



Les **gaz isotopiques** et les domaines d'applications



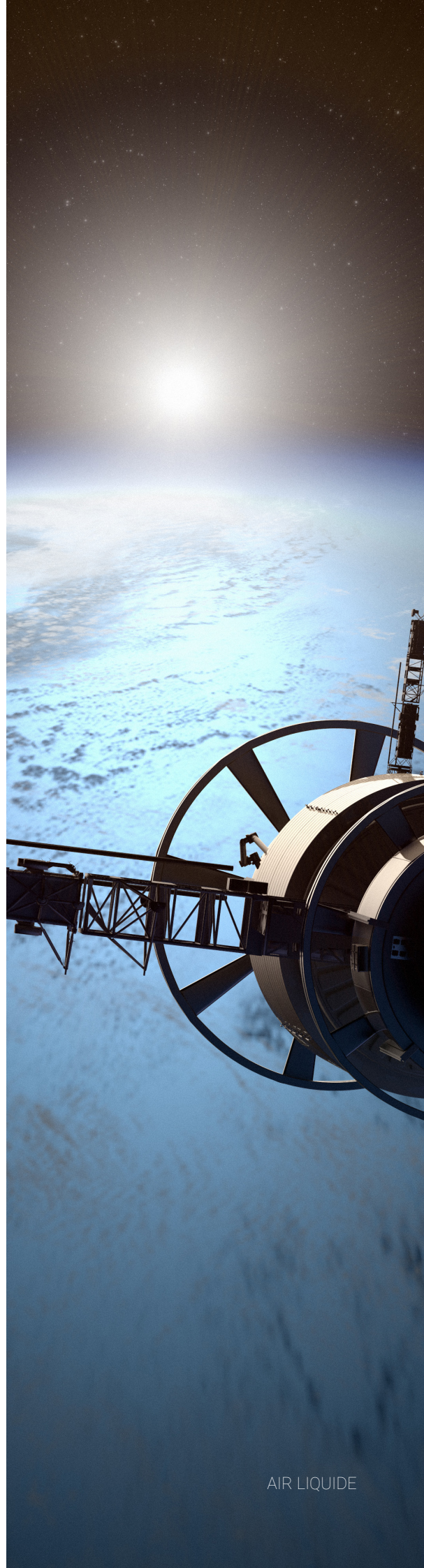
Les gaz isotopiques sont souvent utilisés en physique et en chimie pour étudier les réactions, la diffusion, l'adsorption et d'autres processus...

Ils sont également utilisés dans d'autres domaines d'application comme la **géologie** pour l'étude des sols, **l'environnement** pour l'étude des écosystèmes naturels, les **produits alimentaires** pour leurs origines & traquer la fraude et le domaine du **pétrole & gaz** pour maximiser l'efficacité et la rentabilité de l'exploration et de la production.

Applications des gaz isotopiques en physique

Les gaz isotopiques sont souvent utilisés en physique pour différentes applications.

- **L'hélium (He)** possède huit isotopes connus, mais seulement deux sont stables, l'hélium 3 (^3He) et l'hélium 4 (^4He). La masse atomique standard est de 4,002602 u.
- **L'hélium 3 ^3He (stable) et l'hélium 4 ^4He (stable)** sont utilisés pour le refroidissement à très basse température, car ils ont des points de fusion et d'ébullition très bas.
- **L'hélium 3 ^3He (stable)** est aussi utilisé dans la recherche en physique nucléaire et pour la détection des fuites dans les systèmes de tuyauterie & réseaux.
- **L'argon (Ar)** possède 24 isotopes connus, allant de 30 Ar (^{30}Ar) à 53 Ar (^{53}Ar). Trois de ces isotopes sont stables, 36 Ar (^{36}Ar), 38 Ar (^{38}Ar) et 40 Ar (^{40}Ar). La masse atomique standard de l'argon est de 39,948 u.
- **L'argon 40 ^{40}Ar (stable) et l'argon 39 ^{39}Ar** sont utilisés pour la datation radiométrique, une méthode qui permet de déterminer l'âge des roches et des fossiles.
- **Le krypton (Kr)** possède 33 isotopes connus, de nombre de masse variant de 69 à 101 et trois isomères nucléaires. Le krypton naturel est constitué de cinq isotopes stables, ^{80}Kr , ^{82}Kr , ^{83}Kr , ^{84}Kr et ^{86}Kr et un isotope quasi stable ^{78}Kr . On attribue au krypton une masse atomique standard de 83,798 u.
- **Le krypton 85 ^{85}Kr** est utilisé pour la datation des eaux souterraines et pour la mesure de la circulation de l'air dans les bâtiments.
- **Le radon (Ra)** possède 35 isotopes connus, tous radioactifs. Le plus stable d'entre eux est le radon 222 avec une demi-vie de 3,823 jours, il représente la quasi-totalité du radon naturel.
- **Le radon 222 ^{222}Rn** est utilisé pour la détection de fuites dans les canalisations de gaz et pour la datation des sédiments dans les lacs et les rivières. La masse atomique standard du radon est de 222 u.
- **L'hydrogène (H)**, possède deux isotopes naturels stables, notés ^1H , ^2H . Les autres (de ^3H à ^7H) sont particulièrement instables. La masse atomique standard est de 1,00782504 u.
- **L'hydrogène 3 tritium ^3H** est utilisé pour la datation des eaux souterraines et pour la production d'énergie dans les réacteurs nucléaires.



