



La république algérienne démocratique populaire.
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique.
Université Akli Mohand oulhadj Bouira
Institut de Technologie.
Département Technologie chimique industrielle
Mémoire de fin de cycle

Thème :

Production des gaz médicaux et contrôle qualité.

Réalisé par :

DEKIOUS Fatima Noria.

DIFLI Ines-Mama.

Dirigé par :

Mme L. Moulahcene



Année Universitaire 2023/2024

Remerciement :

Nous exprimons notre gratitude envers Dieu pour nous avoir accordé le courage, la volonté et la patience nécessaires pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier chaleureusement notre promoteur, M., pour son soutien constant, son ouverture d'esprit, ses conseils avisés, son temps précieux, sa patience et ses remarques objectives. Nos échanges et nos discussions ont sérieusement enrichi notre vision de l'avenir dans le domaine de la recherche.

Un grand merci également à Mme L.Moulahten, notre encadreur, pour sa confiance en nous et pour nous avoir offert l'opportunité de vivre cette expérience professionnelle, ainsi que pour ses explications, ses conseils et son orientation.

Nous exprimons notre reconnaissance à tous les employés de Rayanox pour leur compréhension, leur patience, leurs encouragements et leurs explications, en particulier à Mlle Sara et Mr Fouad, ainsi qu'à Mme Asma et M. Tazi, et à toutes les personnes que nous n'avons pas citées.

Nos remerciements vont également à tous les membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail et nous ont honorés de leur présence.

Nous saisissons cette occasion pour exprimer notre gratitude envers tous nos enseignants pour leurs sacrifices. Aucun mot ne peut véritablement exprimer notre reconnaissance et notre gratitude envers vous.

Nous remercions vivement l'ensemble du personnel du département de Génie de la formulation, en particulier M.boudjada, pour son soutien et ses encouragements.

Enfin, nous tenons à remercier nos parents, nos frères et sœurs pour leur soutien constant. Un grand merci également à tous nos amis.



Dédicace 1 :

Je dédie ce travail

À ma mère pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices ;

À mon père pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'a accordé ;

A mon frère, qui m'a chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours ;

A mon encadreur" qui nous a soutenus et a été une véritable source d'inspiration. Nous lui sommes reconnaissants de nous accompagner constamment, de sa patience et de ne jamais nous abandonner lorsque nous avons besoin d'elle."

À ma famille, mes proches Malak, Nour et Halima et à ce qui me donnent de l'amour et de la vivacité ; À tous mes amis et à qui je souhaite plus de succès Et à tous ceux qui m'aiment ...

Ines

Dédicace 2 :

À mes parents, qui ont planté la graine du savoir dans mon esprit et l'ont nourrie. À ma mère et mon père, qui n'ont jamais cessé de croire en moi, qui m'ont toujours rappelé que les mots ont le pouvoir de changer le monde et qui m'ont donné le don de rêver et la capacité de les réaliser.

À mes petites sœurs Houda et Noura qui remplissent mon cœur de joie chaque jour, qui sont mon cœur vivant en dehors de mon corps.

À mon frère Chemsou qui me pousse toujours à viser les étoiles, mon plus grand soutien.

À mon meilleur ami Malek, Ines et Halima qui connaissent les chapitres que j'ai laissés non-dits, qui m'ont appris le vrai sens de l'amitié.

À mon encadreur, pour tous ses précieux conseils, pour mener à bien ce mémoire. nous n'aurions pas tant réussi si nous n'avions pas reçu ses conseils, ainsi que sa force de persuasion

À mon binôme Ines. Qui a marché chaque étape de ce voyage avec moi.

À ceux dont la présence dans ma vie a été bénie, et dont le rire magnifique a rempli ma vie "Yahya et Ahmed". Pour les amis qui sont devenus famille. À ces rares et belles amitiés qui changent nos vies pour toujours.

En souvenir affectueux de mon grand-père, dont les histoires vivent dans ces pages.

À ma grand-mère, qui vit maintenant dans les étoiles. Que ce conte vous atteigne.

À celui qui lit ceci, puissiez-vous trouver le courage, la joie et l'amour contenus dans ces pages

Nour

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
Chapitre I : Partie théorique	3
I. Introduction sur l'entreprise Rayanox :	4
I.1. Situation géographique :	5
I.2. Les produits de Rayanox :	5
I.3. La capacité de production et distribution :	5
I.4. Hygiène et sécurité industrielle :	6
II. L'oxygène médicinal :	8
II.1 Qu'est-ce que l'oxygène médicinal :	8
II.2. Historique :	8
II.3. Les formes de l'oxygène médical :	9
II.4. Les propriétés physico-chimiques :	9
II.5. Sécurité :	10
II.6. L'oxygène médicinal et l'environnement :	10
III. Le protoxyde d'azote :	10
III.1 Qu'est-ce que le protoxyde d'azote :	10
III.2. Historique :	11
III.3. Propriétés physico-chimique :	11
III.4. Classification :	12
III.5. Usage :	12
III. 6. Sécurité et environnement :	13
IV. Argon médicinal :	13
IV .1. Qu'est-ce que l'argon :	13
IV.2. Historique :	13
IV.3. Formes :	13
IV.4. Propriétés physico-chimique :	13
IV.5. Usage :	15
IV.6. Sécurité et environnement :	15
V. Le Dioxyde de carbone :	16
V.1. Qu'est-ce que Le dioxyde de carbone :	16
V.2. Historique :	16
V.3. Formes :	16

V.4. Propriétés physico-chimiques :	17
V.5. Usages :	17
V.6. Sécurité et environnement :	18
Chapitre II : Processus de fabrication Des gaz médicaux	19
I. Introduction :	20
II. Processus de fabrication d'oxygène, argon et azote médicaux (Air séparation unit) :.	20
II.1. Filtration d'air :	21
II.2. Compression d'air.....	25
II.3. Pré-refroidissement.....	26
II.4. Epuration :	27
II.5. Distillation :	27
III. Processus de fabrication de protoxyde d'azote N ₂ O :	30
III.1. Bassin :	30
III.2. Réacteur :	30
III.3. Contrôle de la réaction :	30
II.4. Condenseur et refroidisseur :	31
III.5. Groupe de purification :	32
III.6. Compresseur :	32
III.7. Séchage :	32
III.8. Liquéfacteur :	33
III.9. Groupe de réservoir de stockage :	33
II.10. Groupe de remplissage :	33
IV. Processus de fabrication du dioxyde de Carbone :	34
IV .1. Phase d'absorption :	34
IV.2. Phase de régénération :	34
V. Contrôle qualité de produit fini :	35
V.1. Analyse de l'oxygène :	35
V.2. Analyse de protoxyde d'azote	36
V. Interprétation :	37

CONCLUSION

BIBLIOGRAPHIQUE

ANNEXE

Liste des figures

Figure I.1 : Société Rayanox.....	04
Figure. I.2: L'unité de séparation Rayanox.....	05
Figure I.3 : Canalisation du dioxygène médical	06
Figure I.4 : Les risques liés aux gaz comburants.....	06
Figure I.5: Le triangle de feu.....	06
Figure I.6: Hygiène et sécurité industrielle.....	07
Figure I.7: Sécurité des bouteilles en véhicule bien ventilé.....	07
Figure I.8: Sécurité des bouteilles en véhicule lorsqu'elles sont vides.....	08
Figure I.9 : Formule chimique de l'oxygène (shutterstock).....	09
Figure I.10 : Formule chimique de protoxyde d'azote (chéméo).....	11
Figure I.11: Structure moléculaire d'argon (socratic.org)	14
Figure I.12 : Structure en 3D d'argon	14
Figure I.13 : Représentation de Lewis de dioxyde de carbon.....	17
Figure II.1: Unité de séparation d'air de Rayanox.....	21
Figure II.2 : Efficacité de la filtration en fonction du diamètre.....	23
Figure II.4 : Illustration de la filtration d'air.....	23
Figure II.5 : Illustration du tamisage.....	24
Figure II.6 : Illustration de filtration inertie.....	24
Figure II.7 : Illustration de filtration par interception.....	25
Figure II.8: Illustration de filtration par diffusion.....	25
Figure II.9 : Schéma de fonctionnement d'unité de séparation d'air	29
Figure II.10 : Distillation cryogénique de l'air.....	29

Liste des tableaux

Tableau II.1 : La qualité d'air comprimé	26
Tableau II.2 : Propriétés de quelque fluides cryogéniques	28
Tableau II.3 : Analyse de la bouteille B50 d'O ₂ médical	36
Tableau II.4 : Analyse de N ₂ O n° LOT N ₂ O.....	37

Liste des abréviations

<i>Abréviation</i>	
O ₂	Oxygène
N ₂	Azote
N ₂ O	Le protoxyde d'azote
CO ₂	Le dioxyde de Carbone
NO _x	Les oxydes d'azote
SO ₂	Le dioxyde de soufre
HAP	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques
COV	Les composés organiques volatiles
Ar	Argon
NH ₄ H ₂ PO ₄	Phosphate d'ammonium
CO	Monoxyde de carbone
NaOH	La soude caustique
H ₂ SO ₄	L'acide sulfurique
T	Température
P	Pression
ASU	Air Separation Unit.
Z	Facteur de compressibilité

Résumé :

Les gaz médicaux sont indispensables en anesthésie, en soins intensifs et en thérapie respiratoire. Ils servent à traiter divers troubles respiratoires, à administrer une anesthésie générale et à soutenir les fonctions vitales des patients. Parmi les principaux gaz utilisés figurent le dioxygène, le protoxyde d'azote, l'argon et le dioxyde de carbone.

Ces gaz peuvent être obtenus par synthèse chimique ou extraits de sources naturelles, puis purifiés si nécessaire. Les procédés de fabrication doivent respecter les bonnes pratiques de fabrication (BPF) pour garantir leur qualité.

Les gaz médicaux sont disponibles sous forme comprimée ou liquide et nécessitent des équipements spécifiques pour leur stockage, distribution et administration. Des normes strictes de sécurité et de pureté sont appliquées pour garantir l'efficacité et la sécurité des traitements. Leur utilisation exige une formation spécialisée du personnel médical afin de minimiser les risques associés à leur administration.

Mots clés : gaz médicaux, anesthésie, soin intensif, thérapie, dioxygène, dioxyde de carbone, protoxyde d'azote, l'argon.

ملخص:

تعد الغازات الطبية ضرورية في مجال التخدير، والعناية المركزة، والعلاج التنفسي. تُستخدم لعلاج مختلف الاضطرابات التنفسية، وتقديم التخدير العام، ودعم الوظائف الحيوية للمرضى. من بين الغازات الرئيسية المستخدمة نجد الأكسجين، وأكسيد النيتروجين، والأرجون، وثاني أكسيد الكربون.

يمكن الحصول على هذه الغازات من خلال تفاعلات كيميائية أو استخراجها من مصادر طبيعية، ثم تنقيتها. يجب أن تلتزم عمليات التصنيع بممارسات التصنيع الجيدة لضمان جودتها.

تتوفر الغازات الطبية في شكل مضغوط أو سائل، وتحتاج إلى معدات خاصة للتخزين، والتوزيع، والإدارة. تُطبق معايير صارمة للسلامة والنقاء لضمان فعالية وسلامة العلاجات. يتطلب استخدام هذه الغازات تدريبًا متخصصًا للعاملين الطبيين لتقليل المخاطر المرتبطة باستخدامها.

