

RAPPORT D'ÉTUDE
N°DRA-15-149135-03194A

24/04/2015

**Synthèse des résultats de l'étude sur les
détecteurs de gaz inflammables à poste fixe en
situation accidentelle**

INERIS

*maitriser le risque |
pour un développement durable |*

Synthèse des résultats de l'étude sur les détecteurs de gaz inflammables à poste fixe en situation accidentelle

Liste des personnes ayant participé à l'étude :

Véronique Debuy, Nicolas Lépine, Sabine Kasprzycki

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.





| | Rédacteur | Relecteur | Vérificateur | Approbateur |
|--------------|--|---|--|---|
| NOM | Nicolas LEPINE / Véronique DEBUY | Ahmed ADJADJ | Guillaume CHANTELAUVE | Bernard PIQUETTE |
| Titre | Technicien / Responsable du Laboratoire Capteurs Unité Barrières Techniques de Sécurité | Responsable Programme Unité Barrières Techniques de Sécurité | Délégué Appui à l'administration Direction des Risques Accidentels | Directeur Adjoint Direction des Risques Accidentels |
| Visa |  |  |  |  |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| 1. GLOSSAIRE | 7 |
| 2. CONTEXTE | 8 |
| 3. INTRODUCTION | 9 |
| 4. PROPRIETES DES GAZ D'ESSAIS | 10 |
| 5. PRESENTATION DES DETECTEURS SOUMIS AUX ESSAIS | 11 |
| 5.1 Présentation Générale | 11 |
| 5.2 Données des constructeurs..... | 11 |
| 5.3 Préparation des détecteurs | 13 |
| 6. BANC ET CONDITIONS D'ESSAIS | 14 |
| 6.1 Conditions ambiantes d'essais..... | 14 |
| 6.2 Gaz de référence | 14 |
| 6.3 Banc d'essai..... | 14 |
| 7. ESSAIS REALISES | 15 |
| 7.1 Mesure sur l'étendue de mesure des appareils..... | 15 |
| 7.2 Exposition des appareils à de fortes concentrations (de 80 ou 90 %LIE à 100%v/v gaz) en mode de mesure statique | 15 |
| 7.3 Essai de dérive à long terme..... | 16 |
| 8. SYNTHÈSE DES RESULTATS | 17 |
| 8.1 Synthèse des résultats CH ₄ | 18 |
| 8.2 Synthèse des résultats C ₃ H ₈ | 21 |
| 8.3 Synthèse des résultats C ₅ H ₁₂ | 24 |
| 8.4 Synthèse des résultats H ₂ | 27 |
| 8.5 Synthèse des résultats de dérive à long terme | 30 |
| 9. CONCLUSION | 31 |
| 10. RESULTATS DES ESSAIS CH₄ | 34 |
| 10.1 Mesures sur l'étendue de mesure de l'appareil..... | 34 |
| 10.2 Exposition à une forte concentrations en statique..... | 36 |
| 11. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS C₃H₈ | 45 |
| 11.1 Mesures sur l'étendue de mesure de l'appareil..... | 45 |
| 11.2 Exposition à une forte concentrations en statique..... | 47 |
| 12. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS C₅H₁₂ | 56 |
| 12.1 Mesures sur l'étendue de mesure de l'appareil..... | 56 |
| 12.2 Exposition à une forte concentrations en statique..... | 58 |
| 13. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS H₂ | 67 |

| | |
|--|-----------|
| 13.1 Mesures sur l'étendue de mesure de l'appareil | 67 |
| 13.2 Exposition à une forte concentrations en statique | 69 |
| 14. DERIVE A LONG TERME ET ENDORMISSEMENT..... | 78 |
| 15. ANNEXES..... | 81 |
| ANNEXE A. PROTOCOLE D'ESSAI | 83 |

1. GLOSSAIRE

Barrière technique de sécurité (ou mesure technique de sécurité ou mesure de maîtrise des risques) : Ensemble d'éléments techniques nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.

Fonction de sécurité : Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir de barrières techniques de sécurité, de barrières organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux. Une même fonction peut être assurée par plusieurs barrières de sécurité.

Gaz d'essai de référence : Gaz d'essai, dont la composition est spécifiée pour chaque appareil, à utiliser pour tous les essais, sauf indication contraire.

Temps de réponse T_x : Intervalle de temps requis entre le moment où une augmentation instantanée du titre volumique se produit à l'entrée du capteur et le moment où la réponse a une valeur définie de x% de l'indication finale.

Temps de retour à zéro: Intervalle de temps entre le moment où une baisse instantanée du titre volumique se produit au niveau de l'entrée du capteur et le moment où la réponse atteint la valeur 0 % LIE.

Temps de déclenchement des alarmes : Intervalle de temps entre le moment où le détecteur est soumis à une variation de concentration de gaz et le moment où les alarmes réglées à des seuils déterminés se déclenchent (allumage d'une DEL et/ou l'activation d'un relais).

Gaz inflammable : gaz ou vapeur qui, mélangé à de l'air dans certaines proportions, formera une atmosphère explosive

Limite Inférieure d'Inflammabilité ou d'Explosivité (LII ou LIE) : titre volumique de gaz ou de vapeur inflammable dans l'air au-dessous duquel ne se forme pas une atmosphère explosive gazeuse, et exprimé en pourcentage (% v/v).

Limite Supérieure d'Inflammabilité ou d'Explosivité (LSI ou LSE) : titre volumique de gaz ou de vapeur inflammable dans l'air au-dessus duquel ne se forme pas une atmosphère explosive gazeuse, et exprimé en pourcentage (% v/v).

2. CONTEXTE

La loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels pour les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) a introduit de nouveaux principes pour la réalisation des études de danger (EDD) exigées dans le cadre de la demande d'autorisation d'exploiter. L'article 4 de la loi du 30 juillet 2003, repris dans l'article L512-1 du Code de l'Environnement, rappelle que l'EDD doit préciser tous les risques que l'activité peut créer, en cas d'accident, pour la santé, l'environnement et les biens. Il ajoute aux dispositions concernant l'EDD que « cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite ».

La gravité des accidents et leur probabilité d'occurrence potentielle ne peuvent pas être évaluées sans analyser les mesures de maîtrise des risques (MMR) que l'exploitant se propose de mettre en place. L'article 4 de l'arrêté du 29 septembre 2005¹ précise que « pour être prises en compte dans l'évaluation de la probabilité, les mesures de maîtrise des risques doivent être efficaces, avoir une cinétique de mise en œuvre en adéquation avec celle des événements à maîtriser, être testées et maintenues de façon à garantir la pérennité du positionnement précité ».

Les données relatives à l'efficacité des MMR et au temps de réponse des dispositifs de mesurage utilisés au sein de ces MMR en fonction de leurs contextes d'utilisation sont peu disponibles ou inexistantes dans la littérature.

L'INERIS, dans le cadre du programme DRA-73 « Evaluation des performances des Barrières Techniques de Sécurité », a pour objectif de réaliser des essais afin d'apporter des compléments techniques relatifs aux performances des Barrières Techniques de Sécurité (BTS).

¹ Arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation

3. INTRODUCTION

L'INERIS a mené plusieurs campagnes d'essais comparatifs de détecteurs de gaz. Ces essais ont permis de comparer les performances métrologiques de ces détecteurs par rapport à leurs spécifications techniques.

L'objectif de cette campagne d'essais est de caractériser le comportement et d'évaluer les performances de détecteurs de gaz inflammables du marché, en situation accidentelle, lorsqu'ils sont exposés à de fortes ou de très fortes concentrations : les concentrations générées vont de concentrations inférieures à la LIE (étendue de mesure de appareils) à des concentrations supérieures à la LSE (limite supérieure d'explosivité).

Les essais ont été réalisés en laboratoire selon un protocole (reporté en annexe A) afin d'évaluer :

- Les temps de réponse, les temps de déclenchement des alarmes et les temps de retour à zéro des appareils en fonction de la concentration de gaz appliquée,
- La dérive à long terme et l'endormissement.

Les gaz d'intérêts retenus pour cette campagne d'essai sont le méthane (CH₄), le propane (C₃H₈), le pentane (C₅H₁₂) et l'hydrogène (H₂).

Le rapport est organisé de la façon suivante :

- Rappel des propriétés des gaz d'essais CH₄, C₃H₈, C₅H₁₂, H₂ (paragraphe 4),
- Présentation des détecteurs soumis aux essais et des données constructeurs relatives aux essais réalisés (paragraphe 5),
- Présentation du banc d'essai en mode de diffusion statique et des conditions d'essais (paragraphe 6),
- Description des différents essais réalisés, commun à chaque gaz d'intérêt (paragraphe 7),
- Synthèse des résultats d'essais pour chaque gaz d'intérêt (paragraphe 8)
- Conclusion (paragraphe 9).

Les résultats détaillés, par gaz d'intérêt, sont reportés :

- au paragraphe 10 pour le méthane (CH₄),
- au paragraphe 11 pour le propane (C₃H₈)
- au paragraphe 12 pour le pentane (C₅H₁₂).
- au paragraphe 13 pour l'hydrogène (H₂)

4. PROPRIETES DES GAZ D'ESSAIS

Les principales propriétés des gaz d'essais retenus pour cette campagne sont reportées dans le Tableau 1.

| Gaz | méthane | propane | hydrogène | n-pentane |
|---|-----------------------|-----------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| Formule chimique | CH₄ | C₃H₈ | H₂ | C₅H₁₂ |
| Masse molaire en g/mol | 16,04 | 44,10 | 2,02 | 72,15 |
| Pression de vapeur en kPa à 20°C | 5543 | 837,5 | - | 56,6 |
| Explosivité | | | | |
| LIE (en % v/v) | 4,4 | 1,7 | 4 | 1,4 |
| LSE (en % v/v) | 17 | 10,9 | 77 | 7,8 |
| Seuils de toxicité aiguë par inhalation (ICPE) | | | | |
| Seuils SELS, SPEL, SEI | - | - | - | - |
| Toxicité (exposition travailleur) | | | | |
| VLEP France | <i>8 heures</i> | - | - | 1000 ppm |

Tableau 1 : principales propriétés des gaz d'essais

5. PRESENTATION DES DETECTEURS SOUMIS AUX ESSAIS

5.1 PRESENTATION GENERALE

Cinq détecteurs représentatifs du marché ont été évalués lors de ces essais. Tous les détecteurs sont équipés de cellules catalytiques, leur gamme de mesure est 0-100% LIE. La technologie catalytique est la technologie la plus répandue pour la détection d'hydrocarbure et d'hydrogène dans la gamme 0 à 100% LIE.

