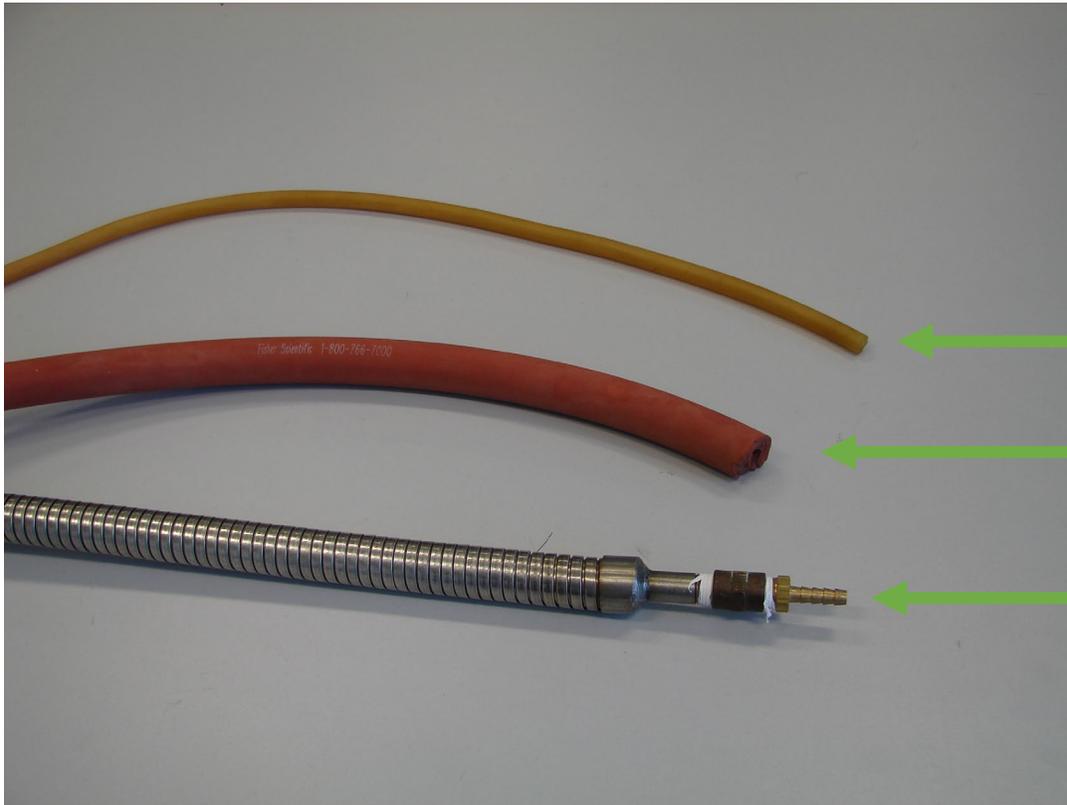
Éviter les thermos en verre

Mettre un bouchon ou un capuchon lâche

Peut déborder lors du remplissage



## Tuyaux de remplissage pour l'azote liquide



à éviter (trop cassant)

moins mal (cassant)

excellent

Un tuyau ne doit jamais être fermé aux deux bouts lorsqu'il contient un liquide cryogénique.



