

## Installation de la spectroscopie Raman en zone explosible (ATEX, IECEx, NEC/CEC)

Découvrez comment les systèmes de spectroscopie Raman sont installés en toute sécurité dans des zones explosibles. Cet article explique les risques d'ignition optique, les concepts de protection et comment ATEX, IECEx et les normes nord-américaines influent sur la conception et l'installation conformes des systèmes Raman.



## Périmètre et hypothèses

Cet article d'apprentissage se concentre sur les systèmes de spectroscopie Raman installés en atmosphère gazeuse explosible, y compris les zones ATEX 0/1/2 et IECEx ainsi que les environnements de la classe I nord-américaine (NEC/CEC).

Il explique :

- Pourquoi les systèmes Raman sont soumis aux exigences s'appliquant aux zones explosibles et dans quels cas leur installation doit être conforme.
- Comment les risques d'ignition optique apparaissent et sont évalués et réduits ;
- Comment les cadres ATEX, IECEx et nord-américains transposent les mêmes principes de sécurité physique en certification et règles d'installation.
- Comment les risques d'ignition optique sont gérés au moyen de concepts de limitation de puissance (Ex op is) et de systèmes verrouillés (Ex op sh), et en quoi cela impacte l'étiquetage et l'installation.

Remarque : l'équipement de spectroscopie Raman n'est pas certifié pour l'utilisation dans des atmosphères explosibles contenant des poussières, des poudres ou des fibres. Ces environnements ne sont donc pas abordés dans le présent article. Cet article ne traite pas non plus des mécanismes d'ignition non optique ni des procédures nationales détaillées de mise en conformité, qui nécessitent des approches distinctes de conception et certification des systèmes.

### Ce que vous allez apprendre

- Quand les installations de spectroscopie Raman doivent respecter les exigences des zones dangereuses
- Comment les risques d'inflammation optique sont évalués et contrôlés
- Comment les cadres ATEX, IECEx et nord-américains influencent l'installation des systèmes Raman
- Comment ces risques sont gérés au moyen de la limitation de puissance (op is) et du système interverrouillé (op sh), et l'impact sur le marquage et l'installation