Ils sont nommés D1, D2, D3, D4 et D5 dans la suite du rapport. Les mêmes appareils sont utilisés pour l'ensemble des gaz d'intérêts mais ils sont équipés de cellules neuves à chaque nouveau gaz d'essai.

La gamme de mesure des détecteurs, leur résolution, les gaz d'essais et les réglages des seuils d'alarmes sont présentés dans le Tableau 2.

| Gaz | méthane | propane | n-pentane (vapeur) | hydrogène |
|--------------------------|--|---|---|-------------------------------------|
| Gamme de mesure | 0 - 100 % LIE | | | |
| Résolution | 1 %LIE | | | |
| Gaz d'essai de référence | CH ₄ 2,2%v/v soit 50%LIE | C ₃ H ₈ 0,85%v/v soit 50%LIE | C ₅ H ₁₂ 0,7%v/v soit 50%LIE | H ₂ 2%v/v soit 50%LIE |
| Seuils d'alarmes | 20 et 40%LIE | | | |

Tableau 2 : Caractéristiques des appareils et gaz d'essai

5.2 DONNEES DES CONSTRUCTEURS

Les données des constructeurs en relation avec les essais réalisés sont reportées dans le Tableau 3.

Ces données sont issues des manuels d'instruction sauf spécification contraire.

| Gaz | CH ₄ | | C ₃ H ₈ | | H ₂ | | C ₅ H ₁₂ | |
|----------------------------|---|--|--|--|---|--|--|--|
| Paramètres | Temps de réponse | Dérive | Temps de réponse | Dérive | Temps de réponse | Dérive | Temps de réponse | Dérive |
| Appareil D1 | T ₉₀ < 25 s | Pas de données | T ₉₀ < 25 s | Pas de données | T ₉₀ < 25 s | Pas de données | T ₉₀ < 25 s | Pas de données |
| Appareil D2 ⁽¹⁾ | T ₅₀ < 6 s T ₉₀ < 15 s | Pas de données | Pas de données | Pas de données | Pas de données | Pas de données | Pas de données | Pas de données |
| Appareil D3 | <u>Statique</u> T ₅₀ < 5 s T ₉₀ < 10 s <u>Dynamique</u> T ₅₀ < 9 s T ₉₀ < 17 s | ≤ 3%LIE / 6mois | <u>Statique</u> T ₅₀ < 6 s T ₉₀ < 13 s <u>Dynamique</u> T ₅₀ < 11 s T ₉₀ < 23 s | ≤ 3%LIE / 6mois | <u>Statique</u> T ₅₀ < 4 s T ₉₀ < 11 s <u>Dynamique</u> T ₅₀ < 7 s T ₉₀ < 13 s | Pas de données | <u>Dynamique</u> T ₅₀ < 13 s T ₉₀ < 31 s | Pas de données |
| Appareil D4 ⁽²⁾ | T ₅₀ < 15 s T ₉₀ < 35 s | <u>Zéro</u> < 5%/an <u>Réponse</u> < 10%/an | T ₅₀ < 25 s T ₉₀ < 55 s | <u>Zéro</u> < 5%/an <u>Réponse</u> < 10%/an | Pas de données | <u>Zéro</u> < 5%/an <u>Réponse</u> < 10%/an | T ₅₀ < 30 s T ₉₀ < 65 s | <u>Zéro</u> < 5%/an <u>Réponse</u> < 10%/an |
| Appareil D5 | T ₉₀ < 15 s | De -10 à 40°C <u>Zéro</u> < 2%PE* (= 2 %LIE) <u>Réponse</u> < 3%PE* (= 3 %LIE) | Pas de données | Pas de données | T ₉₀ < 10 s | De -10 à 40°C <u>Zéro</u> < 2%PE* (= 2 %LIE) <u>Réponse</u> < 3%PE* (= 3 %LIE) | Pas de données | Pas de données |

Tableau 3 : Données des constructeurs

(1) L'appareil D2 a été fourni avec une cellule catalytique anti-poison. Les données ont été fournies par le constructeur, aucune donnée n'étant disponible pour cette cellule sur la notice de l'appareil.

(2) Appareil D4 : Le constructeur spécifie que lors du calibrage de l'appareil avec la coiffe utilisée, l'utilisateur doit appliquer un facteur de correction de 1,2 : ce qui signifie que la réponse attendue de l'appareil en mode diffusion est 20% inférieure à la réponse avec la coiffe de calibrage.

Remarque : Lorsque le constructeur ne spécifie pas de données spécifiques à un gaz, nous avons considéré que les données indiquées étaient communs à tous les gaz détectés (exemple appareil D1).

* PE = Pleine échelle

Les recommandations des constructeurs concernant la maintenance des appareils sont les suivantes :

Appareil D1 : Intervalle de calibration recommandé : 6 mois

Appareil D2 : Test à une périodicité inférieure à 3 mois à l'aide d'un gaz étalon à une concentration supérieur aux seuils d'alarme. (Ce test ne remplace pas un étalonnage du capteur). Etalonnage des détecteurs à l'aide d'une concentration de gaz étalon connue et certifiée, tous les 3 ou 4 mois. La fréquence des tests au gaz dépend de l'application industrielle où sont utilisés les capteurs. Le contrôle sera fréquent dans les mois qui suivent le démarrage de l'installation, puis il pourra être espacé si aucune dérive importante n'est constatée. La fréquence des calibrages ne saura être supérieure à un an.

Appareil D3 : Intervalles de contrôle tous les 6 mois par des spécialistes. La durée des intervalles de contrôle est à déterminer au cas par cas et éventuellement à adapter en fonction des considérations techniques en matière de sécurité, des conditions techniques du procédé et des contraintes techniques des appareils.

Appareil D4 : Recommandation de calibrage à intervalles réguliers au moins tous les 6 mois. La fréquence des tests de calibrage dépend de la durée de fonctionnement et de l'exposition chimique des capteurs. Les capteurs neufs doivent être calibrés plus souvent, jusqu'à ce que les états de calibrage prouvent leur stabilité. La fréquence de calibrage peut alors être réduite à celle fixée par le directeur de la sécurité ou par le directeur de l'usine.

Appareil D5 : Vérification semestrielle de la valeur du zéro et du point de calibrage. Cette opération doit être suivie d'un calibrage si nécessaire. Un Zéro en air propre doit alors être effectué au préalable.

5.3 PREPARATION DES DETECTEURS

Les appareils sont calibrés avec le gaz d'essai de référence dont la concentration est égale à 50 % LIE. Le calibrage est effectué à l'aide de la coiffe de calibrage de l'appareil, à un débit égal à celui préconisé par le constructeur.

Toutes les mesures sur les appareils sont enregistrées à partir des informations fournies par le signal de sortie analogique 4 - 20 mA et les valeurs finales sont également relevées sur l'afficheur.

6. BANC ET CONDITIONS D'ESSAIS

6.1 CONDITIONS AMBIANTES D'ESSAIS

Pendant les essais et sauf spécifications contraires, les conditions ambiantes suivantes sont respectées :

- température constante à ± 2 °C dans la plage de 15 à 35 °C,
- pression atmosphérique constante à ± 10 % relatif dans la plage de 86 à 108 kPa,
- humidité relative constante à ± 10 % HR dans la plage de 30 à 70 % HR.

Les valeurs et les stabilités de la température ambiante, de l'humidité relative et de la pression sont mesurées au cours des essais.

6.2 GAZ DE REFERENCE

Les mélanges de gaz sont réalisés à l'aide de débitmètres régulateurs massiques à partir de bouteilles de gaz étalons.

Les mélanges sont réalisés avec une incertitude sur la concentration volumique inférieure à 2% relatif pour les mélanges gazeux, et inférieure à 5 % relatif pour les mélanges de vapeurs (C₅H₁₂).

6.3 BANC D'ESSAI

Pour cette campagne d'évaluation, le banc d'essai utilisé pour réaliser les essais de temps de réponse par diffusion est présenté sur la Figure 1.



Figure 1 : Banc d'essai temps de réponse par diffusion

7. ESSAIS REALISES

Pour chaque gaz d'intérêt (CH_4 , C_3H_8 , C_5H_{12} et H_2), les essais suivants sont réalisés :

7.1 MESURE SUR L'ETENDUE DE MESURE DES APPAREILS

Après calibrage, les détecteurs sont exposés à un gaz d'essai dont la concentration est de 50% LIE, et dans les conditions suivantes :

- Mode de mesure dynamique (à l'aide de la coiffe d'étalonnage)
- Mode de mesure statique (mesure par diffusion)

A partir de ces mesures, les temps de réponse des appareils (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2), ainsi que les temps de retour à zéro sont déterminés.