## Transport LN<sub>2</sub> et LHe

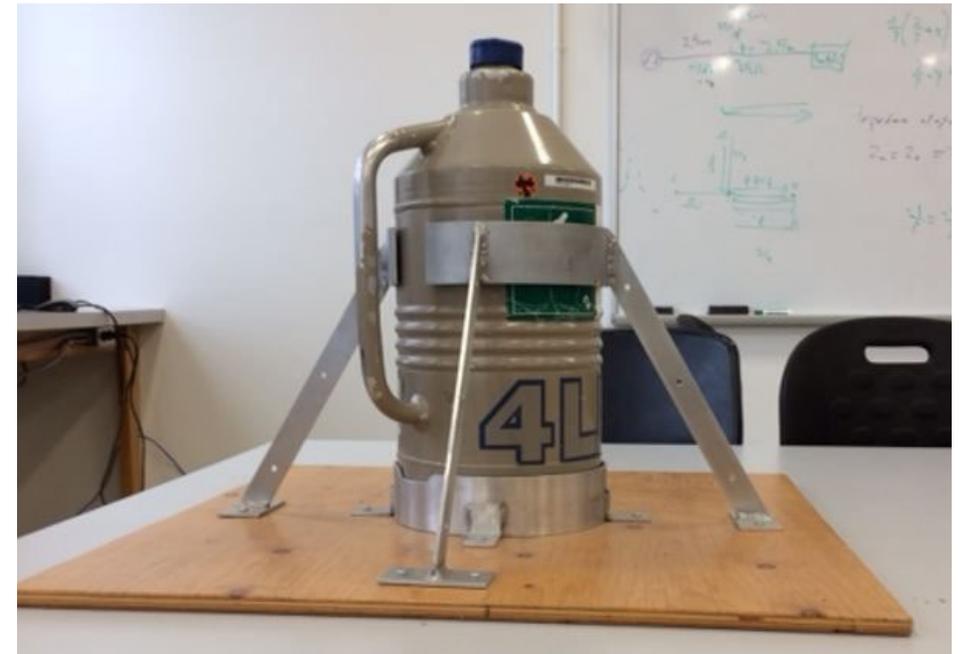
- Les contenants doivent toujours être à la verticale.
- Les contenants doivent voyager seuls dans les ascenseurs afin d'éviter un risque d'asphyxie.
- Le transport des contenants pressurisés de liquides cryogéniques est assuré par l'équipe du « cryoteam » du département.



## Transport LN<sub>2</sub> dans un véhicule

Utiliser le support disponible au D2-2057 pour transporter un contenant de 4 litres d'azote dans le coffre d'un véhicule.

Note : Le transport d'azote liquide dans un véhicule ne doit être fait que par un utilisateur ayant une attestation valide. La formation est donnée par le SSMTE, ici à l'UdS et est valide pour une durée de trois ans.



## Manipulation de liquides cryogéniques

- Demander l'aide d'une personne ressource pour les premières utilisations d'un contenant d'azote ou d'hélium Liquide.
- Nécessité d'une formation pour les premiers transferts d'hélium liquide et l'utilisation d'un cryostat.
- Les cryostats sont tous uniques, informez-vous des dangers avant leur utilisation.
- N'utiliser que des contenants approuvés pour l'usage de liquides cryogéniques.
- Vérifiez l'état des valves et branchements avant et après utilisation d'un liquide cryogénique.
- S'assurer que le contenant d'hélium et la sortie d'évacuation du cryostat sont bien reliés aux lignes de récupération d'hélium après un transfert.
- Ne pas laisser ouvert un cryostat froid ou un contenant d'hélium. En plus de perdre de l'hélium, une accumulation de glace peut se former et créer un bouchon qui risque de mener à une explosion.



## Transferts d'hélium le soir et les fins de semaines

Il vous faut une seule autorisation écrite de votre superviseur pour effectuer des transferts seul le soir ou les fins de semaines.

Le département vous demande de limiter vos manipulations de liquides cryogéniques uniquement durant les heures normales de la semaine. Éviter donc au maximum de venir effectuer un transfert le soir ou les fins de semaines.



## Risque d'asphyxie causé par le déplacement d'oxygène

Évitez d'utiliser des liquides cryogéniques dans des endroits clos. Laissez les portes du laboratoire ouvertes durant vos transferts d'azote ou d'hélium liquide.

Concentration en oxygène	Effet sur le corps humain
23.0%	Atmosphère enrichie en oxygène. Limite supérieure à partir de laquelle il est interdit d'entrer.
21.0%	Concentration normale d'oxygène.
19.5%	Concentration minimale pour pouvoir entrer dans un espace clos sans respirateur ou avec un respirateur à adduction d'air avec une réserve d'air.
12 – 16%	Respiration saccadée, anxiété, fatigue anormale lorsqu'on fait des mouvements, concentration insuffisante pour maintenir une flamme allumée.
10 – 11%	Accélération de la respiration et du rythme cardiaque, euphorie, maux de tête.
6 – 10%	Nausées et vomissements, incapacité à bouger librement, possibilité de perte de conscience et d'effondrement tout en restant conscient.
< 6%	Arrêt respiratoire suivi d'un arrêt cardiaque, mort en quelques minutes.



## Risque d'asphyxie causé par le déplacement d'oxygène

Tableau : Concentration d'oxygène après un déversement d'azote liquide.