كلمات مفتاحية: غاز طبي، تخدير، العناية المركزة، العلاج التنفسي، الأكسجين، ثنائي أكسيد الكربون، أكسيد النيتروجين، الأرجون .

Abstract:

Medical gases are essential in anesthesia, critical care, and respiratory therapy. They are used to treat various respiratory disorders, provide general anesthesia, and support the vital functions of patients. The main gases used include oxygen, nitrous oxide, argon, and carbon dioxide.

These gases can be obtained through chemical synthesis or extracted from natural sources, then purified if necessary. Manufacturing processes must comply with Good Manufacturing Practices (GMP) to ensure their quality.

Medical gases are available in compressed or liquid form and require specialized equipment for storage, distribution, and administration. Strict safety and purity standards are applied to ensure the efficacy and safety of treatments. The use of these gases requires specialized training for healthcare workers to minimize associated risks.

Keywords: medical gas, anesthesia, critical care, respiratory therapy, oxygen, carbon dioxide, nitrogen oxide, argon.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

Introduction générale

En Algérie, la production des gaz médicaux est un aspect essentiel du secteur de la santé. Les gaz médicaux sont utilisés dans de nombreux domaines de la médecine, tels que l'anesthésie, l'oxygénothérapie et les procédures chirurgicales.

La production des gaz médicaux en Algérie repose sur des installations spécialisées qui fournissent une gamme de produits tels que l'oxygène médical, le protoxyde d'azote et l'argon. Ces installations sont soumises à des normes strictes en matière de qualité et d'hygiène pour garantir la sécurité et l'efficacité des produits.

Cette production est un secteur en pleine expansion, avec des investissements considérables dans la modernisation des infrastructures et l'acquisition d'équipements de pointe pour répondre aux besoins croissants de la population. La demande en oxygène médical a augmenté de manière significative en raison de la pandémie de COVID-19, ce qui a poussé les entreprises à accélérer leur production pour soutenir les efforts de santé publique.

Le gouvernement algérien a également pris des mesures pour encourager la production locale de gaz médicaux, en offrant des incitations fiscales et des subventions pour les entreprises investissant dans ce secteur. Les entreprises algériennes de production de gaz médicaux sont également engagées dans des partenariats avec des entreprises étrangères pour bénéficier de leur expertise et de leur technologie de pointe.

Ces efforts ont permis à l'Algérie de devenir un acteur majeur dans la production de gaz médicaux en Afrique, avec des capacités de production de plusieurs millions de litres par mois. Cela a non seulement amélioré l'accès aux soins de santé pour la population algérienne, mais a également contribué à renforcer la sécurité sanitaire de la région en réduisant la dépendance à l'importation de gaz médicaux.

En conclusion, la production des gaz médicaux en Algérie joue un rôle crucial dans le domaine de la santé. Grâce aux installations spécialisées et aux normes strictes qui régissent ce secteur, les professionnels de santé peuvent compter sur un approvisionnement fiable en gaz essentiels pour assurer les meilleurs soins possibles aux patients.

CHAPITRE I : PARTIE THEORIQUE

I. Introduction sur l'entreprise Rayanox :

Rayanox, une entreprise algérienne créée en 2011, spécialisée dans la production de gaz industriels, médicaux et agroalimentaires, est un acteur majeur dans le secteur gazier en Algérie. Avec des installations à Oran et d'autres régions, Rayanox s'est distingué par sa capacité à répondre à la demande croissante en oxygène médical, notamment pendant la pandémie de COVID-19. Fondée sur des principes d'innovation, de qualité et d'engagement, Rayanox s'efforce de fournir des solutions de gaz de haute qualité pour soutenir divers secteurs économiques, tout en investissant dans l'avenir pour maintenir sa croissance et sa rentabilité. Elle est la première unité en Algérie qui produit le gaz antalgique mélange 50/50 oxygène/proto qui est nommé Titinox dans les services pédiatriques ainsi que les voies centrales même chez les adultes pour les rééducations de fractures et les sutures ainsi que chez les chirurgiens dentiste en alternatif à l'anesthésie locale.



Figure I.1 : Société Rayanox.

L'entreprise est composée de :

- 1-L'unité de séparation de l'air ASU : pour la production des gaz de l'air en particulier l'oxygène avec une capacité de 100000 litres/jour de LOX ;
- 2-L'unité de production de protoxyde d'azote : avec une capacité de 2 tonnes/jour ;
- 3-L'unité de production de CO₂ : d'une capacité de 10 tonnes/jour ;
- 4-L'unité de production d'acétylène : d'une capacité de 1440kg/ jour ;
- 5-L'unité de remplissage : de bouteilles et de mélanges de gaz médicaux et industriels d'une capacité de remplissage de 5000 bouteilles par jour.



Figure. I.2 : L'unité de séparation de l'air à Rayanox.

I.1. Situation géographique :

Le siège social de Rayanox est situé à Oran, Algérie, au code postal 31 210. L'entreprise est particulièrement active dans la zone d'El Mouchir, notamment à Chehairia, lot 353, lot 07, Bethioua. Son engagement envers la qualité, l'innovation et la satisfaction des clients a fait de Rayanox un leader dans la production de gaz médicaux et industriels. Elle dessert divers secteurs économiques et répond aux besoins de ses clients. De plus, Rayanox a prouvé sa capacité à exporter des gaz, notamment de l'argon, démontrant ainsi son influence croissante sur le marché mondial.

I.2. Les produits de Rayanox :

Rayanox, dont le siège social est situé à Oran, en Algérie, propose une gamme de produits qui s'étend aux gaz industriels, notamment l'oxygène, l'azote et surtout l'argon. En tant que producteur de ce gaz rare et noble, Rayanox peut fournir de l'argon sous forme liquide et en bouteille, ainsi que d'autres gaz tels que le CO₂ et l'acétylène. Ces produits sont utilisés dans l'industrie sidérurgique et agro-alimentaire. L'entreprise se montre attentive aux besoins de ses clients et reste disponible pour toute demande concernant les gaz ou les outils d'utilisation associés. (Le tableau n°1 dans l'annexe de la page contient plus d'informations sur ces produits).

I.3. La capacité de production et distribution :

Le groupe Rayanox dispose d'importants moyens de production gaz sous forme comprimée ou sous forme liquide ainsi d'une logistique lui permettant d'assurer des livraisons rapides pour l'ensemble de ses clients.



Figure I.3 : canalisations du dioxygène médical.

I.4. Hygiène et sécurité industrielle :

Le produit comburant : est la substance nécessaire en vue de la combustion d'un autre produit

L'oxygène est un gaz comburant car il accélère vivement la combustion

Le triangle du feu :

C'est la représentation graphique des 3 conditions nécessaires pour démarrer un feu : substance combustible, substance comburante et énergie d'activation.

Les risques liés aux gaz comburants :

Gaz qui provoquent, favorisent et entretiennent l'inflammation de matières combustibles

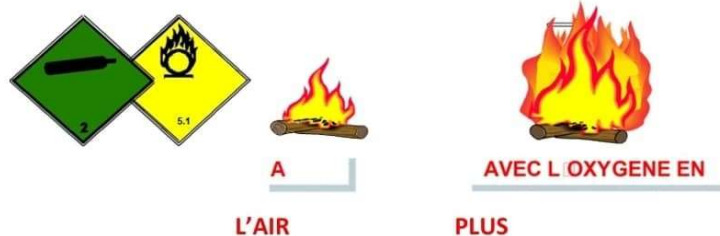


Figure I.4 : Les risques liés aux gaz comburants.

La combustion : combustion sera possible si réalisation du triangle de feu

- Pour qu'un feu puisse se déclarer, il faut que trois éléments soient réunis ;



Figure I.5 : Le triangle de feu

- Une source de chaleur pour l'amorcer ;
- Un combustible pour l'entretenir ;
- Un comburant pour l'activer.

→ Supprimer un seul de ces éléments suffit à empêcher le démarrage d'un feu ou à provoquer son extinction.

Consignes de sécurité pour l'utilisation de l'oxygène :

Interdiction formelle de contact entre l'oxygène et les matières combustibles : Il est impératif de ne jamais mettre l'oxygène en contact avec de l'huile, de la graisse, de l'asphalte ou du goudron.

Utilisation de produits non-gras pour les soins aux patients : N'appliquez pas de vaseline ni de pommades grasses sur le visage des patients lors des traitements à l'oxygène. Évitez également l'utilisation d'huile ou de graisse dans le cadre de l'oxygénothérapie ou de l'assistance respiratoire.

Manipulation du matériel avec propreté : Assurez-vous que vos mains sont propres et dépourvues de toute trace de graisse avant de manipuler tout équipement lié à l'oxygène.

Évitez les produits en aérosol et les solvants : N'utilisez pas de générateur d'aérosol (comme la laque ou le désodorisant) ni de solvant (alcool, essence) sur le matériel d'oxygène ou à proximité.



Figure I.6 : Hygiène et sécurité industrielle



Figure I.7 : Sécurité des bouteilles en véhicule bien ventilé

Consignes pour le transport sécurisé des bouteilles de gaz

Utilisez un véhicule bien ventilé pour le transport des bouteilles de gaz.

Évitez de stocker les bouteilles dans le coffre ou dans tout autre espace clos et non ventilé.

Protégez les bouteilles de l'exposition directe au soleil. Ne laissez jamais des bouteilles dans un véhicule exposé au soleil.

Assurez-vous que les bouteilles sont correctement arrimées : En cas d'accident ou de mouvements brusques, une bouteille non sécurisée peut se transformer en un projectile extrêmement dangereux.

Gardez les bouteilles fermées, même lorsqu'elles sont vides : Même vide, une bouteille contient des résidus de gaz. Un robinet qui n'est pas complètement fermé peut laisser s'échapper du gaz, présentant un risque d'inflammabilité.



Figure I.8 : Sécurité des bouteilles en véhicule lorsqu'elles sont vides

II. L'oxygène médicinal :

II.1 Qu'est-ce que l'oxygène médicinal :

L'oxygène médicinal est un gaz utilisé à des fins médicales et est classé comme médicament autorisé à la mise sur le marché (AMM). Il se présente sous forme de dioxygène (O_2), qui est un élément essentiel de l'air, constituant environ 21% de sa composition.

Il est utilisé pour traiter ou soulager les conditions médicales qui nécessitent une augmentation de l'apport en oxygène dans le corps, telles que l'insuffisance respiratoire, les crises d'asthme sévères, ou après une intervention chirurgicale [1].

II.2. Historique :

L'histoire de l'oxygène médical commence avec Antoine Lavoisier au XVIIIe siècle, mais son utilisation répandue en médecine ne vient qu'au XIXe siècle. Des avancées comme la compréhension de la pression partielle par Fick et Bert et les contributions de Haldane ont jeté les bases de son utilisation thérapeutique. Pendant la Première Guerre mondiale, les besoins militaires ont stimulé le développement de techniques d'administration d'oxygène, et au XXe siècle, des interfaces modernes ont été conçues. Dans les années 1960, l'oxygène est devenu largement disponible dans les hôpitaux des pays industrialisés, utilisé pour traiter diverses conditions médicales [2].