7.2 EXPOSITION DES APPAREILS A DE FORTES CONCENTRATIONS (DE 80 OU 90 %LIE A 100%V/V GAZ) EN MODE DE MESURE STATIQUE

Après calibrage, les détecteurs sont exposés, par diffusion, aux concentrations de gaz d'essai suivantes :

| | Méthane (CH_4) | Propane (C_3H_8) | Pentane (C_5H_{12}) | Hydrogène (H_2) |
|------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|-------------------------------|
| LIE | 4,4 % v/v | 1,7 % v/v | 1,4 % v/v | 4 % v/v |
| LSE | 17 % v/v | 10,9 % v/v | 7,8 % v/v | 77 % v/v |
| Concentration du gaz d'essai | 4 % v/v ou 90 % LIE | 1,5 % v/v ou 88 % LIE | 1,1 % v/v ou 79% LIE | 3,6% v/v ou 90 % LIE |
| | 20 % v/v | 15 % v/v | 10 % v/v | |
| | 50 % v/v | 50 % v/v | 25 % v/v | 80 % v/v |
| | 100 % v/v | 100 % v/v | 50 % v/v | 100 % v/v |

A partir de ces mesures, les temps d'atteintes des différents seuils (seuils d'alarmes A1 et A2, seuil de correspondant à 90%LIE), ainsi que le temps de retour à zéro sont déterminés.

7.3 ESSAI DE DERIVE A LONG TERME

L'objectif de cet essai est d'évaluer la dérive des détecteurs sur le long terme, c'est-à-dire lorsqu'ils ne sont pas exposés au gaz d'essai sur une période de plusieurs mois. L'essai est réalisé avec le gaz d'essai propane, gaz pour lequel la réponse de l'appareil est la plus faible, le réglage sur ce gaz implique une amplification du signal plus importante que pour les autres gaz.

Après un calibrage initial à 50% LIE C_3H_8 , l'appareil fonctionne en continu pendant 3 mois dans l'air ambiant. A l'issue des 3 mois, l'appareil est exposé à un gaz d'essai (par diffusion) dont la concentration est de 50% v/v C_3H_8 .

A partir de ces mesures, les temps d'atteintes des différents seuils (seuils d'alarmes A1 et A2, seuil de correspondant à 90%LIE), ainsi que le temps de retour à zéro sont déterminés.

8. SYNTHESE DES RESULTATS

La synthèse des résultats des 5 appareils concernant les mesures des temps de réponse, l'essai de dérive à long terme est présentée dans les paragraphes 8.1 à 8.5.

Les résultats détaillés, par gaz d'intérêt, sont reportés :

- au paragraphe 10 pour le méthane (CH_4),
- au paragraphe 11 pour le propane (C_3H_8),
- au paragraphe 12 pour le pentane (C_5H_{12}),
- au paragraphe 13 pour l'hydrogène (H_2),
- au paragraphe 14 pour l'essai de dérive à long terme.

8.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS CH₄

| Temps de réponse Gaz d'essai : CH ₄ | Comparaison de la réponse des appareils CH ₄ en statique et en dynamique – gaz d'essai 50% LIE | | | | | | | | | |
|--|---|----------|---|-------------|---|-----------|---|---------------------------|--|-------------|
| | Appareil D1 | | Appareil D2 | | Appareil D3 | | Appareil D4 | | Appareil D5 | |
| Méthode d'exposition | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique |
| A1 (20% LIE) (s) | 5 | 4 | 8 | 10 | 4 | 6 | 5 | 11 | 5 | 5 |
| A2 (40% LIE) (s) | 8 | 7 | 16 | 28 | 7 | 12 | 10 | 34 | 9 | 14 |
| T50 (s) | 6 | 5 | 10 | 11 | 5 | 7 | 6 | 13 | 6 | 5 |
| T90 (s) | 11 | 12 | 21 | 26 | 10 | 13 | 13 | 30 | 12 | 12 |
| Retour à zéro (s) | 16 | 14 | 26 | 29 | 14 | 26 | 30 | 29 | 12 | 14 |
| Valeur finale (%LIE) | 50 | 55 | 49 | 43 | 50 | 46 | 51 | 43 Valeur attendue 40* | 50 | 43 |
| Ecart de réponse /concentration du gaz d'essai | 0% | +10% | -2% | -14% | 0% | -8% | +2% | +7% | 0% | -14% |
| Données constructeur / conformité | T ₉₀ < 25s Conforme | | T ₅₀ < 6 s T ₉₀ < 15 s Non conforme | | T ₅₀ < 9 s T ₉₀ < 17 s Conforme | | T ₅₀ < 5 s T ₉₀ < 10 s Non conforme | | T ₅₀ < 15 s T ₉₀ < 35 s Conforme | |

Tableau 4 : comparatif des résultats de l'essai temps de réponse obtenus en statique et en dynamique

* Appareil D4 : selon la spécification du constructeur, la réponse attendue de l'appareil en statique est 20% inférieure à la réponse en dynamique. L'écart est calculé par rapport à cette valeur attendue.

| Temps de réponse | Synthèse des résultats d'essais pour les 5 appareils CH ₄ | | | |
|------------------------|--|----------------------------|---|------------------------------------|
| | Exposition à une concentration de 50% LIE | | Exposition à de fortes concentrations en statique | |
| | Mode d'exposition dynamique | Mode d'exposition statique | Mode d'exposition statique | |
| 90% LIE | | | 50% v/v | |
| Alarme A1 (20%LIE) | 4 à 8s | 4 à 11s | 2 à 6s | 2 à 3s |
| Alarme A2 (40 %LIE) | 7 à 16s | 7 à 34s | 4 à 10s | 2 à 3s |
| T50 | 5 à 10s | 5 à 13s | 2 à 7s | |
| T90 | 10 à 21s | 12 à 30s | 4 à 12s | |
| Seuil 90%LIE | | | 52s (seul l'appareil D1 atteint 90%LIE) | 2 à 3s |
| Temps de retour à zéro | 12 à 30s | 14 à 29s | 16 à 80s | 58 à 340s |
| Réponse des appareils | 49 à 51% LIE | 43 à 55% LIE | 74 à 94% LIE | Hors gamme pour tous les appareils |

Tableau 5 : synthèse des résultats des essais temps de réponse pour le CH₄

Commentaires

La réponse des appareils dans leur gamme de mesure, en mode dynamique et statique sont proches (écart de mesure inférieur à 10% pour 3 appareils et 15% pour 2 appareils). Les temps de réponse sont conformes aux spécifications des constructeurs pour 3 appareils sur 5. Les temps de déclenchement d'alarme et temps de réponse sont augmentés surtout pour 1 appareil en modes de diffusion d'un facteur 2 à 3.

Au delà d'une concentration supérieure à l'étendue de mesure, les temps de déclenchement d'alarmes et d'atteinte du seuil 90%LIE diminuent significativement pour atteindre le seuil 90%LIE en 3 secondes maximum pour une concentration de 50%v/v (Figure 2).

Le temps de retour à zéro est variable d'un détecteur à l'autre : il est inférieur à 80s pour des concentrations inférieures à la LIE, jusqu'à 340s pour une concentration de 50% v/v). (Figure 3)

Après le retour à zéro, les détecteurs restent fonctionnels, même après avoir mesuré des concentrations jusqu'à 100%v/v durant un temps inférieur à 60s.

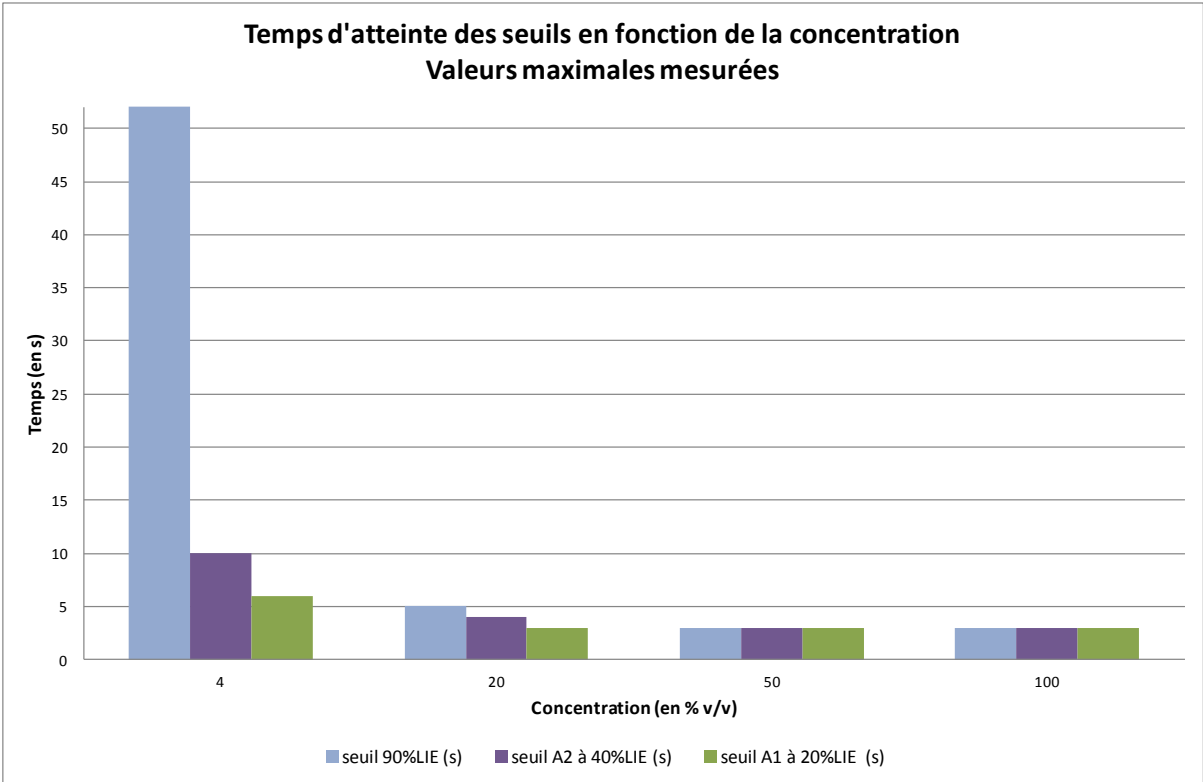


Figure 2 : Temps d'atteinte des seuils pour des concentrations de 4%CH₄ (90%LIE) à 100% CH₄