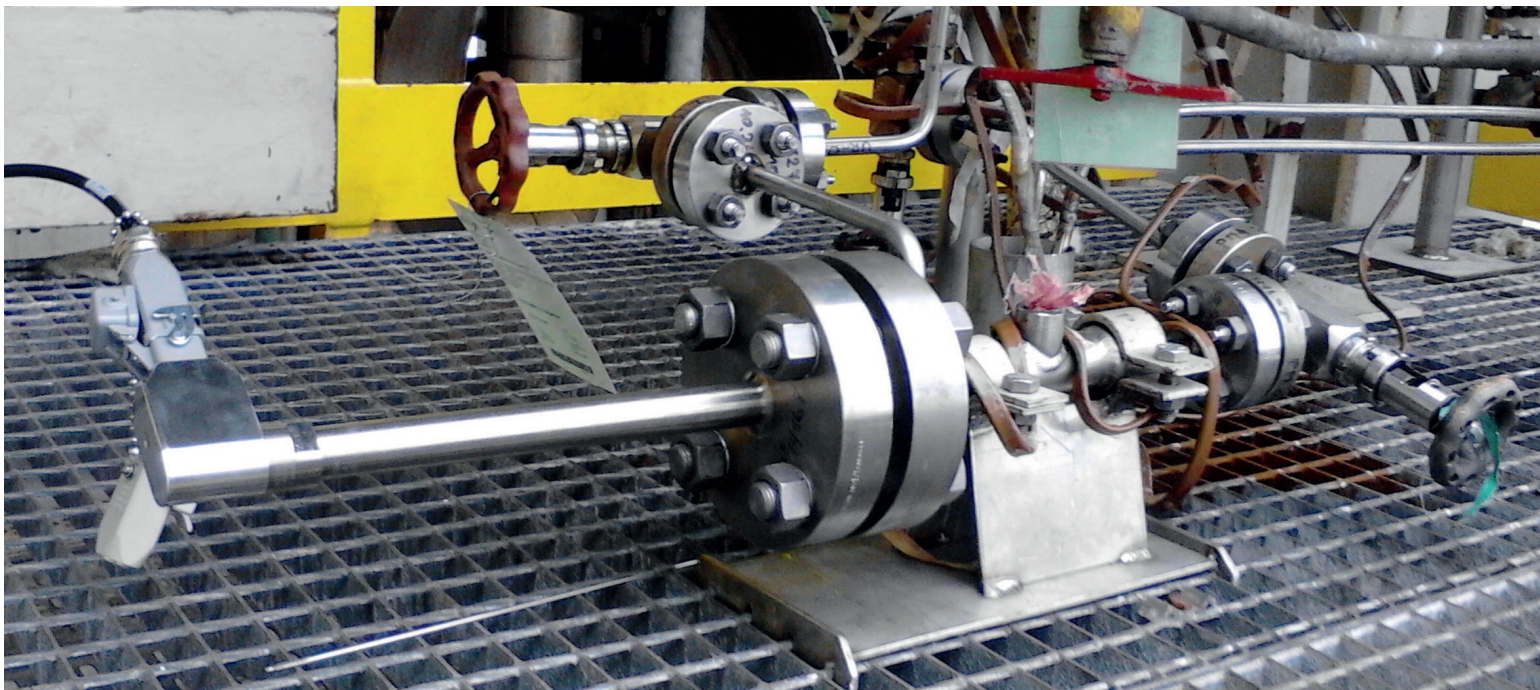
## L'installation de systèmes Raman est-elle soumise à la conformité aux réglementations de protection contre les explosions ?

Les systèmes de spectroscopie Raman peuvent devenir une source potentielle d'ignition lorsque le rayonnement optique est concentré dans une atmosphère de gaz ou vapeur inflammable, même si les sondes Raman ne génèrent pas d'étincelles ou ne contiennent pas de composants électriques chauds au point de mesure.

Les risques d'ignition sont dus à un réchauffement local causé par la concentration d'énergie optique au niveau de surfaces ou de particules. Dès qu'une installation Raman est exposée à une atmosphère susceptible de contenir une combinaison d'oxygène et de vapeurs de gaz ou brouillards inflammables, elle est considérée comme située en zone explosible et doit être conforme aux exigences pertinentes en matière d'équipement pour zone explosible.

### Principal enseignement

La conformité aux réglementations de protection contre les explosions pour la spectroscopie Raman est déterminée par les lois physiques de l'ignition optique, et non pas seulement par la formation d'étincelles électriques ou la législation locale.





## Cadres applicables aux zones dangereuses : ATEX, IECEx et Amérique du Nord (NEC/CEC)

La conformité des systèmes Raman aux réglementations de protection contre les explosions est régie par les mêmes principes de sécurité physique dans le monde entier. Les cadres régionaux diffèrent essentiellement par le mode de classification et de documentation des zones explosibles, et non par la logique d'installation sous-jacente ou les mécanismes de prévention d'ignition.

### Mêmes règles physiques, cadres différents

Les normes ATEX (Europe) et IECEx (monde entier) utilisent un système de classification par zones (avec les zones 0, 1 et 2) pour définir la probabilité et la durée de la présence d'atmosphères gazeuses explosibles. Ces zones déterminent les endroits auxquels des sondes Raman peuvent être installées et les concepts de protection devant être appliqués.

- ATEX(UE) est un cadre réglementaire rattaché au marquage CE.
- IECEx(monde entier) définit un système de conformité global basé sur les normes IEC.