II.3. Les formes de l'oxygène médical :

L'oxygène médical est disponible sous forme liquéfiée ou gazeuse pour répondre aux divers besoins des patients en oxygénothérapie. La forme liquéfiée est stockée dans des réservoirs fixes ou mobiles, permettant le remplissage de contenants plus petits pour une administration à domicile. En forme gazeuse, l'oxygène est conditionné sous haute pression dans des bouteilles de différentes capacités ou des cadres, équipés de manodétendeurs pour réguler l'administration. Soumis à des normes strictes de qualité et de sécurité, l'oxygène médical garantit la conformité aux standards pharmaceutiques les plus rigoureux, assurant ainsi son efficacité et contribuant au bien-être des patients [3].

II.4. Les propriétés physico-chimiques :

La molécule de dioxygène est composée de deux atomes d'oxygène liés par une double liaison covalente, où chaque atome partage deux paires d'électrons avec l'autre. Cette liaison confère au dioxygène sa structure linéaire distinctive [4].

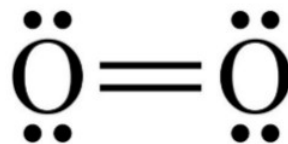


Figure I. 9 : Formule chimique de d'oxygène. (shutterstock).

Dans la molécule de dioxygène les deux atomes d'oxygène sont chimiquement liés dans un état triplet. Cette liaison, caractérisée par un ordre de 2, est souvent simplifiée par une liaison double ou par l'association d'une liaison à deux électrons et de deux liaisons à trois électrons. L'état triplet de l'oxygène est son état fondamental. La configuration électronique de la molécule présente deux électrons non appariés occupant deux orbitales moléculaires dégénérées [4].

- État physique : L'oxygène médicinal est un gaz incolore, inodore et insipide à température ambiante ;
- Densité : Sa densité est plus élevée que celle de l'air, ce qui signifie qu'il tend à s'accumuler près du sol ;
- Masse molaire : 31.99 g/ mol ;
- Point de fusion : -219°C ;
- Point d'ébullition : -183°C ;
- Masse volumique de la phase gazeuse à 1.013 bar et 15 °C, elle est égale à 4.475kg/m³;

- Chaleur latente de fusion : 13.9 kJ/kg ;
- Chaleur latente de vaporisation : 212.98 kJ/kg ;
- Température critique : -118.6 °C ;
- Pression critique : 50.43 bar [5].

II.5. Sécurité :

L'oxygène est un agent oxydant puissant et comburant, favorisant et accélérant la combustion en présence de combustibles et d'une source d'énergie. Il est crucial de le tenir éloigné de tout matériau combustible et de toute source de chaleur pour éviter les incendies violents, surtout à des taux élevés (> 21%). Conditionné sous haute pression, il peut provoquer des situations de surpression et même des "coups de feu" en cas de mauvaise utilisation. À très basse température, l'oxygène liquide peut causer des brûlures cryogéniques graves, nécessitant des mesures de protection appropriées lors de la manipulation [6, 7].

II.6. L'oxygène médicinal et l'environnement :

L'interaction entre l'utilisation de l'oxygène médicinal et l'environnement est un sujet de préoccupation croissante en santé environnementale. La production, la distribution et l'utilisation de l'oxygène médicinal peuvent avoir des répercussions environnementales, notamment en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution atmosphérique. Il est crucial que les entreprises adoptent des pratiques durables pour réduire leur empreinte environnementale. De plus, la gestion des déchets générés par l'utilisation de l'oxygène médicinal est essentielle pour minimiser son impact sur l'environnement. Enfin, la demande croissante en oxygène médicinal soulève des questions sur la durabilité des ressources en oxygène, nécessitant une gestion efficace pour garantir un approvisionnement continu tout en préservant l'environnement [1-4].

III. Le protoxyde d'azote :

III.1 Qu'est-ce que le protoxyde d'azote :

Le protoxyde d'azote, également connu sous le nom de gaz hilarant, est un composé chimique incolore de formule N_2O . Bien qu'il soit largement utilisé à des fins médicales, son utilisation détournée, notamment par des jeunes, présente des risques graves pour la santé, incluant des conséquences neurologiques sévères. Contenu dans des cartouches pour siphon à Chantilly ou des aérosols, son usage abusif peut avoir des effets nocifs sur les consommateurs [8,9].

III.2. Historique :

Le protoxyde d'azote a été synthétisé pour la première fois en 1772 par Joseph Priestley. En 1799, Humphry Davy découvrit ses propriétés analgésiques et euphorisantes lors d'une rage dentaire, popularisant ainsi son utilisation à des fins récréatives. L'inhalation de gaz hilarant devint un divertissement populaire à la fin du XVIIIe siècle et un élément courant des fêtes mondaines britanniques. En 1844, Horace Wells utilisa le gaz pour la première anesthésie dentaire, marquant une avancée majeure en dentisterie. Au fil du temps, son utilisation s'est étendue à d'autres domaines médicaux, notamment en obstétrique avec les travaux de Stanislav Kličovitch en 1881. En France, le gaz a obtenu une autorisation médicale en 2001. Cependant, son mésusage récréatif, surtout depuis les années 1980, suscite des préoccupations croissantes en raison de ses dangers pour la santé [10].

III.3. Propriétés physico-chimique :

La structure moléculaire du protoxyde d'azote se compose de deux atomes d'azote reliés entre eux par une triple liaison, avec un atome d'oxygène lié par une simple liaison à l'un des atomes d'azote. Cette disposition est représentée dans la figure ci-dessous, où la molécule apparaît linéaire et dans un seul plan [10].



Figure I.10 : formule chimique de protoxyde d'azote (chéméo).

Malgré la grande différence d'électronégativité entre les atomes d'azote et d'oxygène, la molécule de protoxyde d'azote n'est pas fortement polaire. Cette caractéristique est illustrée dans la figure I.5, qui représente la structure de la molécule, avec l'atome d'oxygène en rouge, portant une charge négative, et les atomes d'azote en bleu, portant une charge positive. Cette disposition chimique confère une certaine stabilité physico-chimique et thermique à la molécule, ce qui en fait la forme oxydée de l'azote la moins réactive [11].

- Point de fusion : Le protoxyde d'azote 148.53 kJ/ Kg ;
- Point d'ébullition : Il bout à 376.14 kJ / kg ;
- Masse molaire :44.013g/mol ;
- Masse volumique : La masse volumique de protoxyde d'azote est 3.16 kg / ma ;

- Solubilité : L'azote est légèrement soluble dans l'eau, mais sa solubilité dépend de la température et de la pression environnantes ;
- Inodore, incolore et insipide : Le protoxyde d'azote est un gaz sans couleur, sans odeur et sans goût ;
- Pression critique : 72.45 bar.
- Température critique : 36.4 °C [12].

III.4. Classification :

Le protoxyde d'azote est classé parmi les "inhalant", une catégorie de substances pharmacologiques facilement vaporisées. Cette classification est basée sur le mode d'administration plutôt que sur le mécanisme d'action, tel que défini dans le DSM-5 (*la cinquième et dernière édition du Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*) Une classification supplémentaire divise les inhalant en trois catégories, dont le protoxyde d'azote constitue une catégorie distincte. Les troubles liés à son utilisation sont classés dans la catégorie des "troubles dus à une substance autre (ou inconnue)" et ne sont pas spécifiquement inclus dans les troubles associés à l'usage des inhalant [9_12].

III.5. Usage :

- **Utilisation médicale :**

Le protoxyde d'azote est largement utilisé en médecine pour ses propriétés analgésiques et anesthésiantes, administré par inhalation. Ses principales applications incluent l'anesthésie générale, le soulagement de la douleur en obstétrique, et la gestion de la douleur et de la sédation en dentisterie et en médecine d'urgence. Il est également étudié dans d'autres domaines médicaux, notamment pour le sevrage alcoolique et en psychiatrie, où il montre un potentiel comme antidépresseur à action rapide pour les patients résistants aux traitements conventionnels. Des essais cliniques sont en cours pour évaluer ces applications élargies [14].

- **Usage non-médicale :**

En dehors du domaine médical, le protoxyde d'azote est utilisé dans divers secteurs. Dans l'industrie mécanique de précision, il sert au nettoyage de petites pièces, notamment dans l'horlogerie et la photographie. Dans les sports mécaniques, il est employé pour refroidir les moteurs à haut régime afin d'optimiser leur puissance. Dans les laboratoires, il agit comme agent comburant pour les flammes en spectrométrie d'absorption atomique. Dans l'industrie électronique, il intervient dans la fabrication de semi-conducteurs. Enfin, dans l'aérospatiale, il est utilisé comme comburant pour les moteurs de fusée [10_15].

III. 6. Sécurité et environnement :

Le protoxyde d'azote, ou oxyde nitreux, nécessite une gestion rigoureuse en raison de ses propriétés comburantes et de sa toxicité potentielle. Il est soumis à des réglementations strictes, notamment en ce qui concerne le stockage dans des conteneurs spécialisés et la traçabilité pharmaceutique. Son utilisation doit être supervisée par des professionnels de la santé, avec des précautions telles que la ventilation adéquate et la surveillance des signes vitaux du patient. Les autorités sanitaires recommandent l'établissement d'une valeur limite d'exposition professionnelle pour minimiser les risques pour la santé [16].

IV. Argon médicinal :

IV .1. Qu'est-ce que l'argon :

L'argon est le troisième gaz le plus abondant dans l'atmosphère terrestre après l'azote et l'oxygène, avec un pourcentage de 0,93 %. Principalement composé de l'isotope ^{40}Ar , il est également présent dans l'univers, notamment sous forme de l'isotope ^{36}Ar produit lors de la nucléosynthèse stellaire. Son nom, dérivé du grec signifiant "neutre", met en avant son caractère peu réactif. En tant que gaz rare, il est monoatomique, incolore, inodore et insipide, et présente une faible réactivité chimique dans des conditions normales [18].

IV.2. Historique :

L'argon a été découvert en 1894 par Lord Rayleigh et Sir William Ramsay. Son nom, dérivé du grec signifiant "neutre", reflète sa nature d'inertie. Utilisé principalement dans l'industrie et la médecine, notamment pour la coagulation dans les bistouris électriques à plasma d'argon, il est produit en grande quantité dans le monde par distillation fractionnée de l'air liquide. Conditionné sous forme gazeuse dans des bouteilles, nécessitant une manipulation par du personnel formé. Son utilisation en médecine se concentre sur la coagulation plasma [18].

IV.3. Formes :

Ce gaz médical pur est stocké sous forme gazeuse dans une bouteille en aluminium.

IV.4. Propriétés physico-chimique :

L'argon, un gaz noble, se compose d'atomes individuels non liés. Chaque atome d'argon possède 18 électrons répartis dans des couches ou niveaux d'énergie¹. Sa configuration électronique complète est $[\text{Ne}]3s^23p^6$, ce qui lui confère une stabilité exceptionnelle [19].

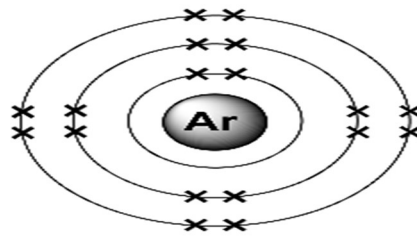


Figure I.11: Structure moléculaire d'argon (socratic.org).

L'atome d'argon possède une couche de valence complètement saturée en électrons, avec des sous-couches S et P pleinement remplies. Cette configuration le rend chimiquement inerte et extrêmement stable, ce qui signifie qu'il a une très faible propension à former des liaisons chimiques avec d'autres atomes [19].