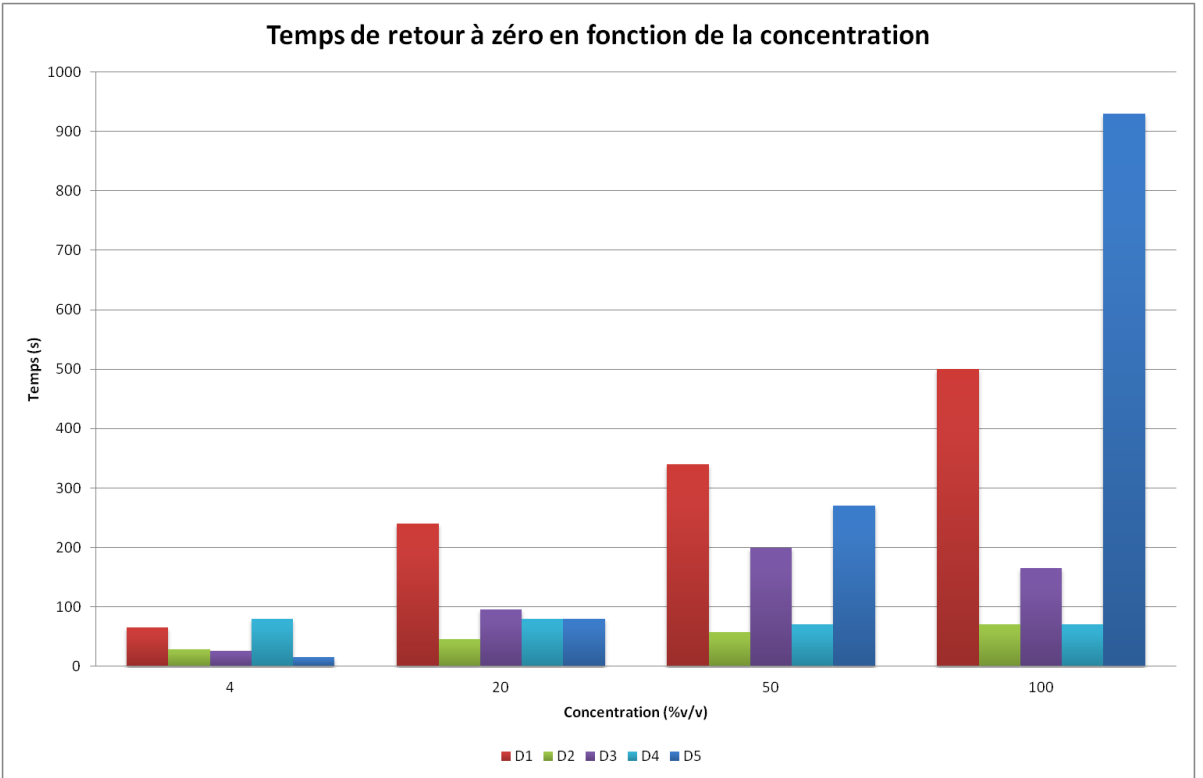


Figure 3 : Temps de retour à zéro des appareils en fonction de la concentration

8.2 SYNTHÈSE DES RESULTATS C₃H₈

| Temps de réponse Gaz d'essai : C ₃ H ₈ | Comparaison de la réponse des appareils C ₃ H ₈ en statique et en dynamique – gaz d'essai 50% LIE | | | | | | | | | |
|--|---|-------------|----------------|-------------|--|---|--|--|----------------|-------------|
| | Appareil D1 | | Appareil D2 | | Appareil D3 | | Appareil D4 | | Appareil D5 | |
| Méthode d'exposition | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique |
| A1 (20% LIE) | 5 | 4 | 12 | 18 | 6 | 6 | 7 | 19 | 7 | 7 |
| A2 (40% LIE) | 9 | 8 | 24 | 68 | 11 | 19 | 15 | 100 | 13 | 48 |
| T50 (s) | 5 | 5 | 14 | 21 | 7 | 7 | 9 | 22 | 7 | 7 |
| T90 (s) | 10 | 10 | 32 | 60 | 14 | 23 | 20 | 60 | 16 | 35 |
| Retour à zéro (s) | 15 | 12 | 46 | 44 | 20 | 23 | 47 | 54 | 17 | 16 |
| Valeur finale (%LIE) | 50 | 57 | 50 | 43 | 50 | 45 | 50 | 41 *Valeur attendue 40 | 48 | 43 |
| Ecart de réponse /concentration du gaz d'essai | 0% | +14% | 0% | -14% | 0% | -10% | 0% | +2% | -4% | -14% |
| Données constructeur / conformité | T ₉₀ < 25s Conforme | | Pas de données | | T ₅₀ < 11 s T ₉₀ < 23 s Conforme | T ₅₀ < 6 s T ₉₀ < 13 s Non conforme | T ₅₀ < 25 s T ₉₀ < 55 s Conforme | T ₅₀ < 25 s T ₉₀ < 55 s Non conforme | Pas de données | |

Tableau 6 : comparatif des résultats de l'essai temps de réponse obtenus en statique et en dynamique

* Appareil D4 : selon la spécification du constructeur, la réponse attendue de l'appareil en statique est 20% inférieure à la réponse en dynamique. L'écart est calculé par rapport à cette valeur attendue.

| Temps de réponse | Synthèse des résultats d'essai pour les 5 appareils C ₃ H ₈ | | | |
|------------------------|---|----------------------------|---|--|
| | Exposition à une concentration de 50% LIE | | Expositions à de fortes concentrations | |
| | Mode d'exposition dynamique | Mode d'exposition statique | Mode d'exposition statique | |
| | | | 88% LIE | 50% v/v |
| Alarme A1 (20%LIE) | 5 à 12s | 4 à 19s | 4 à 13s | 1 à 6s |
| Alarme A2 (40%LIE) | 9 à 24s | 8 à 100s | 6 à 28s | 2 à 8s |
| T50 | 5 à 14s | 5 à 22s | 4 à 16s | |
| T90 | 10 à 32s | 10 à 60s | 6 à 34s | |
| Seuil 90%LIE | | | 48s (seul l'appareil D1 atteint 90%LIE) | 3 à 10s |
| Temps de retour à zéro | 15 à 47s | 12 à 54s | 15 à 79s | 50 à 470s (l'appareil D2 revient à 8%LIE) |
| Réponse des appareils | 48 à 50 %LIE | 43 à 57 %LIE | 64 à 97 %LIE | Hors gamme pour tous les appareils |

Tableau 7 : synthèse des résultats des essais temps de réponse pour le C₃H₈

Commentaires

La réponse des appareils dans leur gamme de mesure, en mode dynamique et statique sont similaires (écarts de mesure inférieurs à 10% pour 2 appareils et 15% pour 3 appareils). Les temps de réponse sont conformes aux spécifications des constructeurs pour 3 appareils sur 5 en dynamique et 1 appareil sur 5 en statique. Les temps de déclenchement d'alarme et temps de réponse sont augmentés surtout pour 3 appareils en mode diffusion d'un facteur 2 à 11.

Au delà d'une concentration supérieure à l'étendue de mesure, les temps de déclenchement d'alarmes et d'atteinte du seuil 90%LIE diminuent significativement pour atteindre le seuil 90%LIE en moins de 11 secondes pour des concentrations de 50%v/v (Figure 4)

Le temps de retour à zéro est variable d'un détecteur à l'autre (Figure 5) : il est inférieur à 80s pour des concentrations inférieures à la LIE, jusqu'à 470s pour une concentration de 50% v/v. Le détecteur D2 ne revient pas à zéro suite à une exposition à 50%v/v.

Après le retour à zéro, les détecteurs restent fonctionnels, même après avoir mesuré des concentrations jusqu'à 100%v/v durant un temps inférieur à 60s.

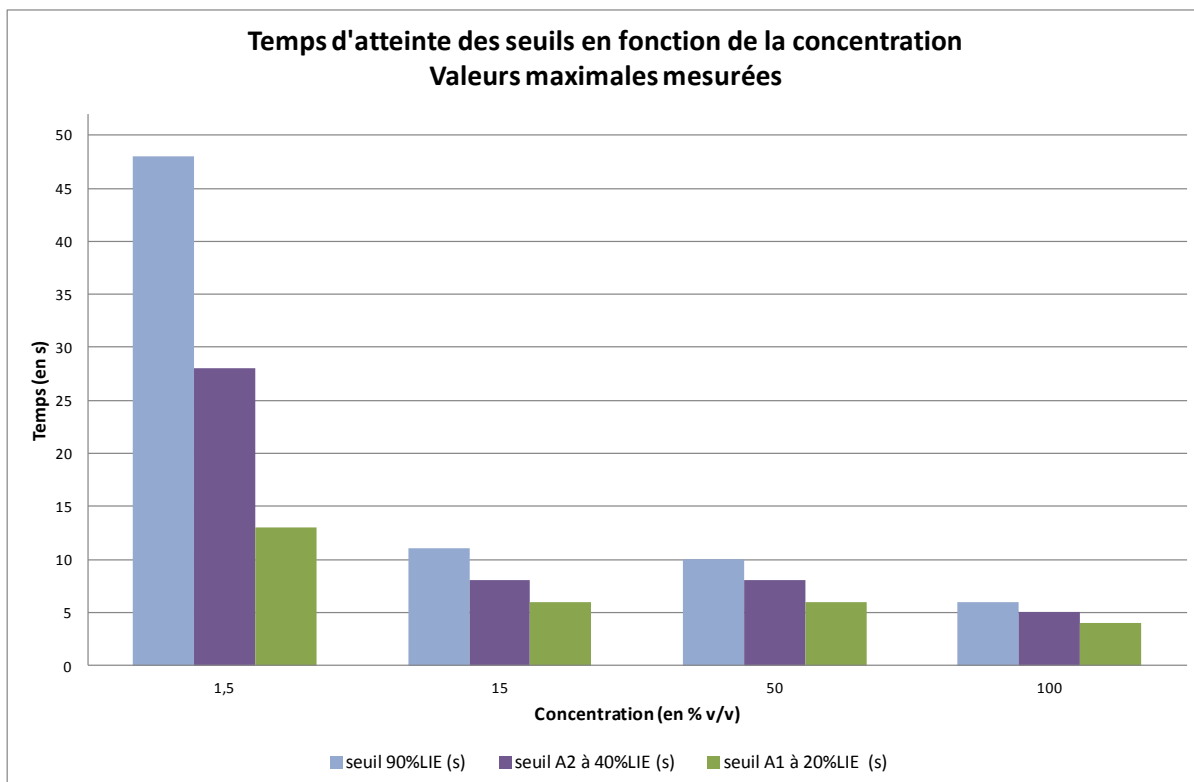


Figure 4 : Temps d'atteinte des seuils pour des concentrations de 1,5% C₃H₈ (90%LIE) à 100% C₃H₈

