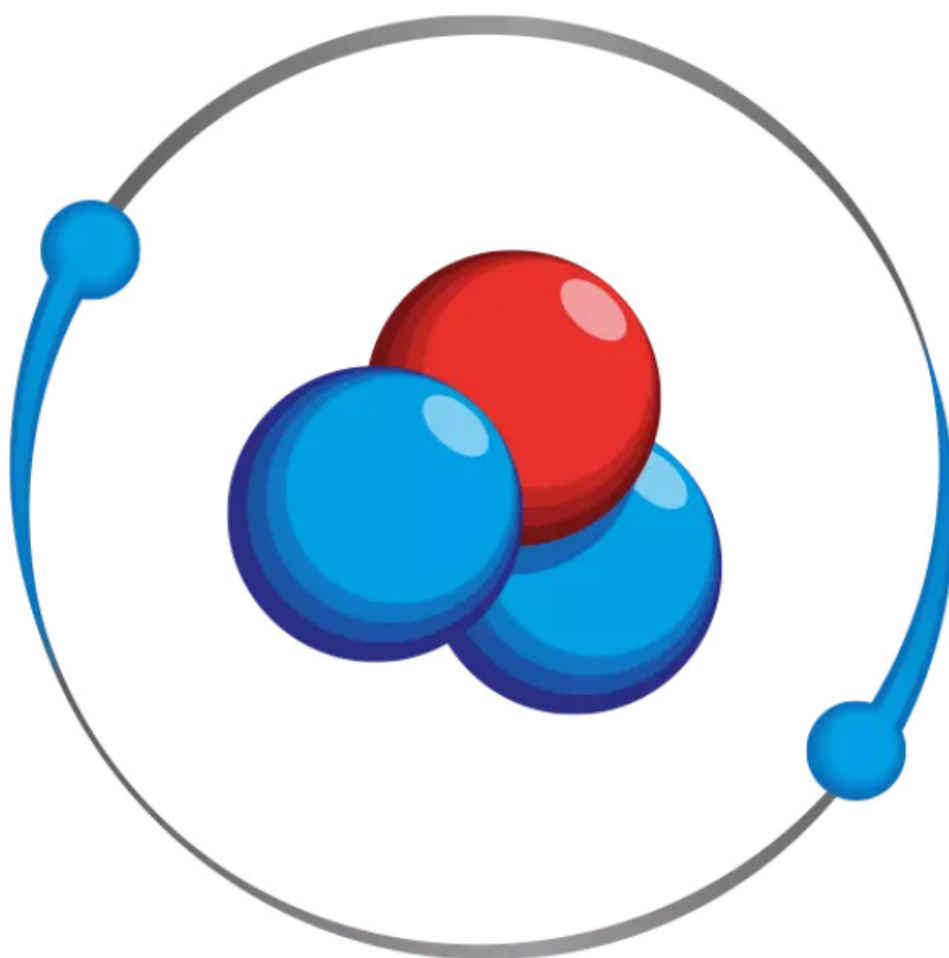




# Les **méthodes de production** des gaz isotopiques



## Définition gaz isotopique

**Les isotopes sont des formes d'un élément qui ont un nombre différent de neutrons dans leur noyau, ce qui peut entraîner des différences de masse atomique.**

**Un isotope est stable lorsqu'il y a un équilibre entre le nombre de neutrons et le nombre de protons.** Lorsqu'un isotope est petit et stable, il contient pratiquement le même nombre de protons que de neutrons. Les isotopes stables plus volumineux ont légèrement plus de neutrons que de protons

Par exemple, l'hydrogène a trois isotopes naturels dont 2 stables l'hydrogène ordinaire (H-1) et le deutérium (H-2) notés  $^1\text{H}$  et  $^2\text{H}$ . Bien que ces isotopes aient des masses atomiques différentes, ils ont des propriétés chimiques et physiques similaires et peuvent donc être considérés comme du gaz isotopique d'hydrogène.