Les normes nord-américaines (NEC/CEC) appliquent des concepts de classe/division ou de classe/zone aux atmosphères explosibles gazeuses (classe I), avec des agréments d'équipement généralement délivrés par UL, FM ou CSA.

Si la terminologie diffère, l'intention est la même : catégoriser les atmosphères explosibles et assurer la maîtrise des sources d'ignition.

### Dans toutes les régions, les mêmes principes s'appliquent :

- La classification en zones explosibles définit l'endroit où les sondes optiques et les composants associés peuvent être installés (zones pour ATEX/IECEx, classe/division ou classe/zone pour NEC/CEC).
- Le confinement des faisceaux, y compris les systèmes de verrouillage sur les trajets optiques et les connexions à fibre, ainsi que la limitation de la puissance laser au point de mesure (extrémité de la sonde), empêchent l'ignition optique.
- Des concepts de protection optique sont appliqués au niveau système pour s'assurer que le rayonnement laser ne puisse pas provoquer l'ignition d'une atmosphère gazeuse inflammable.

## Zones et classes : ce qu'elles signifient pour les sondes et les analyseurs

### Détermination de la zone selon la sonde et évaluation au niveau système

Dans les installations Raman, c'est l'emplacement de l'extrémité de la sonde qui détermine les exigences de protection antidéflagrante. En effet, c'est là que l'énergie optique est introduite intentionnellement dans le process.

- Zone 0 : atmosphère explosible présente en continu ou sur une longue durée
- Zone 1 : peut se produire occasionnellement
- Zone 2 : peu probable ou présence de courte durée

L'analyseur est souvent installé matériellement dans une zone non explosible (générale, tandis que les câbles à fibre optique relient l'analyseur à la sonde dans la zone 0, 1 ou 2.



### Nuance importante concernant le niveau système

Même installé en zone générale, l'analyseur peut toujours nécessiter un marquage pour zone explosible (Ex) s'il fait partie d'un système qui transmet de l'énergie optique dans une zone explosible. Dans de tels cas, l'évaluation et le marquage de l'analyseur reposent sur son raccordement fonctionnel à la zone explosible, et non pas seulement sur son emplacement matériel.

La liste suivante montre les équivalences approximatives de conception entre les zones gaz ATEX (à gauche) et les classifications nord-américaines (à droite). Si la terminologie diffère, la logique de risque d'ignition est la même.

- Zone 0 → Classe I, division 1
- Zone 1 → Classe I, division 1
- Zone 2 → Classe I, division 2

## Éléments essentiels du marquage des systèmes Raman

Les éléments clés du marquage des systèmes Raman comprennent :

- Le groupe d'équipements : groupe II (industries des surfaces telles que les secteurs chimique et pharmaceutique)
- Le niveau de protection de l'équipement (EPL) :
  - Ga → Zone 0
  - Gb → Zone 1
  - Gc → Zone 2
- Les groupes de gaz : IIA, IIB, IIC (IIC étant le plus exigeant)
- La classe de température : p. ex. T6 (85 °C), T4 (135 °C)

Le groupe de gaz et la classe de température sont indiqués par le propriétaire de l'installation sur la base des données de process. Ils ont une influence déterminante sur le marquage final du système.

## Ignition optique et protection : IEC 60079-28:2015, Ex op is, et puissance maximale

### Risque d'ignition optique

Le rayonnement optique peut provoquer l'ignition d'atmosphères inflammables lorsque l'énergie est concentrée et absorbée par de petites surfaces ou des particules. IEC 60079-28:2015 décrit ce mécanisme et définit des concepts de protection pour prévenir l'ignition dans les atmosphères explosibles.

La norme comprend des tableaux de référence définissant des limites de puissance pour un rayonnement optique intrinsèquement sûr (Ex op is) pour des longueurs d'onde, conditions d'exposition et groupes de gaz spécifiques. Ces tableaux fournissent des indications de base pour les niveaux de puissance optiques considérés comme non inflammables dans des hypothèses définies.