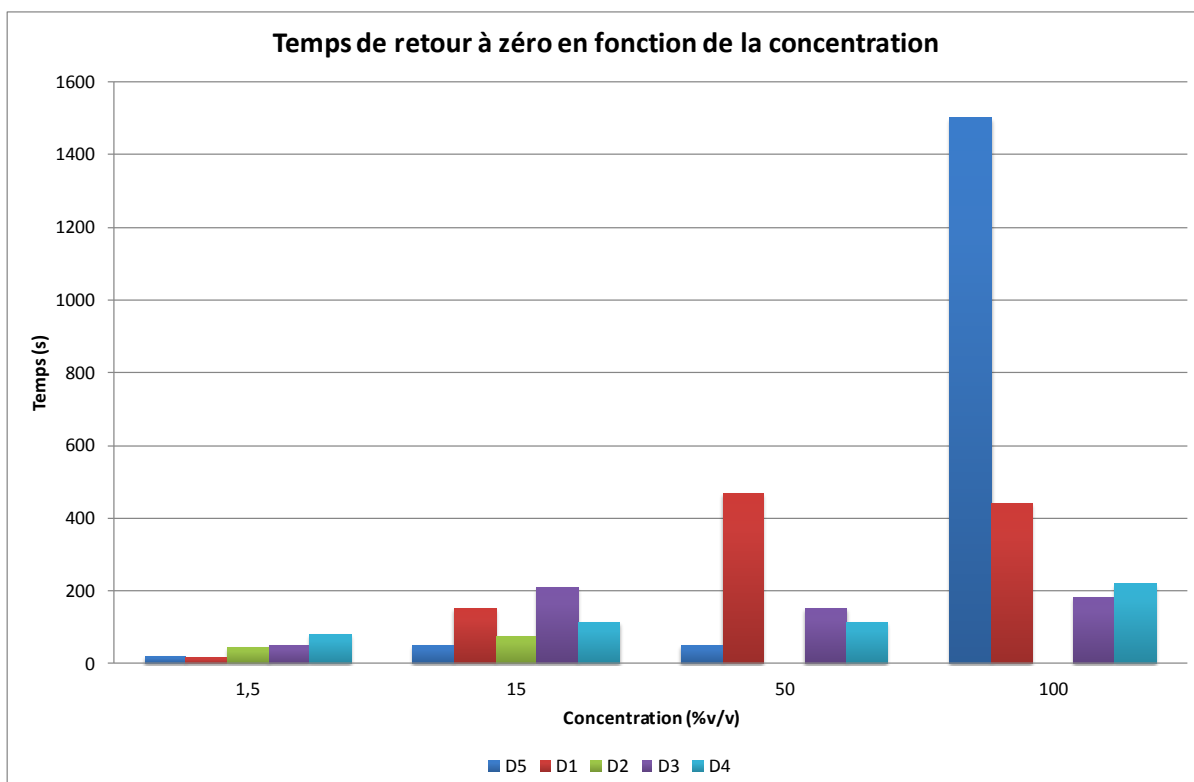


Figure 5 : Temps de retour à zéro des appareils en fonction de la concentration

8.3 SYNTHÈSE DES RESULTATS C₅H₁₂

| Temps de réponse Gaz d'essai : C ₅ H ₁₂ | Comparaison de la réponse des appareils C ₅ H ₁₂ en statique et en dynamique – gaz d'essai 50% LIE | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------------|-------------|--|----------------|--|--|----------------|----------|
| | Appareil D1 | | Appareil D2 | | Appareil D3 | | Appareil D4 | | Appareil D5 | |
| Méthode d'exposition | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique |
| A1 (20% LIE) | 6 | 7 | 13 | 21 | 8 | 7 | 9 | 28 | 8 | 11 |
| A2 (40% LIE) | 9 | 12 | 27 | 92 | 15 | 19 | 18 | 116 | 16 | 58 |
| T50 (s) | 7 | 9 | 15 | 22 | 9 | 8 | 10 | 28 | 9 | 13 |
| T90 (s) | 20 | 27 | 36 | 73 | 19 | 34 | 27 | 85 | 20 | 72 |
| Retour à zéro (s) | 14 | 14 | 47 | 49 | 34 | 28 | 96 | 70 | 24 | 23 |
| Valeur finale (% LIE) | 54 | 61 | 48 | 42 | 50 | 48 | 51 | 41 * Valeur attendue 40 | 48 | 45 |
| Ecart de réponse /concentration du gaz d'essai | +8% | +22% (+14% /réponse en dynamique) | -4% | -16% | 0% | 4% | 2% | 2% | -4% | -10% |
| Données constructeur / conformité | T ₉₀ < 25s Conforme | T ₉₀ < 25s Non conforme | Pas de données | | T ₅₀ < 13 s T ₉₀ < 31 s Conforme | Pas de données | T ₅₀ < 30 s T ₉₀ < 65 s Conforme | T ₅₀ < 30 s T ₉₀ < 65 s Non conforme | Pas de données | |

Tableau 8 : comparatif des résultats de l'essai temps de réponse obtenus en statique et en dynamique

* Appareil D4 : selon la spécification du constructeur, la réponse attendue de l'appareil en statique est 20% inférieure à la réponse en dynamique. L'écart est calculé par rapport à cette valeur attendue.

| Temps de réponse | Synthèse des résultats d'essai pour les 5 appareils C ₅ H ₁₂ | | | |
|------------------------|--|----------------------------|---|---|
| | Exposition à une concentration de 50% LIE | | Expositions à de fortes concentrations | |
| | Mode d'exposition dynamique | Mode d'exposition statique | Mode d'exposition statique | |
| | | | 79% LIE | 50% v/v |
| Alarme A1 (20%LIE) | 6 à 13s | 7 à 28s | 6 à 20s | 3 à 8s |
| Alarme A2 (40%LIE) | 9 à 27s | 12 à 116s | 11 à 35s | 4 à 9s |
| T50 | 7 à 15s | 9 à 28s | 7 à 22s | |
| T90 | 19 à 36s | 26 à 85s | 12 à 42s | |
| Seuil 90%LIE | | | 71s (seul l'appareil D1 atteint 90%LIE) | 5 à 12s |
| Temps de retour à zéro | 14 à 96s | 14 à 70s | 18 à 130s | 85 à 470s (l'appareil D2 revient à 11%LIE) |
| Réponse des appareils | 48 à 54 %LIE | 42 à 61 %LIE | 70 à 93 %LIE | Hors gamme pour tous les appareils |

Tableau 9 : synthèse des résultats des essais temps de réponse pour le C₅H₁₂

Commentaires

La réponse des appareils dans leur gamme de mesure, en mode dynamique et statique sont similaires (écarts de mesure inférieurs à 10% pour 3 appareils et 15% pour 2 appareils). Les temps de réponse sont conformes aux spécifications des constructeurs pour 3 appareils sur 5 en dynamique et pour aucun appareil en statique. Certains temps de déclenchement d'alarme et temps de réponse sont augmentés surtout pour 3 appareils en modes diffusion d'un facteur 2 à 13.

Au delà d'une concentration supérieure à l'étendue de mesure, les temps de déclenchement d'alarmes et d'atteintes du seuil 90%LIE diminuent significativement pour atteindre le seuil 90%LIE en 12 secondes maximum pour la concentration de 50%v/v (Figure 6)

Le temps de retour à zéro est variable d'un détecteur à l'autre (Figure 7) : il peut atteindre 130s pour des concentrations inférieures à la LIE, jusqu'à 470s pour une concentration de 50% v/v. Le détecteur D2 ne revient pas à zéro suite à une exposition à 50%v/v.

Après le retour à zéro, les détecteurs restent fonctionnels, même après avoir mesuré des concentrations jusqu'à 50% v/v.