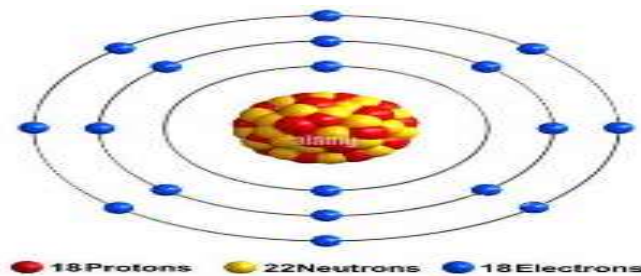


Figure I.12 : Structure en 3D d'argon (alamy).

Quelques propriétés physico-chimiques de l'argon :

- Gaz noble incolore, inodore et insipide ;
- Point de fusion à $-189,36^{\circ}\text{C}$;
- Point d'ébullition à $-185,85^{\circ}\text{C}$;
- Insoluble dans l'eau ;
- Extrêmement stable et inerte ;
- Ne forme généralement pas de composés chimiques avec d'autres éléments ;
- Ne réagit pas avec les acides, les bases ou les oxydants forts ;
- Réagit très rarement, généralement dans des conditions extrêmes ou en présence de catalyseurs spécifiques ;
- Utilisé principalement comme gaz de protection inerte pour divers procédés industriels [20].

IV.5. Usage :

L'argon trouve des applications diverses dans plusieurs domaines :

- **Industrie aéronautique et automobile** : Il est utilisé pour divers procédés tels que le soudage, le traitement thermique, ainsi que le gonflage des airbags automobiles ;
- **Industrie alimentaire** : Il est employé pour maintenir une atmosphère inerte lors de la production de vin et pour prolonger la durée de conservation des denrées alimentaires ;
- **Composants électroniques** : L'argon est essentiel dans les procédés de gravure par plasma, le dépôt physique en phase vapeur, ainsi que dans le tirage de lingots de silicium ;
- **Santé** : En médecine, l'argon médical est utilisé pour coaguler les tissus lors d'interventions chirurgicales, en générant un plasma d'argon, il est utilisé également pour diverses applications, notamment en chirurgie et en radiologie ;
- **Industrie du verre** : Il est utilisé pour améliorer l'isolation thermique des fenêtres à double vitrage et pour prévenir la corrosion des filaments de tungstène [21].

IV.6. Sécurité et environnement :

En ce qui concerne la sécurité, il est crucial de manipuler l'argon médical avec précaution pour éviter les risques d'incendie ou d'explosion. Voici quelques conseils de sécurité :

- **Manipulation prudente** : Lors de la manipulation de l'argon médical, il est important de suivre les procédures appropriées. Utilisez des équipements de protection individuelle tels que des gants et des lunettes de sécurité ;
- **Stockage sécurisé** : Les bouteilles d'argon médical doivent être stockées dans un endroit sûr et bien ventilé, à l'écart des sources d'inflammation telles que les flammes nues ou les produits chimiques inflammables ;
- **Surveillance régulière** : Il est recommandé de vérifier régulièrement l'état des bouteilles d'argon médical pour détecter toute fuite ou tout dommage éventuel ;
- **Formation du personnel** : Il est essentiel que le personnel travaillant avec l'argon médical soit correctement formé sur les dangers et sur la manière de l'utiliser en toute sécurité ;

En ce qui concerne l'environnement, il est également important de prendre certaines précautions lors de la manipulation et de l'élimination de l'argon médical :

- **Réduction des déchets** : Il est recommandé de minimiser la quantité d'argon médical utilisée afin de réduire la production de déchets inutiles ;
- **Recyclage approprié** : Lorsqu'une bouteille vide ou endommagée doit être éliminée, assurez-vous qu'elle est recyclée conformément aux réglementations locales sur le traitement des déchets dangereux ;

- Éviter les rejets dans l'environnement : Il est crucial d'éviter tout rejet accidentel ou intentionnel d'argon médical dans l'environnement pour prévenir toute pollution [17].

V. Le Dioxyde de carbone :

V.1. Qu'est-ce que Le dioxyde de carbone :

Le dioxyde de carbone également appelé gaz carbonique est un gaz naturellement présent dans l'atmosphère, c'est aussi le gaz à effet de serre le plus connu.

Le dioxyde de carbone est une molécule chimique formée d'un atome de carbone (C) et de deux atomes d'oxygène (O). Sa formule brute est CO_2 . Il est l'un des gaz à effet de serre les plus importants de notre atmosphère et sans doute le plus connu. Il joue un rôle essentiel dans le maintien de la température de la Terre, et se trouve au cœur de nombreux processus biologiques et industriels [23].

V.2. Historique :

Le CO_2 a été découvert au XVIIIe siècle par le physicien écossais Joseph Black, qui a observé son émission lors de la calcination de la craie. Il l'a initialement nommé "air fixe" ;

Antoine Lavoisier a ensuite démontré que le CO_2 est le produit de la combustion du carbone avec le dioxygène ;

En 1772, Joseph Priestley a créé de l'eau gazeuse en dissolvant du CO_2 dans l'eau, marquant une avancée dans la compréhension de ce gaz ;

Depuis la révolution industrielle, les activités humaines, notamment la combustion de combustibles fossiles, ont entraîné une augmentation significative des émissions de CO_2 dans l'atmosphère, contribuant au changement climatique ;

Des études récentes soulignent l'importance historique de ces émissions et la nécessité de les réduire pour limiter le réchauffement mondial [24].

V.3. Formes :

Les formes de dioxyde de carbone (CO_2) incluent sa présence sous forme gazeuse, solide et liquide. Le CO_2 est principalement gazeux, mais peut se trouver sous forme solide à des températures spécifiques. Il peut être solide à une température inférieure à $-78,5\text{ °C}$ et liquide à une pression minimale de 5,1 bar [25].

V.4. Propriétés physico-chimiques :

Le CO₂ est une molécule linéaire, avec un atome de carbone lié à deux atomes d'oxygène par des liaisons doubles (O=C=O). [26]

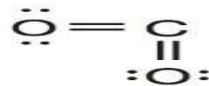


Figure I.13 : Représentation de Lewis de dioxyde de carbone.

C'est une molécule assez stable et relativement inerte chimiquement, représentant le degré ultime d'oxydation du carbone [26].

Quelques propriétés physicochimiques de dioxyde du carbone :

- Masse molaire : 44,01g/mol ;
- Point d'ébullition (sublimation) : -7805°C ;
- Masse volumique de la phase gazeuse à 1,013 bar et 15°C : 1,874 kg/m³ ;
- Masse volumique du gaz (1,013 bar au point de sublimation) : 2,814 kg/m³ ;
- Chaleur latente de fusion à 1,013 bar au point triple ; 196,108 kJ/kg ;
- Chaleur latente de vaporisation à 1,013 bar au point d'ébullition : 571.08 kJ/kg ;
- Température critique : 31°C ;
- Pression critique : 73,825 bar ;
- Facteur de compressibilité (Z) : 0.9942 ;
- Concentration dans l'air : 0,03% vol.

Le CO₂ est un gaz acide, légèrement soluble dans l'eau, formant de l'acide carbonique (H₂CO₃) qui se décompose facilement en H₂O et CO₂ [27].

V.5. Usages :

Le dioxyde de carbone trouve des applications diverses dans plusieurs domaines :

- Chimie analytique, spectroscopie d'adsorption atomique (AAS), mélange de gaz d'étalonnage, Oxydation par combustion, Contrôle des émissions ;
- Découpe et soudage des métaux, Affinage et exploitation minière des métaux, Mines et raffinage des métaux, Fibres optiques, Peintures, Contrôle du pH ;
- En santé : Le dioxyde de carbone médical est utilisé comme gaz d'insufflation et comme agent de refroidissement ;
- Il peut être utilisé comme gaz d'insufflation dans la chirurgie invasive minimale ;

- Il est également utilisé comme agent de congélation en cryochirurgie. Il s'agit de détruire les cellules par nécrose et Cryo destruction ;
- En alimentation : destiné à éteindre les feux de classe B et les feux électriques sans dégâts ;
- Dessalement de l'eau de mer : technique de l'osmose inverse ;
- Alimentaire et boissons : carbonations des boissons gazeuses, conditionnement des denrées alimentaires, refroidissement, congélation [28].

V.6. Sécurité et environnement :

Le dioxyde de carbone peut causer des risques pour la santé humaine et notamment pour l'environnement. On présente ci-dessous les principaux moyens de sécurité utilisés contre les risques liés au dioxyde de carbone :

- Assurer une ventilation adéquate des espaces fermés où le CO₂ est présent, afin d'éviter son accumulation et les risques d'asphyxie ;
- Porter des équipements de protection individuelle adaptés, comme des lunettes et des gants, lors de la manipulation de CO₂ ;
- Stocker le CO₂ dans des endroits bien ventilés et à l'écart de toute source de chaleur ou d'ignition ;
- Sensibilisation du personnel aux risques et aux mesures de prévention [29].

Chapitre II : Processus de fabrication Des gaz médicaux

I. Introduction :

La fabrication des gaz médicaux est vraiment un processus complexe. Ces gaz sont cruciaux pour notre santé pour traiter différentes maladies et servir lors de certaines procédures médicales.

Pour les fabriquer, Rayanox commence par choisir et obtenir des matières premières de très bonne qualité, spécialement pour un usage pharmaceutique. Ensuite, elles sont nettoyées et purifiées.

Ce processus de purification implique plusieurs étapes pour enlever toutes les impuretés et garantir une pureté maximale. On utilise des technologies avancées pour enlever toutes les choses indésirables des matières premières.

Quand le gaz est bien purifié, on le met dans des réservoirs spéciaux étiquetés qui respectent toutes les règles de sécurité.

Avant de les envoyer aux hôpitaux et autres endroits où on en a besoin, les gaz médicaux passent par plein de tests pour vérifier leur pureté et s'assurer qu'ils répondent aux normes internationales.

II. Processus de fabrication d'oxygène, argon et azote médicaux (Air séparation unit) :

Une unité cryogénique de séparation de l'air (ASU) est une installation industrielle qui utilise les caractéristiques uniques des principaux constituants de l'air pour produire de l'oxygène de haute pureté, de l'azote et parfois d'autres gaz comme l'argon. Elle repose sur la distillation fractionnée cryogénique, où les composants de l'air sont séparés par compression jusqu'à ce qu'ils se liquéfient à des températures très basses, puis par distillation sélective à leurs températures d'ébullition respectives. Ce processus énergivore est généralement utilisé dans des installations de taille moyenne à grande, avec des configurations adaptées à la pureté de l'oxygène et aux pressions de livraison nécessaires. Des techniciens qualifiés doivent être présents en permanence pour garantir le bon fonctionnement de l'usine.



Figure II.1: unité de séparation d'air de Rayanox.

On présente ci-dessous les étapes de la séparation d'air :

II.1. Filtration d'air :

- **Qu'est-ce que la filtration d'air :**

La filtration de l'air est un processus essentiel dans de nombreux domaines, y compris la fabrication des gaz médicaux. En effet, pour produire des gaz médicaux purs et exempts d'impuretés, il est nécessaire de filtrer l'air utilisé comme matière première.

Dans le contexte de la fabrication des gaz médicaux, l'air ambiant est généralement prélevé dans une zone spécifique dédiée à cet effet. Cet air est ensuite acheminé vers un système de filtration où il passe à travers plusieurs étapes pour éliminer les impuretés.