Dans les applications Raman sur le terrain, la limite de puissance de sécurité sûre applicable doit être confirmée par une évaluation des risques laser. L'évaluation des risques laser prend en compte non seulement les valeurs de référence standard, mais aussi les paramètres spécifiques à l'application, dont :

- Le groupe de gaz et la sensibilité à l'ignition
- La longueur d'onde et la forme du faisceau
- La durée d'exposition et la focalisation optique
- La conception de la sonde et les hypothèses de défaut

L'évaluation des risques laser définit ainsi la puissance laser maximale admissible à l'extrémité de la sonde et le marquage Ex final du système.

### Rayonnement optique à sécurité intrinsèque (Ex op is)

Ex op is limite l'énergie optique de manière à empêcher l'ignition en fonctionnement normal et dans des conditions de défaut définies. Dans les systèmes Raman, ceci est généralement obtenu par limitation de la puissance laser à l'extrémité de la sonde.

Il n'y a pas de valeur de puissance laser sûre universelle. Si la norme IEC 60079-28 fournit des limites de référence, la puissance maximale admissible reste spécifique à l'application et doit être validée par l'évaluation des risques laser, qui définit l'enveloppe de fonctionnement sûre et le marquage final du système.

### Systèmes optiques verrouillés (Ex op sh)

Ex op sh autorise un niveau de puissance optique plus élevé, mais fait appel à des mesures techniques de sécurité et des systèmes de verrouillage pour assurer la désactivation du rayonnement optique chaque fois que des conditions propices à l'ignition risquent d'apparaître.

Ce concept est couramment utilisé quand :

- Les performances de mesure nécessitent une puissance laser supérieure aux limites définies par Ex op is
- Une détection et une atténuation fiables des dangers sont possibles

Ex op sh peut inclure :

- La détection des ruptures de câble
- Des systèmes de verrouillage des connexions à fibre
- La surveillance des conditions de process (p. ex. perte de couverture liquide)
- L'arrêt automatique du laser

Ex op sh s'applique au niveau système et peut inclure des composants situés hors de la zone explosible.