# Gaz isotopique instable (radio-isotopes)

Les gaz isotopiques instables sont des isotopes radioactifs gazeux, qui se désintègrent avec le temps en émettant des particules ionisantes comme des rayons alpha, bêta ou gamma. Les gaz isotopiques instables sont généralement produits dans des réacteurs nucléaires ou par des processus naturels, tels que la désintégration radioactive des éléments lourds dans la croûte terrestre.

Les gaz isotopiques instables les plus couramment connus sont le radon-222  $^{222}\text{Rn}$ , le krypton-85  $^{85}\text{Kr}$  et le xénon-133  $^{133}\text{Xe}$ .



## Le radon-222

Le radon-222 est un gaz radioactif produit par la désintégration de l'uranium et du thorium dans la croûte terrestre. Il est un gaz noble incolore, inodore et insipide qui se diffuse facilement dans l'air.

## Le krypton-85

Le krypton-85 est produit dans les réacteurs nucléaires et les explosions nucléaires, et il est souvent utilisé comme indicateur de la prolifération nucléaire.

## Le xénon-133

Le xénon-133 est un gaz noble radioactif produit par la désintégration de l'iode-133, et il est souvent utilisé en médecine pour l'imagerie pulmonaire.

Les gaz isotopiques instables peuvent être dangereux pour la santé car ils émettent des particules ionisantes qui peuvent endommager les cellules du corps.

Le radon-222, en particulier, est un gaz cancérigène connu qui peut causer le cancer du poumon chez les personnes qui y sont exposées pendant de longues périodes. Les professionnels de la santé, les travailleurs des installations nucléaires et les personnes vivant dans des zones à risque doivent être conscients de ces risques et prendre les mesures nécessaires pour se protéger.

## À propos du carbone-14 $^{14}\text{C}$

Le carbone-14  $^{14}\text{C}$  est un isotope radioactif du carbone. Il est produit dans l'atmosphère terrestre par l'interaction des rayons cosmiques avec les atomes d'azote. Le  $^{14}\text{C}$  se combine avec l'oxygène pour former du dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), qui est ensuite absorbé par les plantes lors de la photosynthèse. Les animaux mangent les plantes, incorporant ainsi le  $^{14}\text{C}$  dans leur corps.

Le  $^{14}\text{C}$  a une demi-vie d'environ 5730 ans, ce qui signifie que la moitié du  $^{14}\text{C}$  présent dans un échantillon se désintégrera en 5730 ans. Cette caractéristique est utilisée en archéologie et en géologie pour déterminer l'âge des matériaux organiques tels que les os, les coquilles et les charbons de bois. En mesurant la quantité de  $^{14}\text{C}$  restante dans un échantillon et en comparant avec la quantité de  $^{14}\text{C}$  attendue dans un échantillon frais, il est possible de déterminer l'âge de l'échantillon.

La datation au carbone-14  $^{14}\text{C}$  est une méthode de datation absolue, ce qui signifie qu'elle donne une estimation directe de l'âge d'un échantillon en années. Cependant, la méthode est limitée aux échantillons organiques datant de moins de 50 000 ans. Au-delà de cette limite, la quantité de  $^{14}\text{C}$  restante est trop faible pour être détectée avec précision.

## En résumé

Les isotopes instables sont ceux qui subissent une désintégration radioactive et, lors de ce processus, se transforment en d'autres éléments. Certains isotopes instables ont des demi-vies très courtes (moins d'une nanoseconde), tandis que d'autres en ont de très longues (des billions d'années).



## Gaz isotopiques stables

Les gaz isotopiques stables sont des gaz qui contiennent des isotopes qui ne subissent pas de désintégration radioactive, c'est-à-dire que leur noyau ne se décompose pas spontanément en émettant des particules radioactives. Les isotopes stables sont généralement présents en abondance naturelle et ne sont pas radioactifs.