- **Différent types de polluants :**

- a. Les polluants primaires :**

Les substances présentes dans l'atmosphère, telles qu'elles sont émises, comprennent plusieurs polluants ayant une importance particulière, notamment :

- Le dioxyde de soufre (SO_2), émis par certains processus industriels et l'utilisation de combustibles fossiles soufrés, contribuant aux retombées acides.
- Les oxydes d'azote (NO_x), en particulier le dioxyde d'azote (NO_2), émis principalement par la combustion de combustibles fossiles, notamment par les véhicules, contribuant à la formation d'ozone atmosphérique.

- Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), émis par la combustion incomplète des fiouls ou des charbons, souvent liés aux particules et certains sont très cancérigènes.

- Les composés organiques volatils (COV), comprenant des hydrocarbures comme le benzène, le toluène et les xylènes, émis par diverses sources industrielles et véhiculaires, ainsi que le méthane, contribuant à l'effet de serre.

b. Les polluants secondaires :

Certaines substances atmosphériques sont des polluants secondaires, résultant de transformations chimiques dues à l'interaction de composés précurseurs :

- L'ozone, principal polluant secondaire, se forme par un processus photochimique en présence de certains polluants primaires tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les composés organiques volatils.

- L'acide sulfurique et l'acide nitrique se forment dans l'atmosphère sous l'effet de l'humidité à partir respectivement du dioxyde de soufre et des oxydes d'azote.

- Les polluants solides :

Les particules fines sont d'une importance sanitaire capitale car elles peuvent véhiculer d'autres substances telles que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) cancérigènes. C'est particulièrement préoccupant car les particules les plus fines (<1µm) peuvent s'accumuler dans les alvéoles pulmonaires et même pénétrer dans le sang. Les solutions efficaces pour lutter contre cette pollution particulaire sont bien identifiées, notamment par l'application de normes de filtration bien supérieures aux exigences légales en matière de sécurité au travail [30,31,32].

Différent types de filtre :

Chez RayanOx existe 03 gammes de filtres pour assurer une filtration efficace :

- Les filtres grossiers, également appelés préfiltres, éliminent les particules les plus grosses et servent souvent de première étape de traitement de l'air pour protéger les filtres plus sensibles. Ils sont désignés par la lettre G et filtrent jusqu'à 10 µm.

- Les filtres fins, anciennement appelés filtres Opacimétries, sont utilisés pour un traitement plus approfondi de l'air dans les bâtiments tertiaires et pour protéger les filtres absolus. Ils sont désignés par la lettre F et filtrent jusqu'à 0.1 µm.

- Les filtres absolus, désignés par les lettres E, H ou U, filtrent les particules jusqu'à 0.001 µm et sont utilisés pour des applications nécessitant une filtration très fine, telles que la filtration des fumées et des suies [33,34,35].

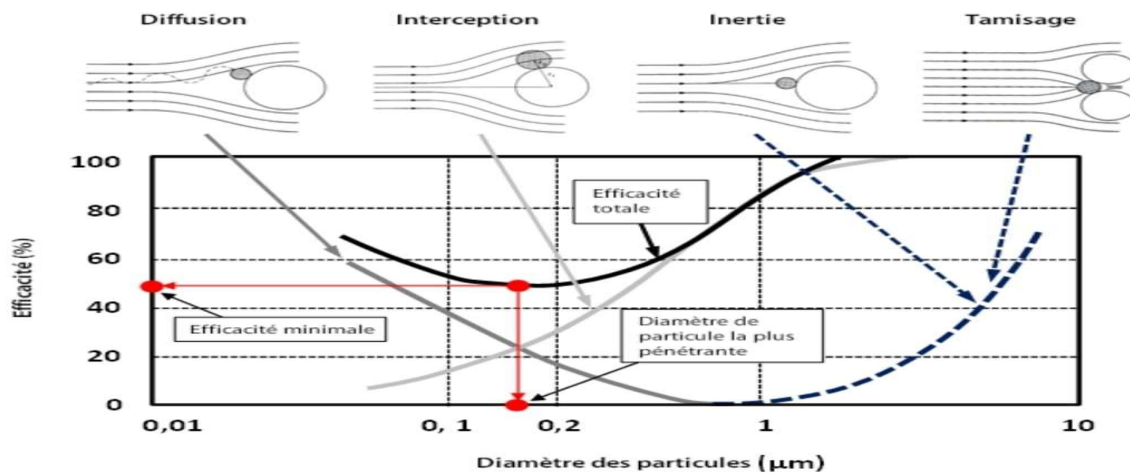


Figure II.2 : efficacité de la filtration en fonction du diamètre.

- **Comment ça marche la filtration ?**

La capacité d'un filtre à éliminer les particules de l'air repose principalement sur différents phénomènes physiques et mécaniques : le tamisage, l'inertie, l'interception et la diffusion. Pour illustrer ces effets, on peut supposer que les particules sont sphériques et que lorsqu'une particule entre en contact avec une fibre du filtre, elle est attirée par les forces de Van der Waal et y reste adhérente [33].

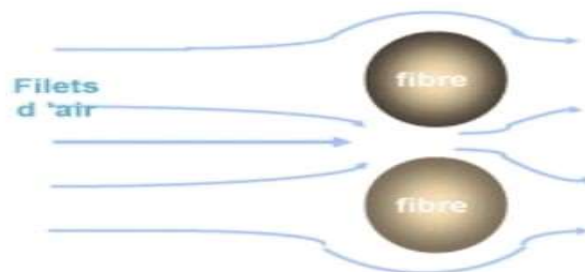


Figure II.4 : illustration de la filtration d'air.

- **Tamisage :**

Les particules dont le diamètre dépasse l'écart entre deux fibres seront incapables de traverser [33].

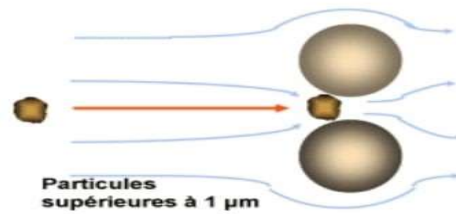


Figure II.5 : illustration du tamisage.

- **Inertie :**

Les particules plus grandes possèdent une inertie trop importante pour suivre le flux d'air lorsqu'il dévie pour contourner une fibre du filtre. Au lieu de cela, les particules continuent sur leur trajectoire initiale et adhèrent à la face avant de la fibre. Cette force d'inertie croît avec la vitesse de l'air, le diamètre de la particule et la diminution du diamètre de la fibre [33].

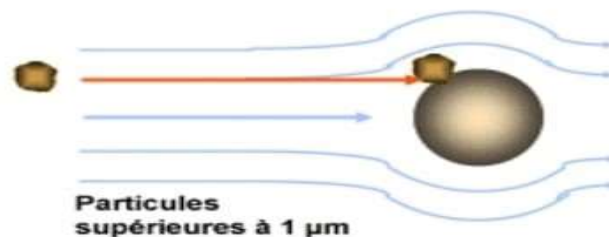


Figure II.6 : illustration de filtration inertie.

- **Interception :**

Les particules petites et légères sont entraînées par le flux d'air autour des fibres du filtre. Lorsque le centre d'une particule se rapproche suffisamment d'une fibre, la particule est interceptée et se fixe à la fibre. Ce processus d'interception n'est pas influencé par la vitesse de l'air, sauf si celle-ci subit des variations importantes modifiant le trajet du flux d'air autour des fibres. L'effet d'interception est plus prononcé avec l'augmentation de la taille des particules, la diminution du diamètre des fibres et la réduction de la distance entre les fibres [33].

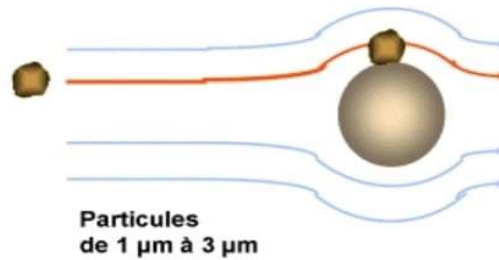


Figure II.7 : illustration de filtration par interception.

- **Diffusion :**

Les particules de moins de $1\mu\text{m}$ ne suivent pas les lignes du flux d'air autour des fibres du filtre. Elles sont plutôt influencées par le mouvement brownien des molécules d'air, qui les font vibrer. Si ces particules entrent en contact avec les fibres du filtre, elles y adhèrent.

La probabilité de contact entre les particules et les fibres augmente lorsque la vitesse diminue, que le diamètre des particules et celui des fibres diminuent également [33].

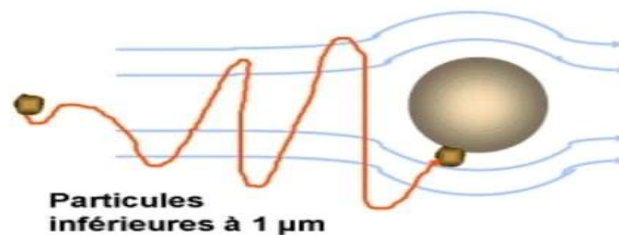


Figure II.8: illustration de filtration par diffusion.

II.2. Compression d'air :

a. La pression atmosphérique :

À la surface terrestre, l'air exerce une pression, généralement d'environ $1,2 \text{ kg/m}^3$. Cette pression, connue sous le nom de pression atmosphérique, résulte du poids d'une colonne d'air mesurant 1 cm^2 à la base et s'étendant sur $1\,000 \text{ km}$ de haut, depuis la surface terrestre jusqu'à la limite supérieure de l'atmosphère. En montant en altitude, la pression atmosphérique diminue progressivement. Environ tous les 5 km d'altitude, la pression atmosphérique est réduite de moitié, un phénomène souvent désigné par le terme de « raréfaction de l'air » [36].

b. Qu'est-ce que la compression d'air :

La compression d'air est un processus essentiel dans lequel l'air atmosphérique est comprimé pour augmenter sa pression et réduire son volume. Chez RayanOx la pression d'air est diminuée jusqu'à 30 bar.

c. Air comprimé :

L'air comprimé produit par un compresseur contient les mêmes éléments que l'air ambiant, y compris la vapeur d'eau qui est comprimée, le rendant ainsi humide. Selon l'usage prévu, il existe différentes normes quant aux niveaux de pollution acceptables pour l'air comprimé. Souvent, il est nécessaire d'améliorer la qualité de l'air comprimé en le séchant (pour réduire l'humidité). La qualité de l'air comprimé est classée en différentes catégories conformément à un système international de classification [37,38].

Tableau I.1 : la qualité d'air comprimé.

Classe de qualité	Teneur en particules solides		Teneur en eau		Teneur en huile
	Taille max. µm	Qlé max. Mg/m ³	Point de rosée °C	Qlé g/m ³	Qlé max. Mg/m ³
1	0.1	0.1	-70	0.003	0.01
2	1	1	-40	0.11	0.1
3	5	5	-20	0.88	1.0
4	40	10	+3	6.0	5
5	-	-	+7	7.8	25
6	-	-	+10	9.4	-

II.3. Pré-refroidissement :**a. Qu'est-ce que le pré-refroidissement ?**

Le pré-refroidissement d'air dans les unités ASU joue un rôle crucial dans la production d'oxygène médical de haute pureté, il désigne le processus de réduction de la température de l'air avant qu'il ne soit introduit dans une colonne de distillation.

b. Pour quoi on refroidit l'air :

Lorsqu'un gaz est comprimé, sa température augmente naturellement en raison de l'effet adiabatique. Cela peut être problématique car des températures plus élevées réduisent l'efficacité des turbines et augmentent les émissions de polluants. Le pré refroidissement d'air vise donc à résoudre ce problème en abaissant la température avant que le gaz ne soit brûlé.