Applications des gaz isotopiques en chimie

Les gaz isotopiques sont des gaz dont les isotopes ont été modifiés pour être utilisés à des fins spécifiques en chimie.

Voici quelques exemples de gaz isotopiques couramment utilisés :

- **L'hydrogène 2 deutérium ^2H (stable)** est utilisé pour des expériences de spectroscopie et pour étudier les réactions chimiques impliquant l'hydrogène.
- **L'hydrogène 3 tritium ^3H** est utilisé comme source de rayonnement pour les expériences de radiochimie et pour produire de l'énergie dans les réacteurs à fusion.
- **Le carbone (C)** possède 15 isotopes connus, de nombre de masse variant de 8 à 22, dont deux stables ^{12}C et ^{13}C . En moyennant selon l'abondance naturelle de ces deux isotopes, la masse atomique standard attribuée au carbone est de 12,010 7 u.
- **Le carbone 14 ^{14}C** : Utilisé dans la datation par radio-carbone pour déterminer l'âge des artefacts archéologiques et géologiques.
- **L'azote (N)** possède 16 isotopes connus de nombre de masse variant de 10 à 25. Deux d'entre eux sont stables et présents dans la nature, l'azote 14 (^{14}N) et l'azote 15 (^{15}N), le premier représentant la quasi-totalité de l'azote présent (99,64 %). On assigne à l'azote une masse atomique standard de 14,0067 u.
- **L'azote 15 ^{15}N (stable)** est souvent utilisé en recherche agricole pour tracer les minéraux composés d'azote (en particulier les fertilisants), et lorsqu'il est utilisé en combinaison avec d'autres traceurs isotopiques, il est un très important traceur pour décrire l'évolution des polluants organo-nitrés.
- **L'oxygène (O)** possède 17 isotopes connus de nombre de masse variant de 12 à 28. Trois d'entre eux sont stables, ^{16}O , ^{17}O et ^{18}O , le premier étant ultra-majoritaire dans la nature (plus de 99,75 % de l'oxygène naturel). On attribue à l'oxygène une masse atomique standard de 15,9994(3) u.
- **L'oxygène 18 ^{18}O (stable)** est utilisé pour étudier le cycle de l'eau dans l'atmosphère et dans les organismes vivants.



Applications des gaz isotopiques en géologie

Les gaz isotopiques ont également une utilisation importante en géologie. Voici quelques exemples de gaz isotopiques couramment utilisés en géologie :