Les gaz isotopiques stables sont utilisés dans de nombreuses applications scientifiques, notamment en physique, en chimie, en géologie, en biologie et en médecine. Voici quelques exemples d'applications courantes des gaz isotopiques stables :

- **Analyse isotopique** : Les gaz isotopiques stables peuvent être utilisés pour déterminer l'origine géographique, la composition ou l'histoire de divers échantillons, tels que les roches, les sols, les eaux souterraines, les aliments, les médicaments ou les tissus biologiques.
- **Traceurs isotopiques** : Les gaz isotopiques stables peuvent être utilisés comme traceurs pour suivre le comportement des éléments chimiques dans les systèmes biologiques, environnementaux ou industriels. Par exemple, le  $\text{CO}_2$  marqué au C-13  $^{13}\text{C}$  peut être utilisé pour suivre le métabolisme du carbone chez les plantes ou les animaux.
- **Géochimie** : Les gaz isotopiques stables peuvent être utilisés pour étudier la géologie, l'océanographie, la météorologie ou la climatologie. Par exemple, l'analyse des isotopes de l'oxygène et de l'hydrogène dans les gaz atmosphériques peut aider à comprendre les changements climatiques passés et futurs.
- **Industrie** : Les gaz isotopiques stables peuvent être utilisés dans l'industrie pour tracer les fuites de gaz, pour contrôler la qualité des produits chimiques, pour détecter les fraudes ou les contrefaçons, ou pour améliorer les processus de production.

En résumé, les gaz isotopiques stables sont des outils précieux pour la recherche scientifique et l'industrie, car ils fournissent des informations précises et fiables sur la composition, la provenance, le comportement et l'histoire des substances.

# La production de gaz et mélanges isotopiques

Les gaz isotopiques sont produits de différentes manières, en fonction de l'isotope et de l'application.

Voici quelques-unes des méthodes courantes de production de gaz isotopique.

## 1 Fractionnement isotopique

Le fractionnement isotopique est une technique qui permet de produire des isotopes stables en séparant les différentes masses isotopiques d'un élément chimique.

Cette technique est basée sur la différence dans la masse atomique des isotopes d'un élément et sur leur propriété de réagir différemment dans divers processus chimiques.

Le fractionnement isotopique est une technique importante dans de nombreux domaines. En géochimie, en physique nucléaire, en médecine et en industrie. Il est utilisé pour produire des isotopes stables pour la recherche scientifique, la médecine nucléaire, la datation isotopique et d'autres applications.

### 1.1 La distillation isotopique

La distillation isotopique est une technique de fractionnement isotopique qui est basée sur les différences de volatilité des isotopes. Elle est utilisée pour produire des isotopes légers tels que l'hélium-3  $^3\text{H}$ . Cette technique consiste à vaporiser un mélange isotopique liquide, puis à condenser la vapeur pour récupérer les isotopes légers qui se sont évaporés en premier.

Cette méthode est utilisée pour produire des isotopes hautement enrichis.

Le principe de la distillation isotopique repose sur le fait que les isotopes d'un élément ont des propriétés physiques légèrement différentes en raison de leur masse atomique différente. Cette différence de masse peut être exploitée pour séparer les isotopes à l'aide d'un processus de distillation fractionnée.

Le processus de distillation isotopique peut être réalisé à l'aide de plusieurs méthodes, notamment la distillation cryogénique, la distillation à la colonne et la diffusion gazeuse. La méthode choisie dépend du type d'isotope à produire, de la quantité nécessaire et des coûts associés.

#### Applications marchés

La distillation isotopique est utilisée dans de nombreuses applications, notamment **la production d'isotopes médicaux, la recherche scientifique, la production d'énergie nucléaire et l'industrie des semi-conducteurs**. Cependant, elle est également un processus coûteux et complexe, nécessitant des équipements spécialisés et une expertise technique élevée.





## 1.2 L'électrolyse isotopique

L'électrolyse isotopique est une technique de fractionnement isotopique qui est basée sur les différences de réactivité électrochimique des isotopes. Elle est utilisée pour produire des isotopes lourds tels que l'oxygène-18  $^{18}\text{O}$ . Cette technique consiste à faire passer un courant électrique à travers un électrolyte contenant un mélange isotopique. Les isotopes plus lourds sont préférentiellement séparés sur l'anode, tandis que les isotopes plus légers sont séparés sur la cathode. Cette méthode est utilisée pour produire des isotopes hautement enrichis pour des applications médicales, scientifiques et industrielles.