Il existe différentes façons de réaliser le pré refroidissement d'air après compression. L'une des méthodes les plus courantes est l'utilisation d'un échangeur de chaleur, également appelé intercooler, qui permet de transférer la chaleur du gaz comprimé vers une eau réfrigérante.

II.4. Epuration :

L'élimination des contaminants tels que le CO₂ (dioxyde de carbone) et H₂O (vapeur d'eau) de l'air comprimé est essentielle pour garantir la qualité et la fiabilité des processus industriels.

Les instruments en laboratoire ont besoin d'air purifié pour fournir des résultats de mesure fiables et constants. L'air sans humidité et sans CO₂ peut remplacer les gaz de laboratoire les plus coûteux, tels que les bouteilles d'oxygène ou d'azote.

RayanOx offre des unités spécialisées d'élimination du CO₂, conçues avec une technologie similaire à nos sècheurs d'air à dessiccant éprouvés. Ces unités sont remplies de zéolite spécialement conçue pour réduire le CO₂ à des niveaux inférieurs à 10 ppm ou 1 ppm.

Les unités d'élimination du CO₂ sont certifiées pour une utilisation en intérieur et en extérieur, et sont fabriquées en acier au carbone ou en acier inoxydable pour assurer une durabilité optimale.

II.5. Distillation :**A : La distillation :**

La distillation est la phase finale de la séparation de l'air, utilisant une colonne à haute pression et une colonne à basse pression pour isoler l'oxygène et l'azote de l'air liquéfié. Dans la colonne à haute pression, l'air liquéfié se sépare en liquide enrichi en oxygène au fond et en gaz d'azote pur au sommet. L'azote gazeux est ensuite condensé en azote liquide via un échangeur de chaleur, et utilisé comme reflux pour enrichir en oxygène les colonnes à haute et basse pression. Le liquide enrichi en oxygène de la colonne à haute pression est introduit dans la colonne à basse pression, où il est séparé en oxygène liquide pur et gaz d'azote résiduel. Une étape supplémentaire peut isoler l'argon en séparant le gaz enrichi en argon en argon brut dans une colonne dédiée, renvoyant l'oxygène liquide dans la colonne à basse pression et éliminant l'azote restant.

B : Distillation cryogénique :

La distillation sur un gaz liquéfié implique d'abord la compression rapide du gaz pour le liquéfier en le refroidissant. Ensuite, en chauffant progressivement ce liquide et en contrôlant les températures d'ébullition spécifiques des différents composants, ces derniers sont séparés.

Tableau II.2 : propriétés de quelques fluides cryogéniques.

Gaz	Point d'ébullition	Volume d'expansion du gaz
Argon	-185	847 à 1
Oxygène	-183	860 à 1
Azote	-195	696 à 1

La séparation de l'air utilise des adsorbants à tamis moléculaires pour purifier l'air à basse température. Un filtre à air élimine les particules avant la compression de l'air à environ 4,6 bars par un compresseur électrique. Après compression, l'air est refroidi à environ 20°C par une unité de réfrigération, et l'eau condensée est éliminée par un séparateur d'eau avec un treillis qui retire les gouttelettes d'eau de l'air.

Après le séparateur d'eau, l'air passe à travers un adsorbant à tamis moléculaires qui élimine le CO₂, les hydrocarbures et la vapeur d'eau résiduelle. Un adsorbant fonctionne pendant que l'autre se régénère avec un gaz chauffé. Un accumulateur de chaleur assiste le cycle de chauffage et l'adsorbant est refroidi par l'azote résiduaire.

Après régénération, l'adsorbant est pressurisé pour reprendre l'adsorption, contrôlé par un programme. Une petite partie de l'air sec est prélevée pour l'usage des instruments. Le reste de l'air, avec celui recyclé, est comprimé d'abord à 33 bars, puis à 49,6 bars. Dans la boîte froide, l'air est refroidi par les flux de produits froids. Une partie de l'air, refroidie à -70°C, est utilisée pour la réfrigération avant d'être redistribuée entre la colonne de pression et le recyclage vers le compresseur.

Après compression, une partie de l'air est refroidie jusqu'à sa liquéfaction et détendue dans la colonne de pression. Dans cette colonne, l'air est séparé en oxygène liquide en bas et en azote pur en haut, grâce à un processus de condensation. L'azote liquide sert de reflux pour la colonne, tandis que le reste alimente une colonne à basse pression pour une séparation supplémentaire. L'excès d'azote liquide est stocké. Une petite quantité d'azote gazeux est prélevée pour des besoins de purge et d'étanchéité. De l'oxygène liquide est également prélevé pour le stockage, tandis que le reste est utilisé pour refroidir le condenseur d'argon brut. L'oxygène gazeux produit est réchauffé et sort comme produit. Le reste de l'azote

gazeux est utilisé pour régénérer les adsorbants à tamis moléculaires et est ensuite évacué dans l'atmosphère.

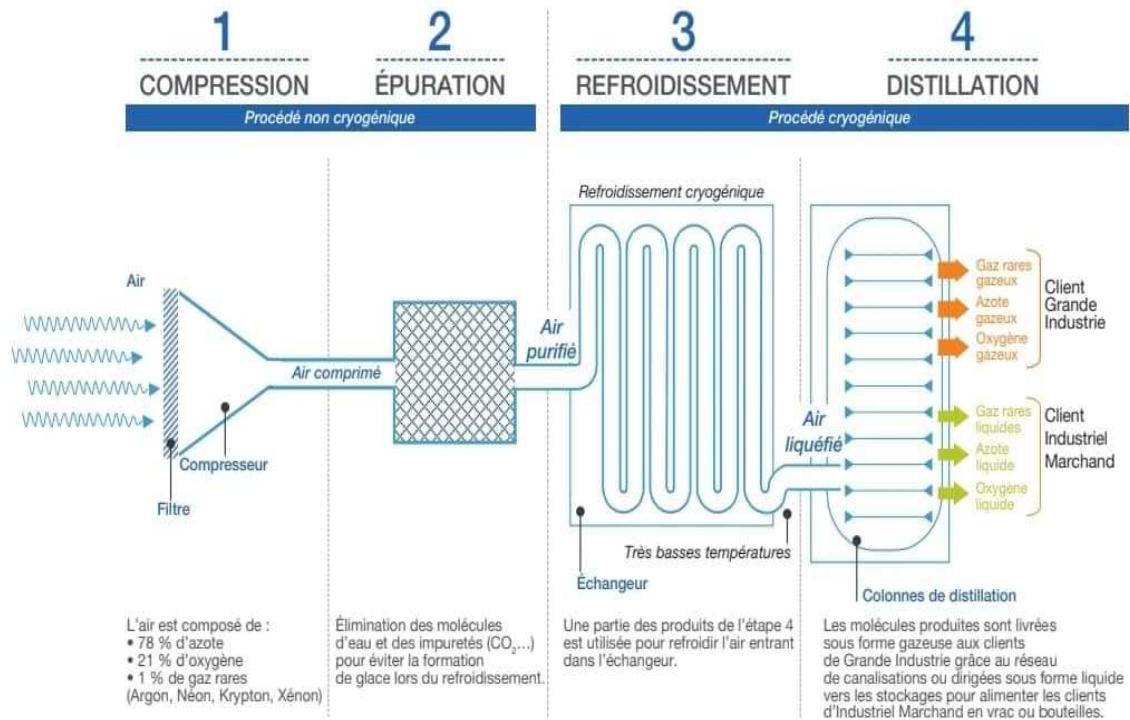


Figure II.9 : schéma de fonctionnement d'unité de séparation d'air.

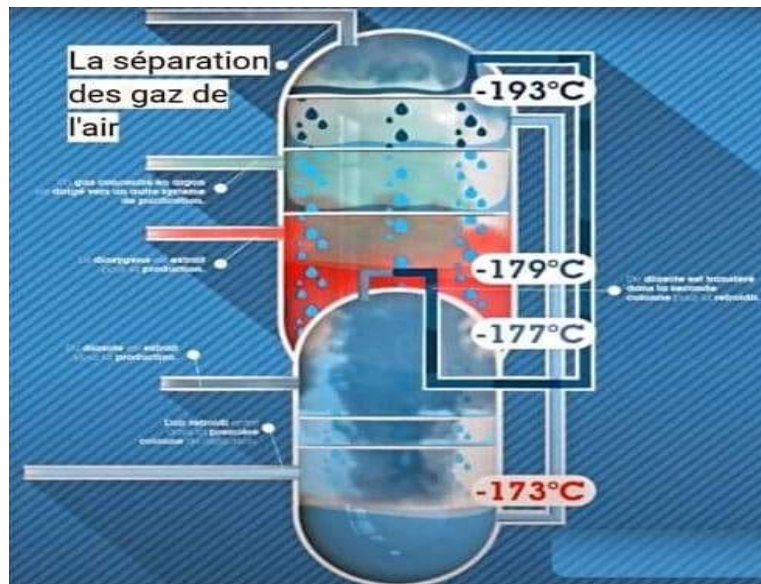


Figure II.10 : distillation cryogénique de l'air.

III. Processus de fabrication de protoxyde d'azote N₂O :

III.1. Bassin :

Le nitrate d'ammonium mélangé à environ 4% d'eau est chauffé par des thermoplongeurs et maintenu à des températures d'environ 125°C, par des régulateurs de température pour transformer les nitrates sous forme cristalline en liquide. L'addition de 3g de phosphate d'ammonium (NH₄H₂PO₄) par charge de 150kg de nitrate agit comme catalyseur durant la décomposition de la matière première dans le réacteur divisé en 2 sections :

- Une section de remplissage : elle est équipée de 3 résistances de 18 kW chacune. D'une sonde de température reliée au régulateur est d'un filtre empêchant les corps étrangers de passer dans le compartiment de consommation.
- Une section de consommation : où le liquide passe une fois prêté à la température de 125°C elle est équipée d'une résistance de 18 kW, d'une sonde de température reliée au régulateur et de 2 pompes pour la circulation du nitrate. A l'aide de 2 électrovannes l'air comprimé à 2 bars passe à travers la première électrovanne et un air comprimé à 1 bar passe à travers la deuxième électrovanne et pressurise l'intérieure du cylindre. Le clapet d'admission se ferme et le liquide quitte le cylindre à travers le clapet de refoulement.

III.2. Réacteur :

Un volume fermé, sous une pression de service qui ne doit pas dépasser 2 bars dans le réacteur de nitrate se décompose à une température d'environ 250°C selon la formule.



Du fait que la réaction est exothermique c'est-à-dire que la décomposition produit de la chaleur la température de la masse de nitrate doit être contrôlée très strictement afin de maintenir cette température constante, le nitrate à environ 135°C provenant du bassin de fusion est injecté automatiquement dans le réacteur. Pour initier la réaction, un chauffage préliminaire du nitrate dans le réacteur est nécessaire pour faire un chauffage à infrarouge d'une puissance de 30 KW monte dans un réflecteur et placé sous le réacteur la puissance du chauffage, commandé par thyristors, peut-être de 0 à 100%.