- **L'argon 40 ^{40}Ar (stable)** est utilisé dans la datation par la méthode de l'argon-argon pour déterminer l'âge des roches et des minéraux.
- **L'hélium 4 ^4He (stable)** est utilisé pour la datation par la méthode de l'hélium-uranium pour déterminer l'âge des minéraux contenant de l'uranium.
- **Le néon (Ne)** possède 19 isotopes connus, de nombre de masse allant de 16 à 34. Parmi eux, trois sont des isotopes stables, ^{20}Ne , ^{21}Ne et ^{22}Ne , qui représentent la totalité du néon naturellement présent. La masse atomique standard attribuée au néon est de 20,179 u.
- **Le néon 21 ^{21}Ne (stable)** est utilisé pour étudier la formation de la croûte terrestre et l'évolution du manteau terrestre.
- **Le carbone 13 ^{13}C (stable) et l'oxygène 18 ^{18}O (stable)** sont utilisés pour étudier les changements climatiques passés et actuels à partir d'archives géologiques telles que les sédiments lacustres et les carottes glaciaires.
- **Le soufre (S)** possède 25 isotopes, de nombre de masse allant de 26 à 49, dont quatre sont stables : ^{32}S (95,02 %), ^{33}S (0,75 %), ^{34}S (4,21 %) et ^{36}S (0,02 %), pour une masse atomique standard de 32,065 u.
- **Le soufre 34 ^{34}S (stable)** est utilisé pour étudier les processus de formation des dépôts de sulfures dans les gisements minéraux.
- **Le radon-222 ^{222}Rn** est utilisé pour étudier les mouvements et les échanges de gaz entre les roches et l'atmosphère, en particulier dans les régions sismiques.



Applications des gaz isotopiques en recherche sur l'environnement

Les gaz isotopiques sont largement utilisés dans la recherche sur l'environnement. Voici quelques exemples de gaz isotopiques couramment utilisés dans ce domaine :

- **Le dioxyde de carbone (CO_2).** Le carbone 14 ^{14}C est utilisé pour étudier le cycle du carbone dans l'atmosphère et dans les écosystèmes terrestres, ainsi que pour la datation de matériaux organiques.
- **Le méthane (CH_4).** Le carbone 13 ^{13}C (stable) est utilisé pour étudier la provenance et les processus de production du méthane dans les écosystèmes naturels et les émissions anthropiques.
- **Le méthane (CH_4).** Le carbone 14 ^{14}C est utilisé pour déterminer l'âge du méthane présent dans les sources naturelles et anthropiques, et pour évaluer l'impact des émissions de méthane sur le climat.
- **L'eau (H_2O).** L'oxygène 18 ^{18}O (stable) et l'hydrogène 2 ^2H (stable) (deutérium) sont utilisés pour étudier le cycle de l'eau dans l'atmosphère, les océans, les glaciers et les écosystèmes terrestres.
- **L'azote 15 ^{15}N (stable)** est utilisé pour étudier le cycle de l'azote dans les écosystèmes terrestres et les émissions anthropiques.
- **L'oxygène 18 ^{18}O (stable)** est utilisé pour étudier les échanges d'oxygène entre l'atmosphère, les océans et les écosystèmes terrestres.
- **Le carbone 14 ^{14}C** est utilisé pour étudier la séquestration du carbone dans les écosystèmes terrestres et océaniques, et pour déterminer l'âge de la matière organique dans les sols, les sédiments et les eaux souterraines.
- **L'oxygène 18 ^{18}O (stable) et l'hydrogène-2 ^2H (stable)** sont utilisés pour tracer l'origine, les processus de formation et les mouvements des eaux souterraines et des eaux de surface, et pour étudier les changements dans le cycle hydrologique.
- **L'azote 15 ^{15}N (stable) et l'oxygène 18 ^{18}O (stable)** sont utilisés pour étudier les processus de nitrification et de dénitrification dans les écosystèmes terrestres et aquatiques, et pour évaluer l'impact des activités humaines sur les cycles de l'azote et de +/- l'oxygène.
- **Le radon 222 ^{222}Rn** est utilisé pour étudier les émissions de gaz radioactif dans les bâtiments et les sols, et pour détecter les fuites de gaz radon dans les résidences et les bâtiments publics.

Ces gaz isotopiques sont des outils précieux pour comprendre les processus environnementaux et évaluer l'impact des activités humaines sur les écosystèmes et le climat.



Applications des gaz isotopiques pour les produits alimentaires

Les gaz isotopiques sont également utilisés dans l'industrie alimentaire pour diverses applications.