Le principe de l'électrolyse isotopique est basé sur les différences de masse moléculaire entre les isotopes, ce qui affecte leur vitesse de migration à travers un électrolyte lorsqu'ils sont soumis à un courant électrique. Les isotopes plus lourds se déplacent plus lentement que les isotopes plus légers et peuvent être séparés de manière sélective en fonction de leur vitesse de migration.

La méthode d'électrolyse isotopique peut être utilisée pour produire des isotopes stables tels que l'oxygène-18  $^{18}\text{O}$  et le deutérium  $^2\text{H}$ , ainsi que des isotopes radioactifs tels que le tritium. Le choix des électrolytes et des conditions de l'électrolyse dépendent de l'isotope à produire.

L'électrolyse isotopique est une méthode relativement coûteuse et complexe, nécessitant des équipements spécialisés et une expertise technique élevée. Elle est souvent utilisée en combinaison avec d'autres méthodes de séparation isotopique pour produire des isotopes hautement enrichis pour des applications spécifiques.

## 1.3 La chromatographie isotopique

La chromatographie isotopique est une technique de fractionnement isotopique qui est basée sur les différences d'affinité chimique des isotopes. Elle est utilisée pour produire des isotopes lourds tels que le carbone-13  $^{13}\text{C}$  et l'azote-15  $^{15}\text{N}$ . Cette technique consiste à faire passer un mélange isotopique à travers une colonne de chromatographie contenant un matériau de remplissage qui a une affinité différente pour chaque isotope. Les isotopes sont ensuite élués séparément de la colonne.

Le principe de la chromatographie isotopique repose sur la différence de comportement de migration des isotopes dans une phase mobile et une phase stationnaire en raison de leur différence de masse atomique. La phase mobile est un gaz ou un liquide qui transporte les isotopes à travers une colonne de chromatographie, tandis que la phase stationnaire est un matériau solide ou liquide qui sépare les isotopes en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques.

Dans la chromatographie isotopique, les isotopes se déplacent à des vitesses différentes dans la colonne de chromatographie en fonction de leur masse atomique. Les isotopes plus légers se déplacent plus rapidement que les isotopes plus lourds et peuvent être séparés de manière sélective en fonction de leur vitesse de migration.

Il existe plusieurs types de chromatographie isotopique, notamment la chromatographie en phase gazeuse (CG) et la chromatographie liquide haute performance (HPLC). La méthode choisie dépend du type d'isotope à analyser et de la quantité d'échantillon disponible.

La chromatographie isotopique est largement utilisée pour analyser la composition isotopique des composés organiques et inorganiques, ainsi que pour l'analyse des gaz atmosphériques et des isotopes radioactifs.

## Réaction nucléaire

Certains isotopes de gaz peuvent être produits par des réactions nucléaires. Par exemple, l'isotope H-3 (tritium)  $^3\text{H}$  est produit par la réaction nucléaire entre le lithium et le neutron.

La création de gaz isotopiques par réactions nucléaires implique la transformation d'un noyau atomique en un autre par l'ajout ou la perte de particules subatomiques, comme les protons ou les neutrons. Cette transformation peut être obtenue par des réactions nucléaires, telles que la fusion, la fission ou la capture neutronique.

### 2.1 La fusion nucléaire

La fusion nucléaire est une réaction dans laquelle deux noyaux légers, tels que ceux de l'hydrogène, sont combinés pour former un noyau plus lourd, tel que celui de l'hélium. Cette réaction libère une grande quantité d'énergie sous forme de rayonnement et de particules.

### 2.2 La fission nucléaire

La fission nucléaire est une réaction dans laquelle un noyau lourd, tel que celui de l'uranium, est divisé en deux noyaux plus légers, libérant ainsi de l'énergie sous forme de chaleur et de rayonnement.