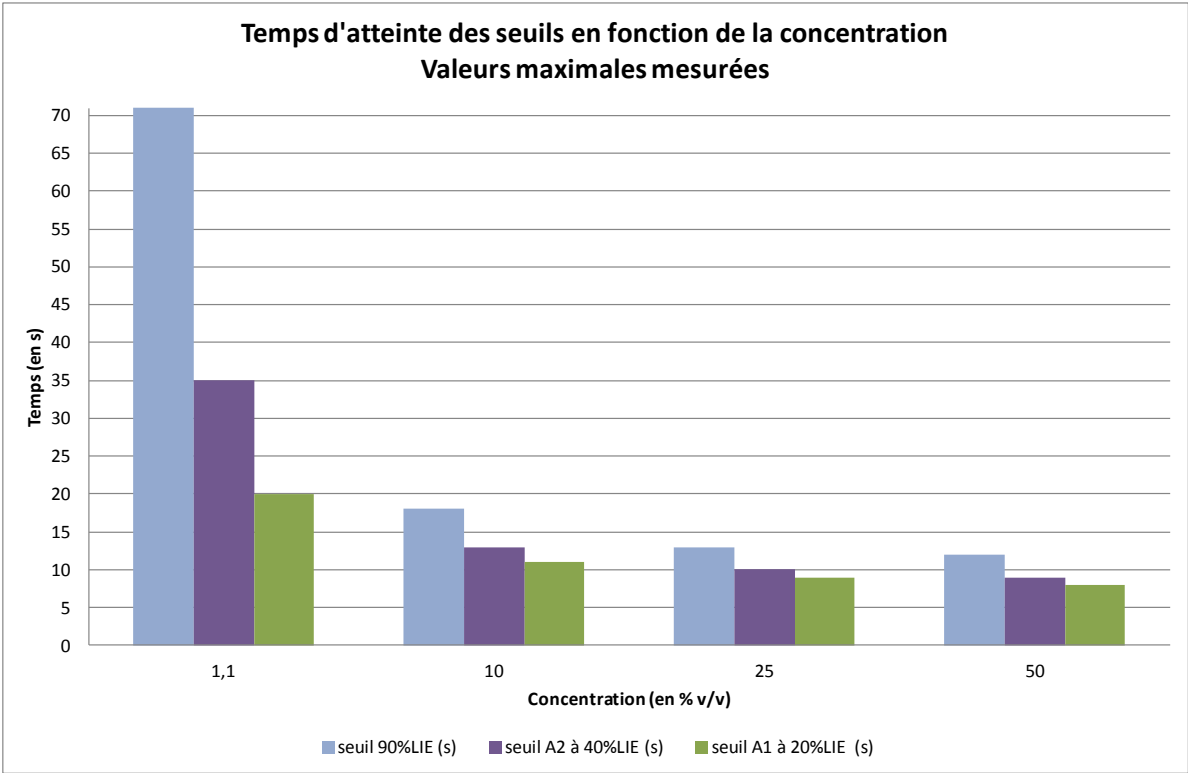


Figure 6 : Temps d'atteinte des seuils pour des concentrations de 1,1% C_5H_{12} (90%LIE) à 100% C_5H_{12}

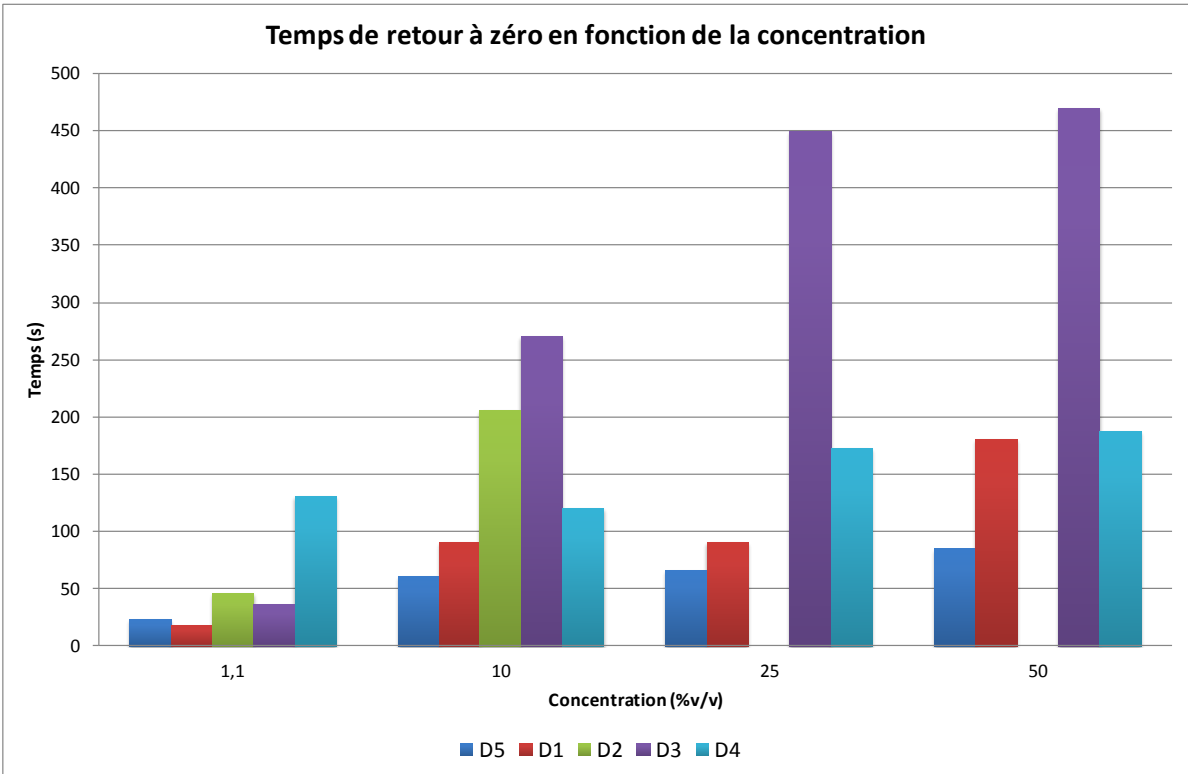


Figure 7 : Temps de retour à zéro des appareils en fonction de la concentration

8.4 SYNTHÈSE DES RÉSULTATS H₂

| Temps de réponse Gaz d'essai : H ₂ | Comparaison de la réponse des appareils H ₂ en statique et en dynamique – gaz d'essai 50% LIE | | | | | | | | | |
|---|--|--|----------------|-------------|---|---|----------------|---------------------------|------------------------------------|----------|
| | Appareil D1 | | Appareil D2 | | Appareil D3 | | Appareil D4 | | Appareil D5 | |
| Méthode d'exposition | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique | Dynamique | Statique |
| A1 (20% LIE) | 3 | 2 | 6 | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | 4 | 2 |
| A2 (40% LIE) | 6 | 4 | 9 | 10 | 7 | 7 | 8 | | 7 | 5 |
| T50 (s) | 4 | 3 | 7 | 5 | 5 | 3 | 4 | 5 | 4 | 3 |
| T90 (s) | 10 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 10 | 13 | 8 | 6 |
| Retour à zéro (s) | 21 | 10 | 63 | 51 | 32 | 22 | 19 | 14 | 4 | 5 |
| Valeur finale (% LIE) | 54 | 63 | 50 | 43 | 50 | 46 | 50 | 39 *Valeur attendue 40 | 50 | 45 |
| Ecart de réponse /concentration du gaz d'essai | +8% | +26% (+18%/mesure dynamique) | 0% | -14% | 0% | -8% | 0% | -2% | 0% | -10% |
| Données constructeur / conformité | T ₉₀ < 25s Conforme | | Pas de données | | T ₅₀ < 7 s T ₉₀ < 13 s Conforme | T ₅₀ < 4 s T ₉₀ < 11 s Conforme | Pas de données | | T ₉₀ < 10 s Conforme | |

Tableau 10 : comparatif des résultats de l'essai temps de réponse obtenus en statique et en dynamique

* Appareil D4 : selon la spécification du constructeur, la réponse attendue de l'appareil en statique est 20% inférieure à la réponse en dynamique. L'écart est calculé par rapport à cette valeur attendue.

| Temps de réponse | Synthèse des résultats d'essai pour les 5 appareils H ₂ | | | |
|------------------------|--|----------------------------|--|---|
| | Exposition à une concentration de 50% LIE | | Expositions à de fortes concentrations | |
| | Mode d'exposition dynamique | Mode d'exposition statique | Mode d'exposition statique | |
| | | | 90% LIE | 80% v/v |
| Alarme A1 (20%LIE) | 3 à 6s | 2 à 5s | 2 à 4s | 1 à 2s |
| Alarme A2 (40%LIE) | 6 à 9s | 4 à 10s | 3 à 6s | 1 à 2s |
| T50 | 4 à 7s | 3 à 5s | 2 à 5s | |
| T90 | 8 à 11s | 6 à 13s | 3 à 7s | |
| Seuil 90%LIE | | | 11s (seul l'appareil D1 atteint 90%LIE) | 2s |
| Temps de retour à zéro | 4 à 63s | 5 à 51s | 6 à 25s D2 : 240s (après dérive du zéro à -6%LIE) | 64 à 142s (dérive du zéro pour D2 et D5) |
| Réponse des appareils | 50 à 54 %LIE | 43 à 63 %LIE | 75 %LIE à Hors gamme | Hors gamme (D3 en défaut, indique hors gamme lors du retour en air) |

Tableau 11 : synthèse des résultats des essais temps de réponse pour le H₂

Commentaires

La réponse des appareils dans leur gamme de mesure, en mode dynamique et statique sont similaires (écarts de mesure inférieurs à 10% pour 3 appareils et 18% pour 2 appareils). Les temps de réponse sont conformes aux spécifications des constructeurs pour 3 appareils sur 5. Il n'y a pas de différence significative des temps de réponse et de déclenchement d'alarme en mode statique par rapport au mode dynamique.

Au delà d'une concentration supérieure à l'étendue de mesure, les temps de déclenchement d'alarmes et d'atteinte du seuil 90%LIE diminuent significativement pour atteindre le seuil 90%LIE en 2 secondes maximum pour la concentration de 80%v/v (Figure 8)

Le temps de retour à zéro est variable d'un détecteur à l'autre : il atteint 25s pour des concentrations inférieures à la LIE, jusqu'à 142 s pour une concentration de 80% v/v (Figure 9). Toutefois, les détecteurs D2 et D5 ont une dérive du zéro.

Après le retour à zéro, les détecteurs restent fonctionnels, même après avoir mesuré des concentrations jusqu'à 80%v/v.