Voici quelques exemples de gaz isotopiques couramment utilisés dans ce domaine :

- **L'oxygène 18 ^{18}O (stable)** est utilisé pour déterminer l'origine géographique des aliments et des boissons, en particulier des eaux minérales.
- **L'azote 15 ^{15}N (stable)** est utilisé pour tracer la provenance et le cycle de l'azote dans les aliments, pour évaluer l'efficacité des pratiques agricoles et pour détecter les fraudes alimentaires.
- **Le carbone 13 ^{13}C (stable)** est utilisé pour détecter les fraudes alimentaires, pour déterminer l'origine géographique des aliments et pour évaluer la qualité et l'authenticité des produits alimentaires.
- **L'hydrogène 2 ^2H (stable)** (deutérium) est utilisé pour tracer l'origine de l'eau utilisée pour irriguer les cultures, pour produire les aliments et pour préparer les boissons.
- **Le carbone 14 ^{14}C** est utilisé pour déterminer l'âge des matières premières utilisées dans l'industrie alimentaire, comme le sucre, l'amidon et les huiles végétales.

Ces gaz isotopiques sont utilisés pour assurer la qualité, l'authenticité et la traçabilité des aliments et des boissons, ainsi que pour évaluer l'impact des pratiques agricoles sur l'environnement.



Les gaz isotopiques utilisés exploitation et production de pétrole et de gaz

Les gaz isotopiques sont également utilisés dans l'industrie pétrolière et gazière pour diverses applications.

Voici quelques exemples de gaz isotopiques couramment utilisés dans ce domaine :

- **L'hélium 3^3He (stable) et l'hélium 4^4He (stable)** sont utilisés pour identifier les réservoirs de gaz naturel et de pétrole en mesurant les niveaux d'hélium présents dans les fluides de forage.
- **Le carbone 13^{13}C (stable) et le soufre 34^{34}S (stable)** sont utilisés pour tracer l'origine géographique des huiles et des gaz, et pour déterminer la composition et les caractéristiques des réserves de pétrole et de gaz.
- **Le néon 20^{20}Ne (stable)** est utilisé pour tracer les échanges de gaz entre les réservoirs de pétrole et de gaz et les formations géologiques adjacentes.
- **L'hydrogène 3^3H (stable)** est utilisé pour tracer l'origine et le déplacement des fluides de forage et pour évaluer les impacts environnementaux des activités de forage.
- **Le carbone 14^{14}C** est utilisé pour dater les roches et les fluides de forage, et pour évaluer l'âge et la qualité des réserves de pétrole et de gaz.

Ces gaz isotopiques sont utilisés pour maximiser l'efficacité et la rentabilité de l'exploration et de la production de pétrole et de gaz, pour évaluer les impacts environnementaux de ces activités et pour assurer une gestion responsable des ressources énergétiques.



Tableau de synthèse des gaz isotopes stables dans les différents domaines d'applications

Isotope Stable	Physique	Chimie	Géologie	Environnement	Alimentaire	Pétrole Gaz
^{40}Ar	X		X			
^{13}C			X	X		X
$^{13}\text{C} (\text{CH}_4)$					X	
^2H		X		X		
$^2\text{H} (\text{H}_2\text{O})$					X	
^3He	X	X				X
^4He	X		X			X
^{15}N		X		X	X	
^{20}Ne						X
^{21}Ne			X			
^{18}O		X		X		
$^{18}\text{O} (\text{H}_2\text{O})$					X	
^{34}S			X			X

Gaz étalons Air Liquide à rapport isotopique stable

Les gaz étalons Air Liquide à rapport isotopique stable sont classés en deux groupes :

- **Les produits standard sont "prêts à être expédiés".**
- **Les produits à la demande** (dont la composition moléculaire (de ppm à %), isotopique est spécifique à votre besoin) **ils sont fabriqués spécialement pour vous.**

Si un matériau d'étalonnage gazeux spécifique avec un rapport isotopique est requis, Air Liquide est là pour satisfaire vos besoins spécifiques. Ensemble, nous trouverons la meilleure solution possible pour votre activité.

Nos gaz dans le domaine de la recherche sur l'environnement

Les analyses d'isotopes stables sont de plus en plus utilisées pour les recherches liées à l'environnement. Cela implique des applications telles que la datation de l'âge des eaux souterraines, la vérification de la contamination des décharges, la recherche de l'origine des nitrates dans les eaux souterraines, la recherche sur la végétation, les gaz à effet de serre dans l'atmosphère, etc.