### 2.3 La capture neutronique

La capture neutronique est une réaction dans laquelle un noyau capture un neutron, formant un noyau plus lourd et libérant de l'énergie sous forme de rayonnement.



#### Applications marchés

La création de gaz isotopiques par réactions nucléaires est largement utilisée dans l'industrie nucléaire pour produire des isotopes radioactifs utilisés dans la médecine, la recherche scientifique et d'autres applications.

Par exemple, le technétium-99m, un isotope utilisé couramment en médecine nucléaire pour l'imagerie médicale, est produit par la capture neutronique du molybdène-98 dans un réacteur nucléaire.



### 3 Irradiation

Certains gaz isotopiques peuvent être produits en irradiant des cibles avec des particules chargées, des neutrons ou des photons. Par exemple, l'isotope Xe-133  $^{133}\text{Xe}$  est produit en irradiant du Xe-132  $^{132}\text{Xe}$  avec des neutrons.

Le processus de création de gaz isotopiques par irradiation peut être réalisé de plusieurs façons, mais la méthode la plus courante est l'irradiation d'une cible contenant l'isotope souhaité avec un faisceau de particules chargées. Les particules chargées sont généralement des protons ou des neutrons, mais d'autres particules, telles que les ions lourds, peuvent également être utilisées.

Lorsque les particules chargées interagissent avec la cible, elles transfèrent de l'énergie aux noyaux des atomes de la cible, provoquant ainsi des réactions nucléaires qui conduisent à la création d'isotopes spécifiques. Les produits de ces réactions peuvent être des isotopes instables qui se désintègrent rapidement en émettant des particules ou des rayonnements, ou des isotopes stables qui sont récupérés sous forme de gaz.

### 4 Échange isotopique

Cette méthode consiste à remplacer un isotope dans une molécule de gaz par un autre isotope. Par exemple, l'isotope O-18  $^{18}\text{O}$  peut être échangé avec l'isotope O-16  $^{16}\text{O}$  dans les molécules de  $\text{CO}_2$  en utilisant de l'eau oxygénée  $\text{H}_2\text{O}$ -18.

La création de gaz isotopiques par échange isotopique est un processus qui implique le remplacement d'un ou plusieurs atomes d'un gaz par un ou plusieurs isotopes d'un autre élément.

Le processus de création de gaz isotopiques par échange isotopique dépend de la réactivité chimique des isotopes impliqués. Les isotopes qui ont une réactivité similaire peuvent être remplacés facilement, tandis que les isotopes qui ont des propriétés chimiques très différentes peuvent nécessiter des processus plus complexes.

Le procédé d'échange isotopique le plus courant est l'échange gazeux, qui implique la mise en contact d'un gaz contenant un isotope avec un autre gaz contenant l'isotope souhaité. Les deux gaz doivent avoir des propriétés physiques et chimiques similaires pour que l'échange isotopique puisse se produire efficacement.

## 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 <sub>2</sub> 360 ~ 450 ppm CH <sub>4</sub> 1700 ~ 2100 ppb CO 30 ~ 300 ppb N <sub>2</sub> O 320 ~ 335 ppb SF <sub>6</sub> 6 ~ 10 ppt SO <sub>2</sub> < 60 ppt NO <sub>2</sub> < 50 ppt NO <sub>x</sub> < 50 ppt NO < 50 ppt	N/A
CO <sub>2</sub> dans Natural Air	de 250 à 800 ppm de CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , δ <sup>13</sup> C = de -7.5 à -9.5 ‰ VPDB CO <sub>2</sub> , δ <sup>18</sup> O = de -2 à +2 ‰ VPDB
Natural Air sans CO <sub>2</sub>	< 300 ppb de CO <sub>2</sub>	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 <sup>13</sup> C ~ ‰ VPDB	de -70 to +20	Air, CH <sub>4</sub> et mélanges
C	δ <sup>13</sup> C ~ ‰ VPDB	Renseignez-vous	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> , i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> et mélanges
O	δ <sup>18</sup> O ~ ‰ VSMOW	de -30 à +10	CO, CO <sub>2</sub> , Air et mélanges
H	δ <sup>2</sup> H ~ ‰ VSMOW	de -300 à +100	CH <sub>4</sub> et mélanges
H	δ <sup>2</sup> H ~ ‰ VSMOW	Renseignez-vous	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> , n-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , i-C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , n-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> , i-C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> et mélanges
N	δ <sup>15</sup> N ~ ‰ AIR	de -20 à +20	N <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, NO <sub>x</sub> , Air et mélanges
S	δ <sup>34</sup> S ~ ‰ VCDT	de -20 à +20	SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S et mélanges (à la demande)
S	δ <sup>34</sup> S ~ ‰ VCDT	de -25 à +25	SF <sub>6</sub> 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 CO<sub>2</sub>).