	Room volume m <sup>3</sup>	Volume of liquid nitrogen spilled, litres						
		1	2	3	4	5	10	25
Ascenseur →	10	19.6	18.1	16.7	15.3	13.8	6.7	
	25	20.4	19.9	19.3	18.7	18.1	15.3	
	50	20.7	20.4	20.1	19.9	19.6	18.1	
	75	20.8	20.6	20.4	20.2	20.0	19.1	16.2
Bureau →	100	20.9	20.7	20.6	20.4	20.3	19.6	17.4

Typiquement, un laboratoire possède un volume de 250 à 500 m<sup>3</sup>.



## Risque d'asphyxie causé par le déplacement d'oxygène

Un détecteur de niveau d'oxygène est présent dans plusieurs laboratoires ainsi que dans les locaux contenant les grappes de bouteilles de récupération d'hélium gazeux. Si l'alarme sonore se déclenche, quitter le local et contacter la sécurité. **(Urgence 811)**



Les locaux plus récents ont une alarme directement reliée à la centrale de sécurité.

Ne jamais pénétrer dans un local où l'alarme sonore retentit.



ATTENTION : Certains laboratoires de recherche (ancienne partie du D2) ne possèdent pas de détecteurs de niveau d'oxygène et ils ne sont pas ventilés. Une attention particulière est de mise dans ces locaux.



## Risque de gelures

Une exposition prolongée de la peau à un cryogène ou le contact avec des surfaces froides peut causer des gelures. La peau a alors une couleur jaunâtre et cireuse. L'absence de douleur initiale est suivie par des douleurs intenses lors du dégel des tissus. Attention à vos yeux, les équipements de protection sont obligatoires pour tout type de manipulation de liquides cryogéniques.



Évitez les bijoux (bagues, bracelets, montres).  
Portez des vêtements longs et des chaussures fermées.  
Les lunettes de protection sont indispensables.

L'azote liquide peut être utilisée pour des expériences culinaires. Ne pas ingérer d'azote liquide, cela causerait de graves blessures.



## En cas de gelures : premiers soins

- Retirer tous les vêtements pouvant ralentir la circulation dans la zone gelée.
- Mettre de l'eau tiède. Ne jamais mettre de chaleur sèche.
- Ne jamais tenter de dégeler trop rapidement.
- Ne pas froter car on peut abimer davantage les tissus.
  
- Si les yeux sont touchés, les rincer abondamment avec de l'eau tiède (15 minutes).
  
- Les tissus gelés sont indolores et ont une couleur cireuse jaune. Le dégel peut prendre de 15 à 60 minutes et doit se poursuivre tant que la peau, de couleur bleue, ne vire pas au rose ou au rouge. Le médecin peut administrer de la morphine ou des tranquillisants pour aider à supporter la douleur.
  
- Si la zone atteinte dégèle avant l'arrivée chez le médecin, la couvrir de pansements stériles et secs et d'une couverture de protection grande et épaisse.
  
- Interdire les boissons alcoolisées et le tabac qui diminuent la circulation sanguine vers les tissus gelés. Vous pouvez donner des boissons et de la nourriture chaude.