Produits standards

Natural Air	Composition	Valeur Delta
Natural Air	CO ₂ 360 ~ 450 ppm CH ₄ 1700 ~ 2100 ppb CO 30 ~ 300 ppb N ₂ O 320 ~ 335 ppb SF ₆ 6 ~ 10 ppt SO ₂ < 60 ppt NO ₂ < 50 ppt NO _x < 50 ppt NO < 50 ppt	N/A
CO ₂ dans Natural Air	de 250 à 800 ppm de CO ₂	CO ₂ , δ ¹³ C = de -7.5 à -9.5 ‰ VPDB CO ₂ , δ ¹⁸ O = de -2 à +2 ‰ VPDB
Natural Air sans CO ₂	< 300 ppb de CO ₂	N/A
Standard Package	Bouteille: Aluminum 20L, 50L Valve: Rotarex D200 Raccord. : DIN14	

Produits personnalisés à la demande

Élément	Valeur delta	Gamme	Gas Selections
C	δ ¹³ C ~ ‰ VPDB	de -70 to +20	Air, CH ₄ et mélanges
C	δ ¹³ C ~ ‰ VPDB	Renseignez-vous	C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , n-C ₄ H ₁₀ , i-C ₄ H ₁₀ , n-C ₅ H ₁₂ , i-C ₅ H ₁₂ et mélanges
O	δ ¹⁸ O ~ ‰ VSMOW	de -30 à +10	CO, CO ₂ , Air et mélanges
H	δ ² H ~ ‰ VSMOW	de -300 à +100	CH ₄ et mélanges
H	δ ² H ~ ‰ VSMOW	Renseignez-vous	C ₂ H ₆ , C ₃ H ₈ , n-C ₄ H ₁₀ , i-C ₄ H ₁₀ , n-C ₅ H ₁₂ , i-C ₅ H ₁₂ et mélanges
N	δ ¹⁵ N ~ ‰ AIR	de -20 à +20	N ₂ , N ₂ O, NO _x , Air et mélanges
S	δ ³⁴ S ~ ‰ VCDT	de -20 à +20	SO ₂ , H ₂ S et mélanges (à la demande)
S	δ ³⁴ S ~ ‰ VCDT	de -25 à +25	SF ₆ et mélanges (en cours de développement)

À cette fin, Air Liquide a développé une gamme de gaz de référence fiables. Ces gaz peuvent être utilisés pour mesurer les rapports isotopiques de l'air naturel (avec ou sans CO₂).

Nos gaz pour le contrôle de la qualité et examen de l'authenticité des produits alimentaires

- La falsification ou l'adulteration des aliments et des boissons est une pratique de plus en plus courante, notamment le vin, l'huile d'olive et la viande.
- Pour détecter et combattre ces falsifications ou l'adulteration, des méthodes améliorées basées sur des mesures d'isotopes stables sont aujourd'hui disponibles. Ils peuvent être utilisés pour vérifier l'authenticité et la qualité de produits tels que le vin, le miel, l'huile d'olive, le fromage, la viande et le riz.
- L'empreinte "digitale" qui ressort de l'examen des rapports isotopiques donne une indication précise de l'origine, ce qui permet d'éviter la fraude.

Produits standards

Gaz purs		Élément	Valeur Delta	Incertitude
Dioxyde de carbone	CO ₂	δ ¹³ C (‰ VPDB)	-40	± 0.3
	CO ₂	δ ¹⁸ O (‰ VPDB)	-24	± 0.5
	CO ₂	δ ¹³ C (‰ VPDB)	-25	± 0.3
	CO ₂	δ ¹³ C (‰ VPDB)	-10	± 0.3
Azote	N ₂	δ ¹⁵ N (‰ Air)	0	± 0.5
Hydrogène	H ₂	δ ² H (‰ VSMOW)	-168	±10

Produits personnalisés à la demande

Gaz purs		Élément	Valeur delta
Dioxyde de carbone	CO ₂	δ ¹³ C (‰ VPDB)	de - 50 à + 20
	CO ₂	δ ¹⁸ O (‰ VPDB)	de - 30 à + 20
Monoxyde de carbone	CO	δ ¹³ C (‰ VPDB)	de - 300 à + 20
	CO	δ ¹⁸ O (‰ VSMOW)	de - 150 à + 10
Azote	N ₂	δ ¹⁵ N (‰ Air)	de - 10 à + 20
Hydrogène	H ₂	δ ² H (‰ VSMOW)	de - 700 à + 10

D'autres gaz purs et mélanges sont disponibles sur demande.