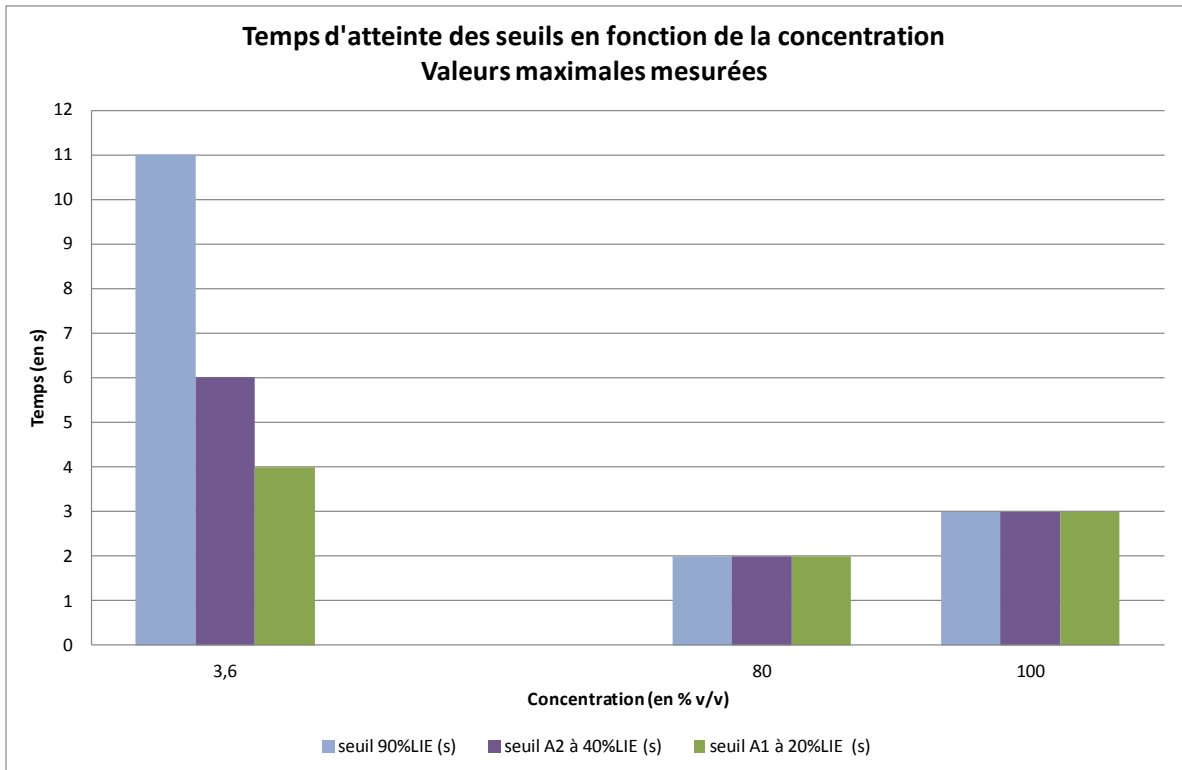


Figure 8 : Temps d'atteinte des seuils pour des concentrations de 3,6% H_2 (90%LIE) à 100% H_2

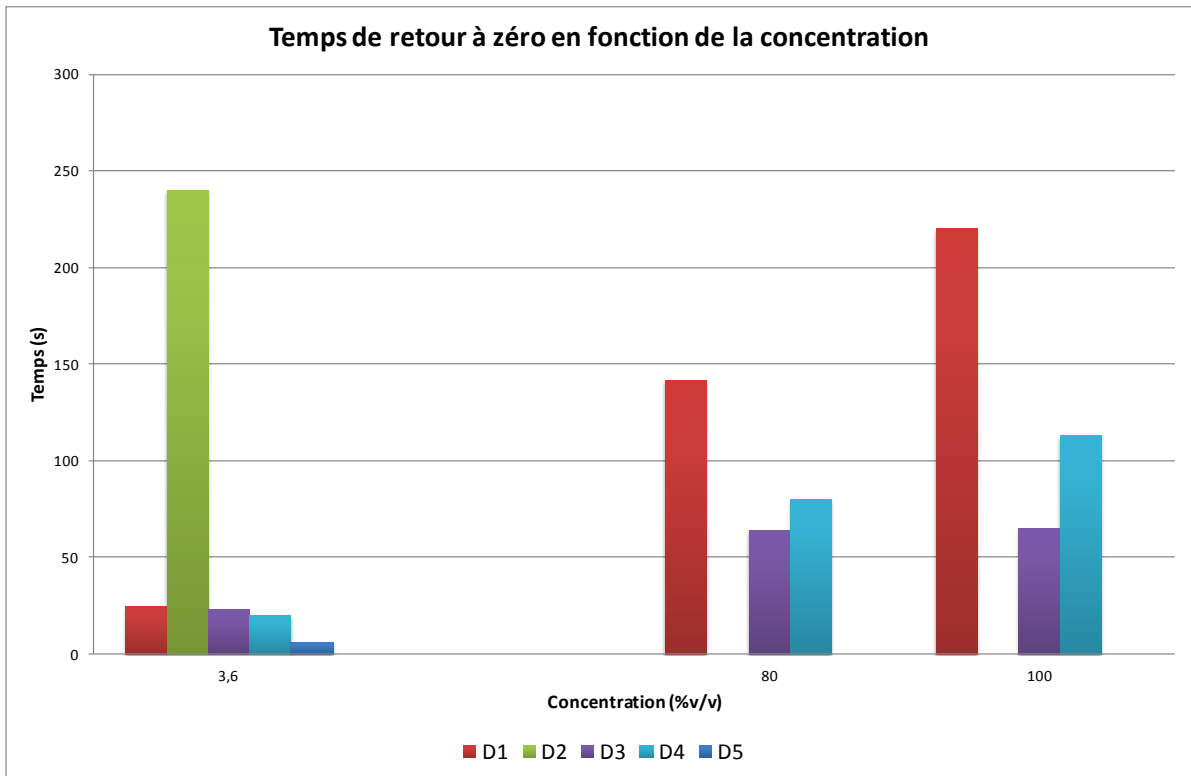


Figure 9 : Temps de retour à zéro des appareils en fonction de la concentration

8.5 SYNTHÈSE DES RESULTATS DE DERIVE A LONG TERME

| Dérive à long terme | Synthèse des résultats d'essai pour les 5 appareils | | |
|--|---|--|--|
| | Gaz d'essai C ₃ H ₈ | | |
| | Mesures long terme | | Mesure forte concentration |
| Période / Concentration du gaz d'essai | Avant essai 50% LIE | Après 3 mois / 50% v/v | Après calibrage / 50 % v/v (autre appareil) |
| Alarme A1 (20%LIE) | 5 à 11s | 2 à 6s | 1 à 6s |
| Alarme A2 (40%LIE) | 8 à 20s | 2 à 7s | 2 à 8s |
| T50 (seuil 25%LIE) | 6 à 13s | | |
| T90 (seuil 45%LIE) | 11 à 31s | | |
| Seuil 90%LIE | | 3 à 9s | 3 à 10s |
| Réponse des appareils | | Zéro : D4 indique 47%LIE dans l'air Réponse hors gamme pour tous les appareils | Hors gamme pour tous les appareils |
| Temps de retour à zéro | 13 à 48s | 120 à 510s pour 3 appareils D2 revient à 91%LIE D4 revient à 47%LIE | 50 à 470s pour 4 appareils l'appareil D2 revient à 8%LIE |

Tableau 12 : synthèse des résultats des essais de dérive à long terme

Commentaires

Dans les conditions de l'essai, c'est-à-dire pour des appareils calibrés avec un gaz d'étalonnage à 50%LIE C₃H₈, tous les appareils atteignent les seuils d'alarmes A1 et A2 et le seuil 90%LIE) en 9 secondes au maximum, en présence d'un gaz d'essai de concentration égale à 50%v/v C₃H₈.

L'appareil D4 présente une très forte dérive du zéro : il indique +47%LIE dans l'air ambiant au terme des 3 mois. Sur un site, cette dérive aurait conduit à des déclenchements intempestifs d'alarme

Les temps de retour à zéro mesurés sont inférieurs à 9 minutes pour trois appareils, l'appareil D2 indiquant 91%LIE dans l'air et l'appareil D4 47%LIE dû à la dérive du zéro.

Après le retour à zéro, les détecteurs, dont le zéro n'a pas dérivé, restent fonctionnels, même après avoir mesuré des concentrations jusqu'à 50%v/v C₃H₈.

Les résultats de temps de déclenchement d'alarme et du seuil 90%LIE sont identiques à ceux mesurés sur d'autres appareils lors des mesures fortes concentrations (à 50%v/v C₃H₈) par diffusion.

9. CONCLUSION

L'INERIS a réalisé des essais en laboratoire afin d'évaluer le comportement et les temps de réponse de détecteurs de gaz inflammables en fonction des concentrations appliquées, en particulier au delà de leur étendue de mesure. Les gaz d'intérêts retenus sont le méthane (CH₄), le propane (C₃H₈), le pentane (C₅H₁₂) et l'hydrogène (H₂).

Les concentrations maximales générées sont de 50%v/v pour le C₅H₁₂ et de 100%v/v pour les gaz CH₄, C₃H₈ et H₂.

Pour le propane, un essai de dérive à long terme sur 3 mois a également été réalisé, avec une mesure à 50%v/v au terme des 3 mois.

Cinq détecteurs représentatifs du marché ont été évalués lors de ces essais. Tous les détecteurs sont équipés de cellules catalytiques, leur gamme de mesure est 0-100% LIE. La technologie catalytique est la technologie la plus répandue pour la détection d'hydrocarbure et d'hydrogène dans la gamme 0 à 100% LIE.

Dans la gamme de mesure des appareils, les résultats suivants ont pu être observés :

- **Résultats pour le méthane (CH₄)**

La réponse des appareils en dynamique (mesures à l'aide de la coiffe de calibrage au débit préconisé par les constructeurs) est égale à 2% près à la concentration de gaz appliquée, pour tous les appareils. Bien que 4 appareils sur 5 aient des temps de réponse mesurés conformes aux spécifications des constructeurs, l'appareil dont la cellule est une cellule dite « anti poison » a un temps de réponse non conforme aux spécifications du constructeur.

En statique (mode diffusion), la réponse des appareils peuvent varier jusqu'à 14% de la valeur attendue. Les temps de réponse mesurés sont non conformes aux données des constructeurs pour 2 appareils sur 5. Les temps de réponse et de déclenchement d'alarmes sont proches de ceux obtenus en dynamique, sauf pour le détecteur D4 pour lequel les temps sont augmentés d'un facteur de 2 à 3.