## Raman system in hazardous area: Optical protection concepts

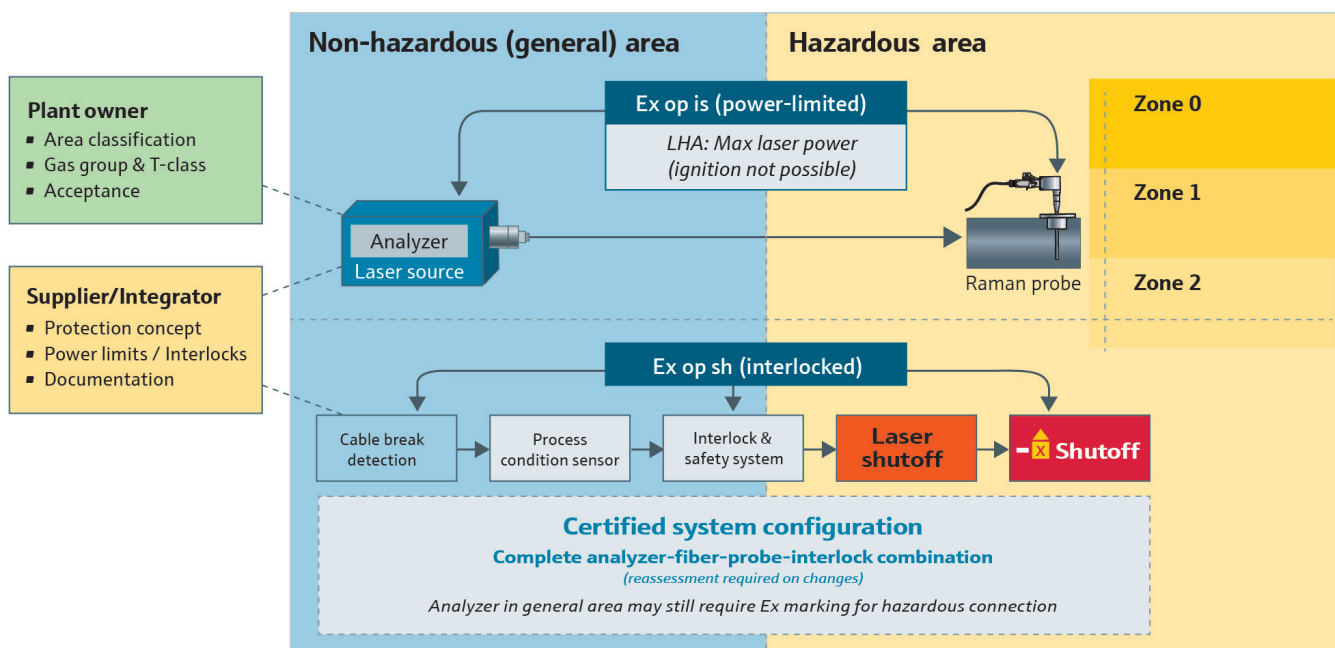


Figure 1 : Vue d'ensemble d'une installation Raman en zone explosible

### Pourquoi Ex op sh est pertinent au-delà des zones dangereuses permanentes

Dans de nombreuses applications de process, les sondes Raman sont installées dans des environnements normalement non explosibles, comme des conduites ou cuves remplies de liquide. En fonctionnement normal, la présence de liquide empêche la formation d'une atmosphère gazeuse inflammable à l'extrémité de la sonde.

Cependant, les conditions de process peuvent changer. Une perte de couverture liquide, un dégazage, un assèchement ou des anomalies de fonctionnement peuvent entraîner la formation temporaire de gaz ou phase vapeur inflammable au point de mesure. Dans de tels cas, le risque d'ignition optique peut changer de manière dynamique même si l'installation n'est pas classifiée comme dangereuse en permanence.

Des lignes directrices industrielles, dont les recommandations NAMUR, reconnaissent ce cas et décrivent l'utilisation de concepts de protection optique par verrouillage (Ex op sh) pour gérer les environnements conditionnellement explosifs. Dans ces cas, Ex op sh autorise non seulement une puissance optique plus élevée, mais garantit que le rayonnement optique est automatiquement désactivé chaque fois que les conditions évoluent vers un état propice à l'ignition (par exemple en cas de perte de couverture liquide).

Cette approche permet de mettre en œuvre la spectroscopie Raman en toute sécurité dans les process où des atmosphères explosibles ne sont pas prévues en fonctionnement normal, mais ne peuvent pas être exclues dans des conditions anormales ou transitoires déterminées, à condition que la logique de détection, les systèmes de verrouillage et le comportement de mise à l'arrêt soient clairement définis et validés au niveau système.

## Architectures système et schémas d'installation types

L'installation type d'un système Raman comprend :

- Un analyseur situé dans une zone non explosible ou, si applicable, dans une enveloppe certifiée pour l'installation en zone 1/division 2
- Des câbles à fibre optique posés dans des zones explosibles
- Une sonde Raman certifiée Ex (ATEX, IECEx ou normes nord-américaines NEC/CEC selon les cas) installée en zone 0, 1 ou 2

Selon le concept de protection optique retenu (Ex op is ou Ex op sh), le système certifié repose sur le confinement du faisceau, la limitation de la puissance laser au niveau de la sonde et des mesures de protection associées. Les systèmes de verrouillage ou fonctions de surveillance supplémentaires mis en œuvre à l'aide d'appareils séparés ne font pas partie de la certification du système Raman. Ils doivent être évalués par l'utilisateur final dans le cadre du concept global d'installation et de sécurité.