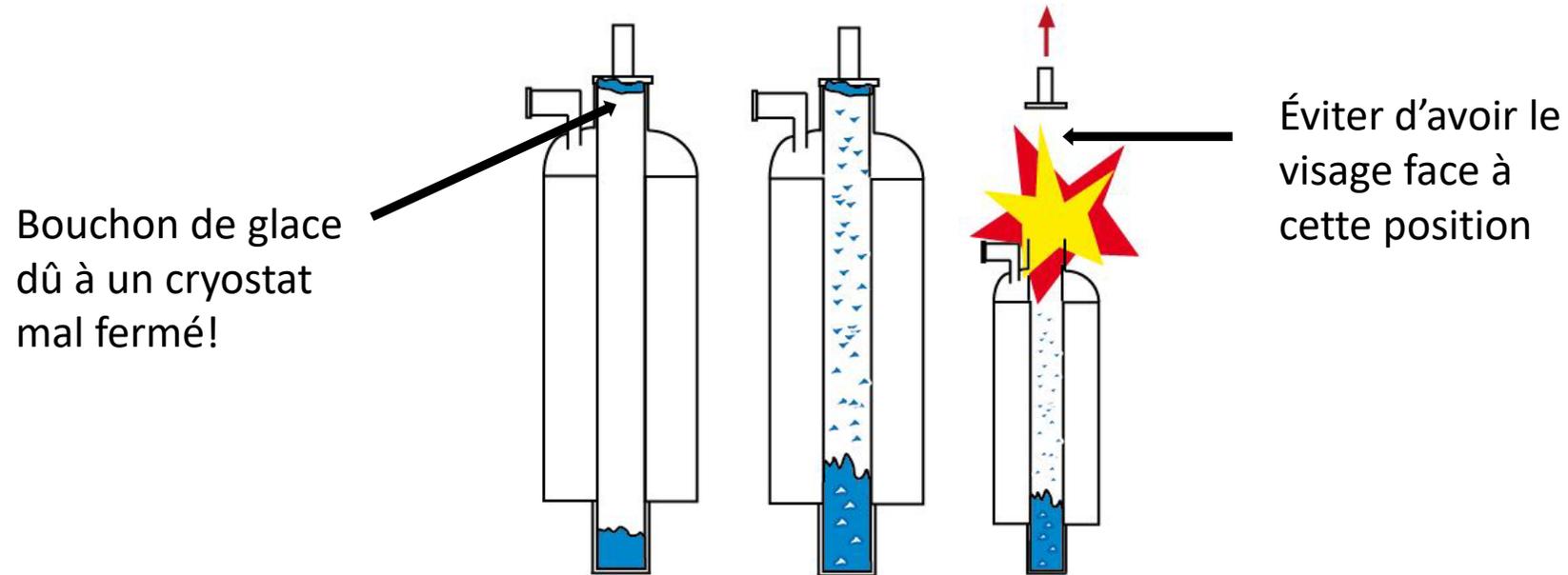
## Risque de formation d'oxygène liquide

- Lors du remplissage d'un contenant d'azote liquide à partir d'un contenant pressurisé, il y a généralement condensation d'oxygène liquide sur les parties métalliques très froides.
- Éviter toute flamme.
- L'oxygène réagit très fortement (risque d'explosion) avec l'huile ou la graisse. Ne jamais utiliser de graisse pour les raccords sur les bouteilles de liquides cryogéniques.



## Risque d'explosion

- Défaillance du limiteur de pression
- Incendie extérieur
- Perte soudaine du vide d'isolation (disque de rupture devrait fonctionner mais...)



Si le col d'un contenant est bloqué par de la glace, adressez-vous à un responsable de la cryogénie.



## Risque d'explosion

Un contenant qui  
explose peut détruire  
un mur de blocs de  
béton...

Explosion d'un contenant pressurisé d'azote liquide au  
département de chimie dans les années 90.



## Risque d'explosion

- Un léger sifflement d'un contenant d'azote pressurisé est normal.
- Si le contenant est glacé sur une grande surface, c'est anormal. Le vide d'isolation n'est plus adéquat.
- Si la valve de ventilation siffle bruyamment en permanence, elle est sûrement endommagée.
- Si la pression d'un réservoir d'azote liquide est bien supérieure à 20 psi, il y a peut-être un problème avec la valve de surpression.
- Les contenants d'hélium liquide devaient toujours être raccordés au système de récupération, la pression devrait être légèrement supérieure à la pression atmosphérique.

En cas de doute, contacter un responsable de la cryogénie immédiatement.

- Ne pas laisser les contenants dans les corridors.
- **Dans les laboratoires, placez-les loin des gens qui y travaillent.**



## Équipements de protection

- pour contenants pressurisés :



- pour contenants non-pressurisés :



- porter des pantalons longs  
- souliers fermés aux deux bouts.



## Conception de montages cryogéniques

Une évaluation des risques doit être remplie et signée par le chercheur responsable lors de la conception de nouveaux montages cryogéniques.

(document de référence disponible au <https://www.physique.usherbrooke.ca/securite/>)

- Tout système à vide (isolation thermique) ou sous pression utilisé en cryogénie devrait comporter des soupapes de sécurité à la fois sur le compartiment de vide et sur le compartiment pressurisé.
- Lors de la conception, penser à la direction que pourraient prendre les pièces les plus mobiles lors d'une explosion accidentelle.
- Penser aux matériaux à utiliser et valider leur compatibilité avec le froid extrême.
- Faites approuver votre montage par l'équipe technique et professionnelle.