III.3. Contrôle de la réaction :

Le contrôle de la réaction est basé sur la mesure de la pression dans le réacteur. Cette pression dépend directement de la quantité de gaz produit par la décomposition du nitrate respectivement de la violence de la réaction. Pendant la décomposition par réchauffage de nitrate d'ammonium il en résulte des impuretés dont majoritairement sont :

- L'ammoniac qui sera extractible vers l'atmosphère avec l'extracteur ;
- Les oxydes d'azotes (NO_x/NO) ;

- Les dérivés carboniques (Monoxyde de carbone (CO) le Dioxyde de carbone (CO₂)) pendant la réaction de décomposition ces impuretés se résultent à des fractions minimales.

Cette pression est principalement créée par une restriction dans le flux du gaz produit. Si la violence de la réaction augmente la quantité du gaz produit augmente également et par conséquent la pression dans le réacteur augmente. Cette pression est transmise à un flotteur placé dans un tube de verre. Cet ensemble, équipé de deux jeux de photocellule est appelé manomètre à U pour le contrôle de la réaction. Au moment où le flotteur passe entre la photocellule inférieure ; il y'a automatiquement transfert de nitrate du bassin au réacteur. La position des photocellules étant ajustable permet une injection à différentes pressions. La position idéale est déterminée lorsque le gazomètre est stable, c'est-à-dire lorsque la quantité de gaz produite est égal à la quantité adsorbée par le compresseur. L'injection de nitrate a pour effet de refroidir la masse dans le réacteur, la violence de la réaction diminue, moins de gaz est produit par conséquent la pression diminue. Le flotteur va donc descendre en dessous de la photocellule et arrêter l'injection du nitrate dans le réacteur. Un deuxième jeu de la photocellule d'injection commande l'ouverture des deux circuits de refroidissement, ceci en cas où l'injection n'aurait pas lieu, c'est-à-dire que la pression sera plus grande que la pression de fonctionnement.

II.4. Condenseur et refroidisseur :

Les vapeurs d'eau produites par la réaction seront séparées du gaz par condensation dans le condenseur sous une pression d'environ 1,2 bar. Le condenseur est un échangeur de chaleur titulaire refroidit à contre-courant par le circuit d'eau recyclé. Le condensat s'écoule dans le fond du condenseur et rejoint le bac de récupération placé sous le refroidisseur. Un robinet d'entrée d'eau de refroidisseur permet de régler le débit, en fonction de la température de sortie. Un indicateur de température signale le dépassement de cette température cette eau de refroidissement quitte le condenseur pour remplir le tank à eau avant de retourner par le trop plein dans le réservoir.

Le refroidisseur construit de la même façon que le condenseur a pour fonction de condenser le reste d'eau que le condenseur n'aura pas séparé et abaisser la température du gaz $T^{\circ} = 20^{\circ}\text{C}$. Un robinet d'entrée d'eau règle le débit et l'eau sortant du refroidisseur est mélangé à l'eau d'entrée du condenseur. Le condensat s'écoule dans le bac de récupération est évacué continuellement par le trop-plein. Une partie de cette eau est utilisée pour mélanger de nitrate-eau dans le bassin, cette eau est soutirée à travers le robinet.

III.5. Groupe de purification :

Le gaz sortant du refroidisseur contient des impuretés produites par la décomposition du nitrate. Une série d'étapes permettant d'avoir des puretés élevées (99,99%). Dès la sortie du réacteur ; la vapeur et les impuretés sont enlevées par le contact avec de l'eau, la soude caustique et l'acide sulfurique. La purification se fait par un lavage dans 4 tours remplis d'anneaux Raching. Pour chaque tour, une pompe fait réticuler les solutions à contre-courant dans un système clos. Chaque circuit de lavage est équipé d'appareilles contrôlant le fonctionnement des pompes. Les solutions suivantes sont utilisées pour la purification du gaz :

- La 1ère étape (la **tour d'eau**) : sert au refroidissement et nettoyage ;
- La 2ème étape : a pour rôle d'éliminer le dioxyde de carbone par solubilité à 80% dans de l'eau changée toutes les 8 heures ;
- La 3ème étape (la **tour de soude caustique (NaOH +KMnO₄ à 20 %)**) : permet l'élimination des oxydes d'azotes NO/NO_x ;
- La 4ème étape (La **tour de l'acide sulfurique (H₂SO₄ à 15%)**) : élimine les oxydes carboniques (CO/ CO₂).

Après purification du gaz de protoxyde d'azote et d'après le diagramme de Clapeyron $P = f(T)$ Le gaz obtenu peut-être liquide à partir de 18 bar à (-20°C).

III.6. Compresseur :

Le protoxyde d'azote (gaz) passe par un compresseur à piston dont la pression à 18 bar.

III.7. Séchage :

Le groupe de séchage retient par adsorption les vapeurs d'eau présentes dans le gaz comprimé. Le groupe est constitué de deux récipients à haute pression remplis de 1/5 du volume de sel de gel d'alumines et de 4/5 de diamant de gel. Les récipients sont montés en parallèle ce qui permet un fonctionnement ininterrompu de la production, un fonctionnement alternatif (un récipient en service et l'autre en régénération ou en phase de refroidissement). Chaque récipient est équipé d'un robinet d'entrée et d'un robinet de sortie et un robinet de décompression, sur le circuit du gaz. Un robinet d'entrée et un robinet de sortie sont montés sur le circuit de régénération. Deux électrovannes situées sur la conduite de sortie du gaz permettent un retour automatique de celui-ci dans le gazomètre. Au dos du groupe, une turbine à air délivrant l'air à travers un chauffage de 12KW permet la régénération de la masse adsorbante. La température de l'entrée de l'air est réglée par un régulateur de température à 200°C. Quand la température de sortie atteint 120°C, le cycle de régénération est automatiquement mis hors fonctionnement au moyen du régulateur captant la température de sortie de l'air. Un instrument de mesure d'humidité contrôle en permanence la teneur en eau du gaz (maximum 30ppm).

III.8. Liquéfacteur :

Le liquéfacteur est un échangeur tubulaire à contre-courant, le gaz traverse le liquéfacteur dans des serpents de cuivre et à contre-courant circule l'eau froide. Ce refroidissement a pour effet de condenser le gaz. La température de l'eau doit être aussi basse que possible, mais en aucun cas au-dessous de 20°C.

III.9. Groupe de réservoir de stockage :

Le groupe consiste quatre réservoirs de 700 L de volume chacun. Les réservoirs sont groupés deux par deux, ce qui permet un stockage d'environnant 1000 Kg de N₂O liquide par groupe de deux; d'une T= -20 °C à -25°C et P = 16-18 bars.

- ✗ Chaque groupe est équipé d'un robinet d'entrée du gaz liquide et un robinet de sortie et un robinet de dégazage ;
- ✗ Chaque robinet est précédé d'un robinet de service ;
- ✗ Chaque groupe possède un manomètre et une soupape de sûreté ;
- ✗ Le dégazage permet l'évacuation des gaz non condensable, principalement l'azote accumulé dans la phase gazeuse pendant le remplissage ;
- ✗ Chaque réservoir est équipé d'une douche de refroidissement pour évacuer la chaleur de compression lors de remplissage.

III.10. Groupe de remplissage :

Le remplissage des bouteilles s'effectue à partir d'une citerne mobile surnommé Réservoir BP d'une T°= -17°C -18°C et d'une P= 20-25 bars (La température est maintenue avec un groupe de froid). Ce réservoir est équipé d'une pompe à piston et d'un pupitre de commande qui permet le démarrage, l'arrêt de la pompe de remplissage et la commande automatique de remplissage des bouteilles de différente capacité. Ce groupe équipé de deux pompes permet le remplissage de N₂O liquide dans des cylindres de capacité diverses (bouteilles). Chaque pompe travaille individuellement, ce qui permet de remplir un cylindre ou simultanément deux cylindres. Deux indicateurs de passage automatique arrêtent respectivement l'une ou l'autre pompe quand le taux de remplissage est atteint. Chaque circuit de remplissage est équipé de compensateur de pulsation, de manomètre de pression de remplissage et de soupape de sûreté. Un tuyau flexible équipé de vannes et raccords assure la liaison de la pompe cylindre celui-ci étant posé sur la balance.

IV. Processus de fabrication du dioxyde de Carbone :

Selon les bonnes pratiques de fabrication (BPF), le dioxyde de carbone est produit en continu et en système clos ce qui assure le faible risque de contamination, vis-à-vis de l'environnement et du personnel de production.

Le processus est décrit ci-dessous :

Notre procédure consiste à capter le CO₂ en postcombustion.

Une combustion est une réaction libérant de l'énergie et faisant intervenir :

- Un réducteur : le combustible (propane) ;
- Un oxydant : comburant (O₂ d'air).

L'équation de combustion est donc :

La capture de CO₂ en postcombustion est la capture par un solvant MEA (monoéthanolamine) présentant une affinité pour les molécules de CO₂, elle se fait en deux phases :

IV .1. Phase d'absorption :

On absorbe le CO₂ dans le gaz d'alimentation avec le solvant et ensuite envoyer :

- Le gaz d'alimentation rincé à la tour d'absorption par la pompe soufflante ;
- La solution d'amine vers le tour d'absorption, et entre temps le gaz de matière première.

Le liquide d'amine est mis en contact inversement dans la colonne, de sorte que le CO₂ dans le gaz de matière première et dissous dans le liquide d'amine, et le gaz restant est évacué par le haut de la tour d'absorption.

IV.2. Phase de régénération :

Après l'absorption du CO₂, la solution riche en CO₂ sera envoyée dans la tour de régénération par une pompe pour être chauffée par un rebouilleur au fond de la tour, puis le CO₂ s'échappera du solvant vers la phase gazeuse.

La solution pauvre en CO₂ (régénérée et dissoute de la tour) sera envoyée à la tour d'absorption.

Par la pompe de solution pauvre pour être recyclée et réutilisée après récupération de la chaleur perdue et refroidissement.

La pureté de CO₂ régénéré peut être supérieure à 98% (gaz sec) et il sera ensuite envoyé vers le compresseur de CO₂ après refroidissement et séparation.

Après une compression en trois étapes la pression du gaz est portée à 2.5 MPa.

Comme la solution d'amine peut également absorber le SO₂, pendant la désorption, une partie du SO₂ diffuse dans le CO₂ de la solution, un processus de désulfuration sera nécessaire après

la désorption. Ce processus sera réalisé dans l'absorbeur A en utilisant un désulfureur pour éliminer les composants soufrés (teneur en soufre doit être $< 0.1\text{ppm}$) et il sera ensuite envoyé à l'étape de séchage.

Après que toute l'eau contenue dans le gaz d'alimentation a été éliminée par le sécheur et liquéfiée dans le liquéfacteur, puis purifiée dans la tour de purification. En fonction des différents points d'ébullition entre le CO_2 et les autres composants d'impureté, les impuretés sont séparées du CO_2 par distillation cryogénique afin d'améliorer la qualité du produit. Le gaz non condensable est évacué par le haut de la tour de purification. Les produits liquides de CO_2 provenant du bas de la tour de purification sont stockés à basse température après décompression par la vanne de contrôle.