Comme le montre l'illustration ci-dessus, c'est l'emplacement de la sonde qui détermine la zone (0/1/2), alors que l'analyseur se trouve généralement dans une zone générale. L'ignition optique est maîtrisée via Ex op is (puissance limitée selon l'évaluation des risques laser) ou Ex op sh (système optique verrouillé : rupture de câble/surveillance d'état → mise à l'arrêt du laser). La combinaison complète formée par l'analyseur et le système de verrouillage de fibre pour la sonde fait l'objet d'une évaluation et d'un marquage sous forme de système certifié distinct. L'analyseur requiert toujours un marquage Ex lorsqu'il est raccordé fonctionnellement à une zone explosible.

### Considérations Ex op sh lors de l'installation : fibres, connecteurs et interverrouillages

Sur le terrain, la mise en œuvre de la méthode Ex op sh est plus visible lors de l'installation et de l'intégration du système qu'au niveau de la sonde en elle-même.

Alors que la sonde Raman est généralement conçue pour répondre à des exigences définies en matière de protection optique, la maîtrise du risque d'ignition au niveau système est souvent basée sur la manière dont l'énergie optique est transmise de l'analyseur à la zone explosible. Cela englobe :

- Le passage du câble à fibre optique par des zones explosibles et non explosibles
- Des connecteurs optiques situés aux limites des zones ou à l'intérieur d'enveloppes
- L'intégrité du trajet optique entre l'analyseur et la sonde

C'est pourquoi les systèmes Ex op sh mettent en œuvre des systèmes de verrouillage qui surveillent la continuité des câbles et l'état des connecteurs, et assurent une désactivation automatique du rayonnement laser si le trajet optique est interrompu ou exposé. Ces mesures sont particulièrement pertinentes pendant :

- L'installation et la mise en service
- La maintenance ou la reconnexion de la fibre
- Des conditions anormales, telles que des ruptures de câbles

Du point de vue de l'installation, la priorité avec Ex op sh passe de la certification au niveau composant au comportement au niveau système : la pose des câbles, la gestion des connecteurs et la validation des systèmes de verrouillage font partie du concept de sécurité antidéflagrante et doivent être prises en compte dans le cadre de la conception, de l'installation et de la documentation.

## Rôles, responsabilités et intégrité système dans les systèmes Raman certifiés Ex

### Propriétaire / exploitant d'usine

- Définir la classification du site (zones ou classes)
- Indiquer le groupe de gaz et la classe de température sur la base des données de process
- Veiller au bon déroulement des opérations d'installation mécaniques et électriques
- Réaliser ou faire effectuer les évaluations des zones explosibles et du danger lié au laser

Fournisseur / intégrateur

- Fournir un équipement Raman certifié Ex (analyseur, sonde ou composants individuels, si applicable), avec la sonde portant le marquage correspondant aux exigences définies par le responsable Ex du site du client
- Communiquer les méthodes de protection optique disponibles prises en charge par l'équipement (par exemple Ex op is ou Ex op sh)
- Définir et documenter les limites de puissance laser certifiées, les fonctions de protection intégrées et l'étiquetage requis pour l'équipement
- Si la méthode Ex op sh est mise en œuvre, définir clairement le champ d'application de la certification et la limite entre l'équipement certifié et les responsabilités incombant au client en matière d'intégration système et d'évaluation de la sécurité au niveau global

Principe d'intégrité du système

La conformité aux réglementations de protection contre les explosions s'applique au système Raman dans son ensemble, et non à chacun des différents composants. L'analyseur, la sonde, la fibre optique, les réglages de puissance et les fonctions de sécurité forment une seule et même configuration certifiée. Tout changement nécessite une nouvelle évaluation

Opérations devant être effectuées par le responsable Ex d'un site du client avant de sélectionner l'équipement pour zone Ex