## Démonstrations devant public



- Porter des lunettes de sécurité.
- Il est difficile de manipuler le train avec des gants mais prenez soin d'enlever la montre et les bagues.
- Porter des souliers fermés et des pantalons longs.
- Demander aux gens de garder une bonne distance pour ne pas les éclabousser (surtout les enfants).
- Ne jamais les laisser manipuler (azote, train, pastille supra, etc...)
- Ne jamais les laisser s'approcher trop près des aimants au néodyme.
- Ne pas casser d'objets gelés (risque important pour les yeux)



## Méthodes de travail

- Placer les contenants loin des gens et bureaux dans les laboratoires.
- Connaitre l'emplacement des douches de sécurité et bassins oculaires.
- Éviter de travailler seul (surtout les soirs et les fins de semaines).
- Revêtir l'équipement de protection nécessaire.
- Ne pas se tenir dans le nuage de condensation produit lors d'un transfert.
- Ne pas se tenir face à la soupape de sécurité qui se déclenche lors d'un possible « Quench » d'une bobine supra.
- Garder son visage hors de portée des pièces qui pourraient être éjectées.
- Utiliser des pinces ou des gants de cryogénie pour manipuler les objets qui ont été en contact avec des liquides cryogéniques.
- Ne pas verser de liquides cryogéniques dans l'évier.
- Éviter d'utiliser des matériaux qui deviennent cassants.
- Éviter l'humidité car de la glace peut se former et briser des raccords.
- Limiter l'accès aux lieux d'entreposage.



## En conclusion

- Être conscient de son environnement afin de détecter un problème.
- Utiliser l'équipement de protection adéquat.
- En cas d'urgence, composez le **811**.
- En cas de doute, demandez l'aide d'un professionnel.

Bon refroidissement!



## Utilisation de gaz comprimés

- Vous devez faire une analyse de risques avec le personnel technique du laboratoire afin d'utiliser des gaz qui ne sont pas inertes.



## Avant d'utiliser une bouteille de gaz comprimé

- La bouteille doit être fixée à un mur ou autre emplacement solide.
- Le chapeau protecteur du robinet de la bouteille peut alors être retiré manuellement.
- Ne jamais introduire un outil dans le chapeau pour le dévisser.
- Demander l'aide du service technique dans le cas d'un chapeau bloqué.
- Ne jamais ouvrir le robinet d'une bouteille sans détendeur.
- Un détendeur compatible doit être adéquatement fixé à la bouteille (sans aucune graisse ou téflon).
- Ne jamais modifier ou tenter d'adapter un détendeur.