# 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 <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)	-40	± 0.3
	CO <sub>2</sub>	δ <sup>18</sup> O (‰ VPDB)	-24	± 0.5
	CO <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)	-25	± 0.3
	CO <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)	-10	± 0.3
Azote	N <sub>2</sub>	δ <sup>15</sup> N (‰ Air)	0	± 0.5
Hydrogène	H <sub>2</sub>	δ <sup>2</sup> H (‰ VSMOW)	-168	±10

## Produits personnalisés à la demande

Gaz purs		Élément	Valeur delta
Dioxyde de carbone	CO <sub>2</sub>	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)	de - 50 à + 20
	CO <sub>2</sub>	δ <sup>18</sup> O (‰ VPDB)	de - 30 à + 20
Monoxyde de carbone	CO	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)	de - 300 à + 20
	CO	δ <sup>18</sup> O (‰ VSMOW)	de - 150 à + 10
Azote	N <sub>2</sub>	δ <sup>15</sup> N (‰ Air)	de - 10 à + 20
Hydrogène	H <sub>2</sub>	δ <sup>2</sup> 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 <sub>4</sub>			C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	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 <sup>13</sup> C (‰ VPDB)*	-69	-69	-69			
	δD (‰ VSMOW)*	-235	-235	-235			
Bio 2.0	Conc. (v/v)*	95 %			1 %		Balance N <sub>2</sub>
	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)*	-69			-30		
Bio 3.0	Conc. (v/v)	95 %			0,9 %	0,1 %	Balance N <sub>2</sub>
	δ <sup>13</sup> 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 <sub>4</sub>			C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	nC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	iC <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	nC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	iC <sub>5</sub> H <sub>12</sub>
		Haut	Moyen	Faible						
Thermo 1.1 dans l'Air	Conc. (v/v)	2.5 %	2 500 ppm	250 ppm						
	δ <sup>13</sup> 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 <sup>13</sup> C (‰ VPDB)*	-25	-25	-25						
	δD (‰ VSMOW)*	-120	-120	-120						
Thermo 2.0	Conc. (v/v)	80 %			15 %	5 %				
	δ <sup>13</sup> C (‰ VPDB)*	-40			-30	-25				
Thermo 3.0	Conc. (v/v)*	75 %			10 %	8 %	3 %	2 %	1 %	1 %
	δ <sup>13</sup> 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 <sup>13</sup> C = -69 to 0 ‰
2	C2 avec δ <sup>13</sup> C = -28 ‰
3	C3 avec δ <sup>13</sup> C = -32 or -22 ‰
4	C4 avec δ <sup>13</sup> C = -30 ‰ δ <sup>13</sup> C
5	C5 avec δ <sup>13</sup> C = -25 ‰ δ <sup>13</sup> C

Veuillez vous renseigner sur les ajustements δ<sup>13</sup>C et/ou δ<sup>2</sup>H

Air Liquide France Industrie

[fr.airliquide.com](http://fr.airliquide.com)



6, rue Cognacq Jay  
75007 - France

[contact.alfi@airliquide.com](mailto: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, Getty Images, iStock