Air Liquide dispose de gaz de référence avec une grande précision analytique. Grâce à ces gaz, les mesures des rapports isotopiques peuvent être effectuées avec une grande précision.

Nos gaz pour l'exploitation et production de pétrole et de gaz

Mélanges biogéniques

Biogénique		CH ₄			C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	Gaz d'équilibre
		Haut	Moyen	Faible			
Bio 1.0 dans l'Air	Conc. (v/v)	2.5 %	2 500 ppm	250 ppm			Balance Air
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-69	-69	-69			
	δD (‰ VSMOW)*	-235	-235	-235			
Bio 2.0	Conc. (v/v)*	95 %			1 %		Balance N ₂
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-69			-30		
Bio 3.0	Conc. (v/v)	95 %			0,9 %	0,1 %	Balance N ₂
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-69			-30	-30	

L'étude des rapports isotopiques peut apporter des économies considérables dans l'exploitation du pétrole et du gaz. En effet, l'analyse des hydrocarbures dans les formations rocheuses et les fluides permet de retracer leur histoire géologique.

Les études isotopiques peuvent être utilisées comme outil de diagnostic pour déterminer si le pétrole (ou le gaz) récupéré dans un puits provient du même compartiment que le pétrole (ou le gaz) récupéré dans un autre puits. De cette façon, la production du puits peut être optimisée et un forage exploratoire moins coûteux est nécessaire.

Mélanges thermogéniques

Thermogénique		CH ₄			C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	nC ₄ H ₁₀	iC ₄ H ₁₀	nC ₅ H ₁₂	iC ₅ H ₁₂
		Haut	Moyen	Faible						
Thermo 1.1 dans l'Air	Conc. (v/v)	2.5 %	2 500 ppm	250 ppm						
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-45	-45	-45						
	δD (‰ VSMOW)*	-150	-150	-150						
Thermo 1.2 dans l'Air	Conc. (v/v)*	2.5 %	2500 ppm	250 ppm						
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-25	-25	-25						
	δD (‰ VSMOW)*	-120	-120	-120						
Thermo 2.0	Conc. (v/v)	80 %			15 %	5 %				
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-40			-30	-25				
Thermo 3.0	Conc. (v/v)*	75 %			10 %	8 %	3 %	2 %	1 %	1 %
	δ ¹³ C (‰ VPDB)*	-40			-30	-28	-28	-30	-25	-25

Ces gaz sont fabriqués en utilisant des méthodes de production et de purification de haute qualité pour garantir une pureté élevée et un rapport isotopique stable.

Ils sont également utilisés comme référence pour la mesure de la composition isotopique d'autres échantillons, tels que l'eau, les sols, les plantes et les animaux.

Mélanges à la demande avec des compositions moléculaires (de ppm à %) et isotopiques spécifiques au client sont disponibles	
1	C1 avec δ ¹³ C = -69 to 0 ‰
2	C2 avec δ ¹³ C = -28 ‰
3	C3 avec δ ¹³ C = -32 or -22 ‰
4	C4 avec δ ¹³ C = -30 ‰ δ ¹³ C
5	C5 avec δ ¹³ C = -25 ‰ δ ¹³ C

Veuillez vous renseigner sur les ajustements δ¹³C et/ou δ²H

Air Liquide France Industrie

fr.airliquide.com



6, rue Cognacq Jay
75007 - France

contact.alfi@airliquide.com

Air Liquide est un leader mondial des gaz, des technologies et des services pour l'industrie et la santé. Avec quelque 67 100 employés dans 73 pays, Air Liquide sert plus de 3,9 millions de clients et de patients.

Production d'Air Liquide - Décembre 2023 - Photo credits : Air Liquide