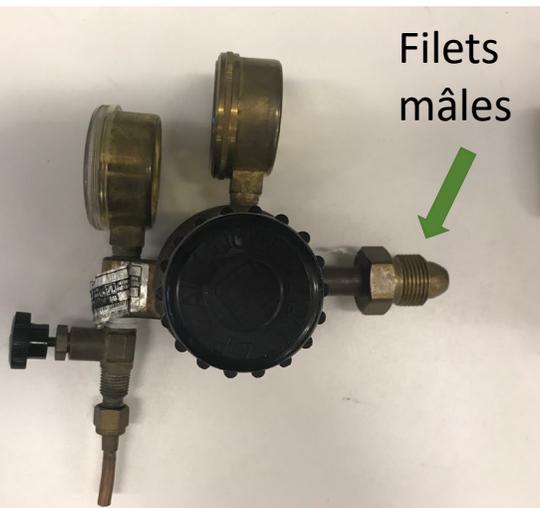


## Bouteilles et raccords

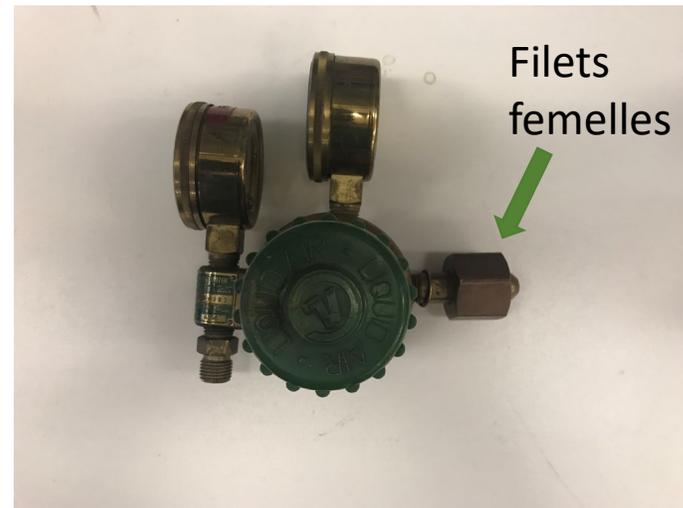
Les bouteilles de gaz comprimés ne doivent être raccordées qu'à des manodétendeurs et de l'équipement conçus pour le gaz contenu dans la bouteille.

- Les détendeurs pour les gaz inertes ( $N_2$ , Ar, He) sont tous identiques.
- L'oxygène et l'hydrogène par exemple, nécessitent un détendeur spécial.

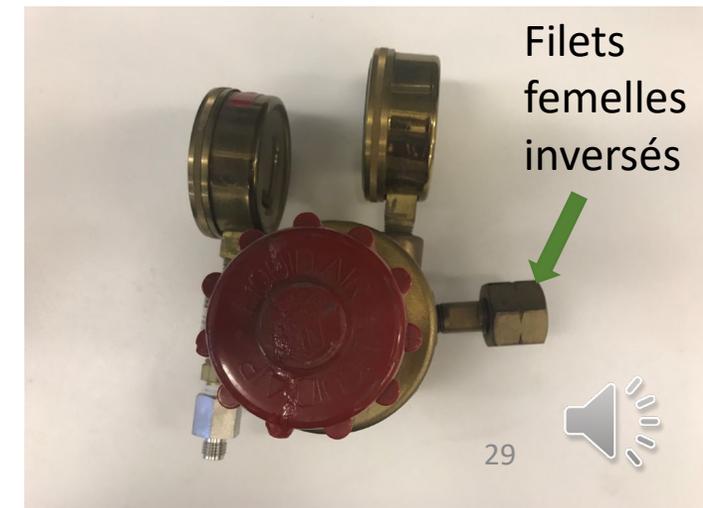
Détendeur pour gaz inerte ( $N_2$ , Ar, He).



Détendeur pour oxygène ( $O_2$ ).



Détendeur pour hydrogène ( $H_2$ ).



## Le détendeur

- Le détendeur possède deux manomètres : un indiquant la pression dans la bouteille et l'autre indiquant la pression de sortie.
- Il possède aussi un volant de contrôle qui permet de régler la pression de sortie désirée.
- Généralement, on retrouve aussi une valve de sortie permettant d'ouvrir ou de bloquer la sortie du gaz.



Les lunettes de sécurité sont obligatoires lors de la manipulation de gaz comprimés.