V. Contrôle qualité de produit fini :

Après que le produit est envoyé au stockage, un système d'analyse distinct du premier s'occupe du contrôle qualité. Ce système d'analyse en continu les produits dans les réservoirs de stockage et archive les valeurs sur un serveur dédié au stockage et à la livraison aux clients. Avant de remplir une citerne, une analyse de la citerne vide est effectuée.

Si les valeurs se situent dans les plages acceptables, le remplissage de la citerne avec le produit est autorisé. Sinon, la citerne est rincée avec le produit jusqu'à ce que les valeurs d'analyse requises soient atteintes. Une fois la citerne remplie, elle est analysée et libérée, représentant ainsi un lot de produit.

V.1. Analyse de l'oxygène :

V.1.1. Paramètres à analyser :

Pour l'oxygène, on examine sa pureté ainsi que les niveaux de CO_2 , de CO et d'humidité. Pour l'azote, on vérifie la présence d'oxygène résiduel. Quant à l'argon, on analyse la présence d'oxygène, d'azote et le taux d'humidité.

V.1.2. Analyseurs utilisés :

Le système d'analyse du produit fini est automatiquement étalonné trois fois par semaine via un automate programmable Siemens et des gaz étalons de haute précision. Il produit automatiquement un certificat d'analyse :

- IR pour la détection du CO_2 et du CO ;
- La paramagnétique pour l'analyse de la pureté d'oxygène ;
- La technologie quartz pour la détection des traces d'humidité ;
- Le zirconium pour la détection des impuretés de l'oxygène dans l'azote ou l'argon.

V. 1.3. Méthodes analytiques de l'oxygène médical :

Pour analyser la pureté de l'oxygène médical, plusieurs méthodes sont nécessaires pour confirmer sa qualité en tant que gaz médical et détecter les impuretés potentielles telles que le CO, le CO₂ et l'eau.

- **Paramagnétisme :**

Le paramagnétisme est employé pour détecter l'oxygène car il est attiré et se déplace dans la même direction que le champ magnétique.

- **L'oscillateur à quartz :**

L'oscillateur à quartz est utilisé pour détecter l'humidité dans l'oxygène car il est spécialement conçu pour offrir des mesures fiables en parties par million (ppm) d'humidité dans les gaz et les vapeurs.

- **L'infrarouge :**

L'infrarouge est utilisé pour détecter le CO et le CO₂ car ces deux substances absorbent les rayonnements infrarouges.

V.1.4. Résultats d'analyses :

Les résultats des analyses sont comparés aux standards de haute pureté des gaz.

Tableau II.3 : analyse de la bouteille B50 d'oxygène médical

Test	Unité	Spécification	Méthodes	Résultat
				<input type="text"/> <input type="text"/> <input type="text"/> d'analyse de lot
Identification		Positif		Positif
O ₂	%	≥99.500	Paramagnétisme	=99.99
CO	Ppm	≤5.00	Infrarouge	=0.00
CO ₂	Ppm	≤300.00	Infrarouge	=0.00
H ₂ O	Ppm	≤67.00	Oscillateur Quartz	2.30

V.2. Analyse de protoxyde d'azote

L'analyse est réalisée au sein du laboratoire de contrôle qualité par des appareils haute précision par différentes méthodes analytiques.

IV.2.1. Méthodes analytiques :

- **Infrarouge :**

Pour définir la quantité de N₂O dans un volume connu.

- **Chromatographie gazeuse :**

Afin de repérer le CO et le CO₂. La chromatographie en phase gazeuse (CPG) est, comme toutes les techniques de chromatographie, une technique qui permet de séparer des molécules d'un mélange éventuellement très complexe de nature très diverses. Elle s'applique principalement aux composés gazeux ou susceptibles d'être vaporisés par chauffage sans décomposition.

- **Fluorescence :**

C'est une émission lumineuse provoquée par l'excitation des électrons d'une molécule (ou atome), généralement par absorption d'un photon immédiatement suivie d'une émission spontanée. Cette méthode sert à repérer les NO_x.

Les tableaux suivants montrent les résultats d'analyse du produit analysé par rapport aux gaz étalons de haute pureté :

Tableau II.4: résultat d'analyse de N₂O n° de lot N2O /01R

	Exigence standard	Résultat de l'analyse	
		99.7 %	Conforme
CO	CO < 5 ppm	0.00 ppm	Conforme
CO₂	CO ₂ < 300 ppm	2 ppm	Conforme
NO_x	NO _x < 2 ppm	0.00 ppm	Conforme
Humidité	H ₂ O < 67 ppm	24.9 ppm	Conforme

V. Interprétation :

Les gaz à usage médical constituent un groupe très diversifié et souvent complexe à comprendre d'un point de vue réglementaire. En raison de leurs propriétés physiques spécifiques, ces produits sont soumis à des exigences et contraintes basées sur plusieurs directives européennes relatives aux produits de santé, certaines étant spécifiques aux gaz. L'objectif est de garantir aux patients un niveau élevé de qualité et de sécurité des produits.

D'après les analyses quotidiennes effectuées sur les gaz produits par la société nationale Rayanox et après avoir vérifié que ces gaz pharmaceutiques respectent les spécifications physiques et chimiques mentionnées dans la Pharmacopée Européenne, nous concluons que

ces gaz sont aptes à un usage médical. Il est important de continuer à surveiller régulièrement afin de garantir le maintien de ces normes et la sécurité des produits pour les applications médicales.

- Tous les procédés de fabrication des gaz médicaux de RayanOx répondent aux exigences et aux normes de pharmacopée européenne ; ce qui a permis d'obtenir des résultats conformes.
- Les résultats obtenus sont satisfaisants ; en les comparant avec ceux trouvés sur les bilans analytiques.
- Le respect des normes et des exigences durant la production et après la production est essentiel.

CONCLUSION

Conclusion :

Ce stage sur le terrain a été une opportunité en or pour nous, étudiants de troisième année licence, de nous immerger dans l'environnement professionnel et de découvrir les différentes conditions qui peuvent nous préparer à suivre le marché du travail. Dès le processus de recherche de ce stage, nous avons développé nos compétences en communication avec les parties concernées et appris à nous présenter de manière accrocheuse. Nous avons appris les maintenances de sécurité et développé nos compétences en communication et en travail d'équipe. En ce qui concerne l'usine Rayanox, elle a contribué à enrichir nos connaissances dans les domaines de l'ingénierie et de la santé. Nous avons appris différentes méthodes de séparation des gaz présents dans l'air pour les utiliser dans le domaine médical. Nous avons également découvert les différents équipements utilisés à cet effet, ainsi que les techniques spécifiques à chaque type de gaz. Nous avons acquis la capacité de trouver rapidement des solutions efficaces en cas de dysfonctionnement d'un appareil et de prendre en charge les réparations. Enfin, nous avons exploré diverses techniques d'analyse pour vérifier la qualité du produit.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bibliographie





- [1] **Catherine Cailot** .L'oxygène à usage médical : dispensation, indication,toxicité,rôle du pharmacien. Sciences pharmaceutiques 2004. Hal 0711878.
- [2] Prof **jean Paul Janssens** une brève histoire sur l'oxygénothérapie université de Genève.
- [3] Aphar gaz association nationale des laboratoires pharmaceutiques des gaz médicaux.
- [4] **David Lane**, oxygen the molecule that made the world, oxford university press, oxford,2002.
- [5] Fiche technique O₂ médical RayanOx .
- [6] Base des données publiques des médicaments ministère des solidarités et de la santé république française.
- [7] **Ingrid millot** . Production d'oxygène en situation d'exception vers une autonomie totale. Sciences de vivants (q.bio) 20120. Hal01734090.
- [8] **JC.Ottemi, F.Collin, S.Fournier** protoxyde d'azote ? Conférences d'actualisation de la SFAR 1997.
- [9] Le protoxyde d'azote un gaz si hilarant l'actualité chimique n°478 NOV 2022
- [10] **GaëlleDelille**. Le protoxyde d'azote : usage médical et usage détourné Sciences pharmaceutiques 2021 Dumas 03467533
- [11] https://fr.wikipedia.org/wiki/Protoxyde_d%27azote.
- [12] Fiche technique N₂O RayanOx.
- [13] Protoxyde d'azote : un gaz hilarant aux séquelles neurologiques _ vigil anses n ° 11
- [14] **Daniel Annequin** Protoxyde d'azote et traitement de la douleur. La presse médicale Formation DEC 2021.
- [15] **Adrien Jean**. Usage et Mésusage de protoxyde d'azote. Sciences de vivants (Q.bio) 2022 Dumas 3777703.
- [16] **B.Tossens ,R.Ponthot**. Consommation de protoxyde d'azote et neutroxicité .BIOCHIMIE Médicale Louvain Med 2023.
- [17]**Agath Mullie**.Les gaz à usages médical. des produits thérapeutiques pas comme les autres. Sciences pharmaceutiques 2010 Dumas 00593170
- [18] **V. Varlet, A, Bouvet ,M.Augsburger**. L'argon : utilisation, toxicité et stratégie analytique en toxicologie médicolégale Société française de toxicologie analytique 2013.
- [19] <https://byjus.com/chemistry/argon/> .
- [20] Fiche pratique Argon médical RayanOx .
- [21] **K. BECK** Five major uses of argon 27 Novembre 2018
- [22] Fiche de donnés de sécurité d'argon médical RayanOx
- [23] D'après **Tristan Carrère**, ingénieur à l'ADEME EDF ENR 08 septembre 2022
- [24]« Carbon Dioxide: Spiritus Sylvestre [archive] »Ebbe Almqvist, History of industrial gases, Springer, 2003, 472 p.

Bibliographie

- [25] Journal of Chemical Education, 73, Decembre 1996, 1163.
- [26] **P Jensen** “Un nouvel hamiltonien Morse à dynamique interne de flexion rigide (MORBID) pour les molécules triatomiques “J. Mol. Spectrosc.(1988)
- [27] Fiche Technique CO2 RayanOx Fiche Pratique CO2 Médical RayanOx
- [28] Fiche Pratique CO2 Médical RayanOx
- [29] Fiche de données de sécurité Blackline**Safety**2024
- [30] La pollution de l’air, commissariat générale aux développement durable de la république française 24 juin 2024.
- [31] <https://www.atmosud.org/article/les-principaux-polluants> .
- [32] Effets de la pollution de l’air sur la santé. Santé et Environnement Québec.ca.
- [33] Filtres ventilation. Energie plus 25 septembre 2007.
- [34] Filtration d’air nouvelle classification des filtres. Association des ingénieurs en climatique 04 juillet2019.
- [35] La norme ISO 16890 du G3 à H14.
- [36] **Laurent Borrel, Yann Esnault**, L’atmosphère, IESO France Sciences de l’école. INP Toulouse ENM Météo France.
- [37] <https://www.atlascopco.com/fr-dz/compressors/wiki/compressed-air-articles/what-is-compressed-air>
- [38] <https://www.airflux.fr/air-comprime-faq/> .

ANNEXE

Les annexes :**Tableau :** Les figures des bouteilles de chaque gaz

Les Figures	Le nom de gaz
	Gaz d'hydrogène H₂
	Gaz d'acétylène C₂H₂
	Gaz d'Hélium 4.5 He
	Air synthétique N₂+O

ANNEXE

		<p>Gaz de protoxyde d'azote N₂O</p>
		<p>Gaz de dioxyde de carbone CO₂</p>
		<p>Gaz d'azote N₂</p>



Gaz d'argon 4.5 Ar



Gaz d'oxygène O₂