1. Confirmer et documenter la classification de zone explosible
2. Définir le groupe de gaz et la classe de température
3. Effectuer une évaluation des risques laser
4. Décider si Ex op is (limitation de puissance) ou Ex op sh (système verrouillé) est requis
5. Sélectionner un analyseur et/ou une sonde certifiés, en veillant à ce que le marquage de la sonde Ex soit adapté au groupe de gaz et à la classe de température définis lors de la classification de zone explosible
6. Préparer l'architecture d'installation et la pose de la fibre
7. Vérifier les marquages (EPL, groupe de gaz, classe de température, concept de protection optique)
8. Compléter la documentation fabricant et conserver les certificats
9. Former le personnel à une utilisation sûre

| Glossaire             |                                                                                                                    |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Terme                 | Définition                                                                                                         |
| ATEX                  | Cadre réglementaire de l'UE pour les équipements destinés aux atmosphères potentiellement explosives.              |
| IECEX                 | Système international d'évaluation de la conformité pour les équipements utilisés en atmosphères explosives.       |
| NEC/CEC               | Codes électriques nord-américains pour l'installation d'équipements dans des emplacements dangereux.               |
| Zone/Classe/Division  | Modèles de classification décrivant la probabilité et la durée de présence d'atmosphères explosives.               |
| EPL                   | Niveau de protection de l'équipement (Ga, Gb, Gc) correspondant aux zones 0, 1 et 2.                               |
| Groupe de gaz         | Classification IIA/IIB/IIC selon la sensibilité à l'inflammation.                                                  |
| Classe de température | Température maximale admissible de surface de l'équipement.                                                        |
| Inflammation optique  | Inflammation provoquée par un échauffement localisé dû à l'absorption d'un rayonnement optique concentré.          |
| IEC 60079-28:2015     | Norme internationale définissant les concepts de protection pour les équipements utilisant un rayonnement optique. |
| Ex op is              | Rayonnement optique intrinsèquement sûr.                                                                           |
| Ex op sh              | Système optique avec interverrouillage.                                                                            |
| LHA                   | Évaluation des dangers laser.                                                                                      |
| Interverrouillage     | Fonction désactivant automatiquement le rayonnement optique en cas de condition non respectée.                     |
| Certification système | Évaluation portant sur le système Raman complet, et non sur des composants isolés.                                 |

## Idées fausses communes sur les systèmes Raman en zone explosible

### “La puissance du laser est déterminée par l’instrument.”

Non. La puissance maximale admissible est spécifique à l'application et définie par les conditions propres à la zone explosible.

### “Si l’analyseur est certifié, le système est conforme.”

Non. La conformité est évaluée au niveau système. Une sonde certifiée Ex est donc également nécessaire.

### “Les modes d’installation selon IECEx, ATEX et les normes nord-américaines (NEC/CEC) sont régis par des règles différentes.”

Non. Que ce soit avec la classification par zones ou divisions, la logique d'installation est la même. Les différences résident dans la classification et la certification des zones explosibles.

### “Ex op sh est une exception.”

Non. Ex op sh est un concept de protection standard reconnu destiné à des cas d'utilisation spécifiques, en particulier lorsque la fenêtre de la sonde Raman est immergée dans un échantillon liquide, que des conditions dangereuses (gaz, brouillard ou vapeur en combinaison avec de l'oxygène) ne peuvent apparaître qu'en l'absence de ce liquide, et qu'elles peuvent être détectées et atténuées de manière fiable.

## FAQ

### Quelle est la différence entre IECEx et ATEX ?

ATEX est une exigence réglementaire au sein de l'Union européenne, tandis qu'IECEx est un système international d'évaluation de la conformité. Tous deux reposent sur les mêmes normes techniques IEC ; les principes physiques de l'installation restent donc identiques.

### Qu'est-ce qui change pour une installation Raman sous IECEx ?

Rien dans la logique physique de l'installation. Le zonage, la protection optique et la limitation de la puissance laser restent les mêmes ; seules la documentation et la reconnaissance de la conformité diffèrent.