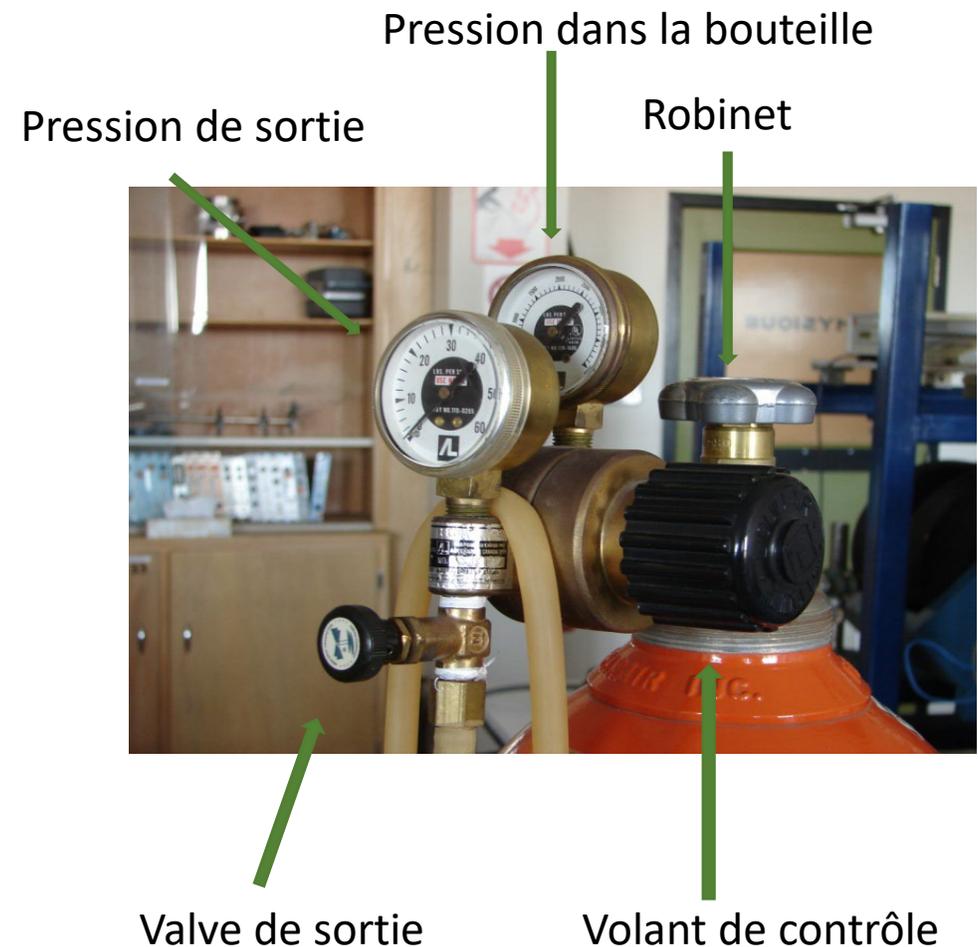


## Mode d'opération

- Fermer le détendeur en dévissant son volant de contrôle
- Ouvrir le robinet (3/4 de tour pour les gaz inertes) (complètement pour l'oxygène) et informez-vous pour les autres gaz.
- Ouvrir le détendeur pour obtenir la pression voulue (en vissant le volant de contrôle).
- Ouvrir la valve de sortie qui donne sur votre système.

### Pour arrêter l'utilisation :

- Fermer le robinet de la bouteille, cela permet d'évacuer la pression dans le détendeur.
- Fermer le détendeur en dévissant son volant de contrôle.
- Fermer ensuite la valve menant à votre système.



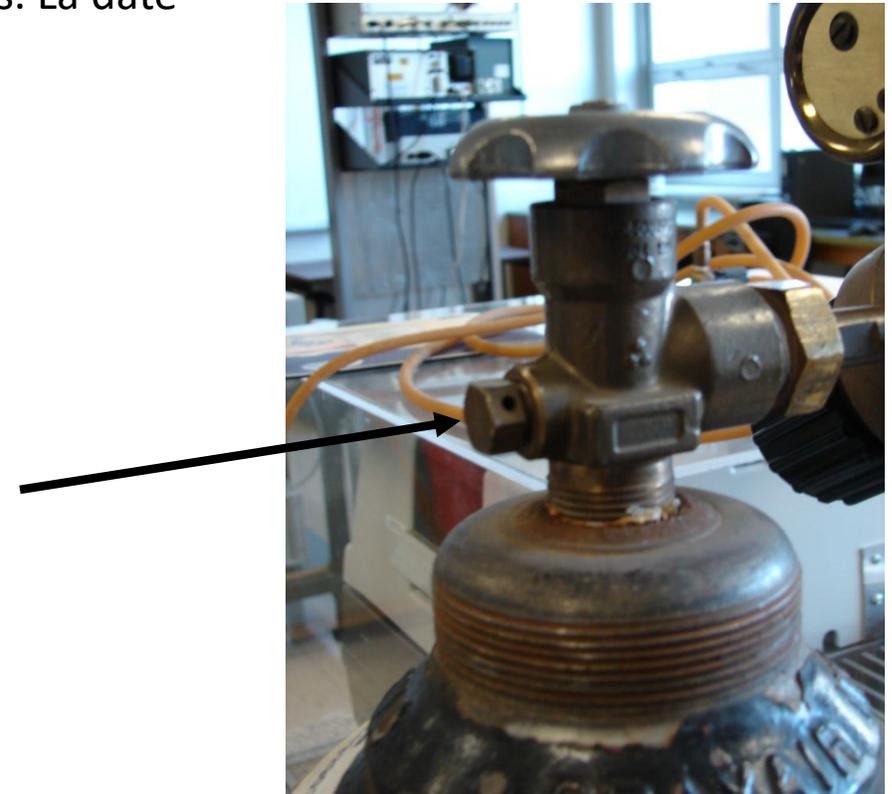
## Dispositifs de sécurité

- Les bouteilles doivent être testées ou inspectées tous les 5 ou 10 ans. La date de chaque essai doit être gravée sur la bouteille.

**Soupapes de sureté ou de décharge** : elles sont normalement maintenues fermées grâce à un ressort.

**Disques de rupture** (aussi connu sous le nom d'opercule ou de disque cassable, ou d'éclatement). En général, ces disques sont en métal. Ils éclatent ou se brisent à une certaine pression, libérant le gaz contenu dans la bouteille.

**Bouchons fusibles** : la température et non pas la pression est le facteur déclencheur dans ce cas.



## Bonne ventilation

- Certains gaz, comme le fluor, nécessitent une ventilation en permanence.
- Leur bouteille est généralement enfermée dans un cabinet ventilé continuellement sur le toit de l'immeuble.
- Toutes les manipulations (installation du détendeur et raccordement au montage) ne doivent être effectuées que par un technicien qualifié.
- Un détecteur de gaz et une alarme sont aussi présents dans le local d'utilisation.
- Pour les gaz inertes, simplement éviter les espaces clos.



## Entreposage (personnel technique seulement)

- Toujours fermer le robinet de la bouteille avant de retirer le détendeur et de remettre le chapeau.
- Ne pas mélanger les différents types de gaz.
- Les oxydants doivent se trouver à plus de 6 mètres des autres gaz ou matières combustibles.
- On doit remettre le chapeau sur une bouteille lorsqu'elle n'est plus utilisée.
- Les bouteilles ne doivent pas se trouver près d'un panneau électrique.
- Une chaîne de protection doit empêcher les bouteilles de tomber.
- Séparer les bouteilles vides des pleines.
- Éviter de vider complètement une bouteille (laisser une pression d'environ 20 psi).
- Lorsque non utilisés, les bouteilles d'oxygène doivent être entreposées dehors (demander l'aide du personnel technique).



## Transport des bouteilles de gaz

- Un seul charriot permet de transporter les bouteilles, il est disponible au local où se trouve le liquéfacteur d'hélium.
- La bouteille doit être munie de son chapeau pour être transportée. Elle doit aussi être attachée solidement sur le charriot.
- Les bouteilles doivent voyager seules dans les ascenseurs.



## Bonnes pratiques

- Porter des lunettes de sécurité.
- Ne jamais rien déposer sur le robinet d'une bouteille (vêtements, etc.).
- Enlever le chapeau de la bouteille uniquement si elle est bien fixée.
- Ne jamais forcer un robinet (contacter l'équipe technique).
- Laisser refroidir lentement une bouteille gelée ou très froide avant de l'utiliser.
- Ouvrir le robinet de trois quart de tour, cela permet de la refermer rapidement au besoin.
- Fermer le robinet de la bouteille si elle n'est pas utilisée.
- Si vous utilisez un gaz sur une longue période, apposer une affiche sur laquelle on peut lire qu'une ligne de gaz fonctionne et que c'est normal.

Espaces clos (à éviter)



## Ressources d'aide et premiers soins

Pour toutes urgences, signaler le **811** sur le campus ou le 819-780-0811 sur votre cellulaire. Une application Sécurité Uds est également disponible.

Pour toutes questions concernant la sécurité, la manipulation ou les premiers soins par rapport aux liquides cryogéniques et aux gaz comprimés, contacter :

- Le cryoteam, [cryoteam@usherbrooke.ca](mailto:cryoteam@usherbrooke.ca)
- Le SSMTE, [info.sst@USherbrooke.ca](mailto:info.sst@USherbrooke.ca)
- La sécurité de L'Uds : **811**

Pour toutes informations supplémentaires, vous pouvez vous rendre au :

<https://www.physique.usherbrooke.ca/securite/>



Compléter l'examen sur Moodle pour obtenir votre autorisation  
de travailler avec des liquides cryogéniques et des gaz comprimés.