### Qu'en est-il des normes nord-américaines ?

En Amérique du Nord, les emplacements dangereux sont régis par les classifications Classe/Division ou Classe/Zone définies par le NEC (National Electrical Code) aux États-Unis et le CEC (Canadian Electrical Code) au Canada. Les installations Raman suivent les mêmes principes fondamentaux (emplacement de la sonde basé sur la classification de la zone, protection optique et limitation de la puissance laser maximale), mais doivent respecter les exigences réglementaires et normatives propres à chaque région.

Aux États-Unis, cette obligation est imposée par la réglementation OSHA 29 CFR § 1910.307 relative aux équipements électriques installés dans des zones dangereuses (classifiées).

Au Canada, les installations doivent être conformes au Code canadien de l'électricité (CEC), Partie I – CSA C22.1, Section 18 (Emplacements dangereux).

### Cette recommandation couvre-t-elle les environnements ATEX contenant des poussières ou des poudres ?

Non. Les atmosphères contenant des poussières ou des poudres présentent des mécanismes d'inflammation et des concepts de protection différents, et nécessitent donc une conception et une certification spécifiques du système. À ce jour, aucun équipement Raman n'est homologué pour une utilisation dans des atmosphères dangereuses contenant des poussières ou des poudres.

### L'installation en zone dangereuse limite-t-elle les performances de mesure Raman ?

Les exigences de sécurité définissent une enveloppe de fonctionnement sûre. Les systèmes Raman sont configurés pour fournir des mesures fiables à l'intérieur de cette enveloppe, validée pour l'application concernée.

## Références

1. [1910.307 - Hazardous \(classified\) locations. | Occupational Safety and Health Administration](#)
2. Directive ATEX 2014/34/UE – cadre réglementaire de l'UE relatif aux équipements destinés à être utilisés en atmosphères explosibles
3. [Guide to the Canadian Electrical Code, Part 1 \[i\], 26th Edition – A Road Map: Section 18 Hazardous Locations - Electrical Industry News Week](#)
4. Classification des atmosphères explosibles (Amérique du Nord) – Overview of Class / Division and Zone concepts used in NEC and CEC frameworks
5. IEC 60079-28:2015 – norme internationale définissant des risques d'ignition et des concepts de protection (Ex op is, Ex op sh) pour le rayonnement optique en atmosphère explosible
6. Vue d'ensemble IECEx pour les systèmes – International conformity assessment system for Ex equipment based on IEC standards
7. Lignes directrices NAMUR (association d'utilisateurs) – Industry recommendations on practical implementation of explosion protection concepts in process automation

#### France

Endress+Hauser France  
37 rue de L'Europe  
68700 Cernay  
info.fr@endress.com  
www.fr.endress.com

Tél.  **N°Cristal 09 69 32 24 24**

APPEL NON SURTAXE

#### Canada

Endress+Hauser Canada  
6800 Côte de Liesse  
St Laurent, Québec  
Tél. (514) 733-0254  
Fax (514) 733-2924

Endress+Hauser Canada Ltd  
1075 Sutton Drive  
Burlington, Ontario  
Tél. (905) 681-9292  
Fax (905) 681-9444  
info.ca@endress.com  
www.ca.endress.com

#### Belgique/Luxembourg

Endress+Hauser Belgium  
17-19 Rue Carli  
B-1140 Bruxelles  
Tél. (02) 248 06 00  
Fax (02) 248 05 53  
info.be@endress.com  
www.be.endress.com

#### Suisse

Endress+Hauser Suisse  
Route de l'Industrie, 58  
CH-1030 Bussigny  
bussigny.ch@endress.com

Endress+Hauser  
(Schweiz) AG  
Kägenstrasse 2  
CH-4153 Reinach  
info.ch@endress.com  
www.ch.endress.com

Tél. (41) 61 715 75 75

PU01633C/14/FR/01.26