- **Résultats pour le propane (C₃H₈)**

La réponse des appareils en dynamique est égale à 4% relatif près à la concentration de gaz appliquée, pour tous les appareils. Les temps de réponse mesurés sont conformes aux spécifications des constructeurs pour 3 appareils sur 5, 2 appareils n'ayant pas de données.

En statique (mode diffusion), la réponse des appareils peut varier de jusqu'à 14% de la concentration appliquée ou de la réponse en dynamique. Un seul appareil a un temps de réponse conforme aux données constructeur pour le propane, 2 appareils n'étant pas conforme et 2 appareils n'ayant pas de données constructeur.

- **Résultats pour le pentane (C₅H₁₂)**

L'écart de réponse des appareils en dynamique est inférieur à 8% relatif par rapport à la concentration de gaz appliquée. Les temps de réponse sont conformes pour 3 appareils, les 2 autres appareils n'ayant pas de données constructeurs.

En statique (mode diffusion), l'écart de réponse des appareils par rapport à la concentration de gaz appliquée ou de la réponse en dynamique varie de 2 à 16%. Les temps de réponse des appareils sont non conformes aux données constructeurs pour 2 appareils, les trois autres détecteurs n'ayant pas de données constructeurs.

- **Résultats pour l'hydrogène (H₂)**

La réponse des appareils en dynamique présente un écart inférieur à 8% par rapport à la concentration de gaz appliquée. Les temps de réponse sont conformes pour 3 appareils. Il n'y a pas de données constructeurs pour les deux autres.

En statique (mode diffusion), l'écart de réponse des appareils par rapport à la concentration de gaz appliquée ou de la réponse en dynamique varie de 2 à 16%. Les temps de réponse sont conformes pour 3 appareils, les 2 autres détecteurs n'ayant pas de données.

Sur l'ensemble des temps de réponse mesurés sur les 4 gaz (CH₄, C₃H₈, C₅H₁₂, H₂), la conformité par rapport aux données des constructeurs est résumée dans le tableau ci-dessous :

| Temps de réponse mesurés | CONFORME aux données constructeurs | NON CONFORME aux données constructeurs | Pas de données constructeurs |
|--------------------------|------------------------------------|--|------------------------------|
| Dynamique (coiffe) | 65% | 5% | 30% |
| Statique (diffusion) | 35% | 30% | 35% |

Au-delà de l'étendue de mesure, les mesures en statique (mode diffusion), pour tous les appareils et quelque soit le gaz d'essai, ont montré que :

- Tous les appareils indiquent clairement l'information de dépassement d'échelle.
Un détecteur se met en défaut en présence de 80%v/v H₂.
- Lorsque les appareils mesurent une concentration dépassant leur étendue de mesure (50%v/v pour CH₄, C₃H₈, C₅H₁₂ et 80%v/v pour H₂), les temps de déclenchement des seuils (seuils d'alarmes, et seuil 90%LIE) diminuent significativement pour atteindre un seuil 90%LIE inférieur ou égal à 12 secondes quelque soit le gaz d'essai utilisé.
- Les temps de retour à zéro des appareils sont généralement inférieurs à 8 min pour une concentration de 50%v/v pour CH₄, C₃H₈, C₅H₁₂ et 80%v/v pour H₂ durant 60s. Certains appareils ne reviennent pas à zéro, ou reviennent à zéro mais ce dernier dérive ensuite. Dans ce cas un étalonnage est indispensable pour recalibrer le zéro.
- Dans tous les cas les appareils sont restés fonctionnels après leur retour à zéro.

Lors de l'essai de dérive à long terme, après un calibrage initial avec un gaz d'essai propane à 50%LIE, puis 3 mois de fonctionnement dans l'air :

- **L'appareil présente une très forte dérive du zéro (+47%LIE)** au terme des trois mois, pouvant conduire à des fausses alarmes en situation réelle. **Une cellule présentant une telle dérive est défectueuse et doit être remplacée.**
- Les appareils ont tous rapidement indiqué un dépassement d'échelle, en présence d'une forte concentration correspondant à 50%v/v C₃H₈,
- Les temps de déclenchement des seuils (seuils d'alarmes, seuil 90%LIE) sont identiques à ceux mesurés précédemment dans les mêmes conditions. En présence d'une forte concentration, les appareils atteignent, par exemple, le seuil 90%LIE en 9 secondes au maximum.

Tous ces résultats sont résumés dans le Tableau 13.

| Synthèse des résultats d'essais des détecteurs catalytiques | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------|---------------------------|-----|----|----|-----|--|-----|-----|----|-----|--|-----|----|-----|-----|--|-----|----|----|-----|
| Dans la gamme de mesure | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Gaz d'essai 50% LIE (50% de la gamme de mesure) | | Détecteur CH ₄ | | | | | Détecteur C ₃ H ₈ | | | | | Détecteur C ₅ H ₁₂ | | | | | Détecteur H ₂ | | | | |
| Réponse en dynamique | | ±2% | | | | | 0 | 0 | 0 | 0 | -4% | +8% | -4% | 0 | +2% | -4 | +8% | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Temps de réponse en dynamique / données constructeur | Conforme | D1 | | D3 | D4 | D5 | D1 | | D3 | D4 | | D1 | | D3 | D4 | | D1 | | D3 | | D5 |
| | Non conforme | | D2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Pas de données | | | | | | | D2 | | | D5 | | D2 | | | D5 | | D2 | | D4 | |
| Réponse en statique (écart / concentration 50%LIE en %) | | +10 | -14 | -8 | +7 | -14 | +14 | -14 | -10 | +2 | -14 | +14* | -16 | +4 | +2 | -10 | +18* | -14 | -8 | -2 | -10 |
| Temps de réponse en statique / données constructeur | Conforme | D1 | | | D4 | D5 | D1 | | | | | | | | | | D1 | | D3 | | D5 |
| | Non conforme | | D2 | D3 | | | | | D3 | D4 | | D1 | | | D4 | | | | | | |
| | Pas de données | | | | | | | D2 | | | D5 | | D2 | D3 | | D5 | | D2 | | D4 | |
| Au delà de la gamme de mesure | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Réponse en statique | | Détecteur CH ₄ | | | | | Détecteur C ₃ H ₈ | | | | | Détecteur C ₅ H ₁₂ | | | | | Détecteur H ₂ | | | | |
| Indication de dépassement d'échelle | | OUI | | | | | OUI | | | | | OUI | | | | | OUI D3 en défaut | | | | |
| Temps d'atteinte du seuil 90%LIE | Gaz d'essai à 50 %v/v | 2 à 3 s | | | | | 3 à 10 s | | | | | 5 à 12 s | | | | | Gaz d'essai 80%v/v 2 s (D3 en défaut) | | | | |
| Temps de retour à zéro | | 58 à 340 s | | | | | 50 à 470 s D2 ne revient pas à zéro | | | | | 85 à 470 s D2 ne revient pas à zéro | | | | | 64 à 142 s D2 ne revient pas à zéro Dérive du zéro pour D5 | | | | |
| Dérive sur 3 mois Seuil 90%LIE | Gaz d'essai 50%v/v | | | | | | 3 à 9s très forte dérive du zéro pour l'appareil D4 (+47%LIE) | | | | | | | | | | | | | | |

Tableau 13 : synthèse globale des résultats d'essais pour tous les gaz

* par rapport à la réponse en dynamique

10. RESULTATS DES ESSAIS CH₄

10.1 MESURES SUR L'ETENDUE DE MESURE DE L'APPAREIL

L'objectif de cet essai est de caractériser les performances des détecteurs sur leur étendue de mesure. L'exposition au gaz d'essai est effectuée en mode d'exposition dynamique puis en statique.

La réponse des appareils est mesurée, ainsi que les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro.

10.1.1 ESSAI EN DYNAMIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à 2,192%v/v soit 49,8%LIE.

Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}) et les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) sont déterminés de la manière suivante : l'appareil est exposé à l'air ambiant puis au gaz d'essai de référence à l'aide de sa coiffe de calibrage au débit préconisé par le constructeur jusqu'à stabilisation de la mesure (valeur finale). En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes.

Le temps de retour à zéro est également mesuré.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 14:

| Appareils | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes (s) | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|--|--------------|----------------------------|
| | | T_{50} | T_{90} | A1 (20% LIE) | A2 (40% LIE) | |
| D1 | 50 | 6 | 11 | 5 | 8 | 16 |
| D2 | 49 | 10 | 21 | 8 | 16 | 26 |
| D3 | 50 | 5 | 10 | 4 | 7 | 14 |
| D4 | 51 | 6 | 13 | 5 | 10 | 30 |
| D5 | 50 | 6 | 12 | 5 | 9 | 12 |

Tableau 14 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

10.1.2 ESSAI EN STATIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à 2,192%v/v soit 49,8%LIE.

Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro sont déterminés selon la méthode suivante :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 15.

| Appareils | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes (s) | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|------|----------------------|----------------------|----------|--|--------------|----------------------------|
| | | | T_{50} | T_{90} | A1 (20% LIE) | A2 (40% LIE) | |
| D1 | 0 | 55 | 5 | 12 | 4 | 7 | 14 |
| D2 | 0 | 43 | 11 | 26 | 10 | 28 | 29 |
| D3 | 0 | 46 | 7 | 13 | 6 | 12 | 26 |
| D4 | 0 | 43 | 13 | 30 | 11 | 34 | 29 |
| D5 | 0 | 43 | 5 | 12 | 5 | 14 | 14 |

Tableau 15 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

10.2 EXPOSITION A UNE FORTE CONCENTRATIONS EN STATIQUE

Les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2), le temps d'atteinte du seuil 90%LIE et le temps de retour à zéro sont vérifiées lors d'une exposition à des fortes concentrations de gaz, dont les concentrations sont égales à :

- 4%v/v soit 90% LIE
- 20%v/v,
- 50%v/v,
- 100 %v/v.

Le déroulement de l'essai est le suivant :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

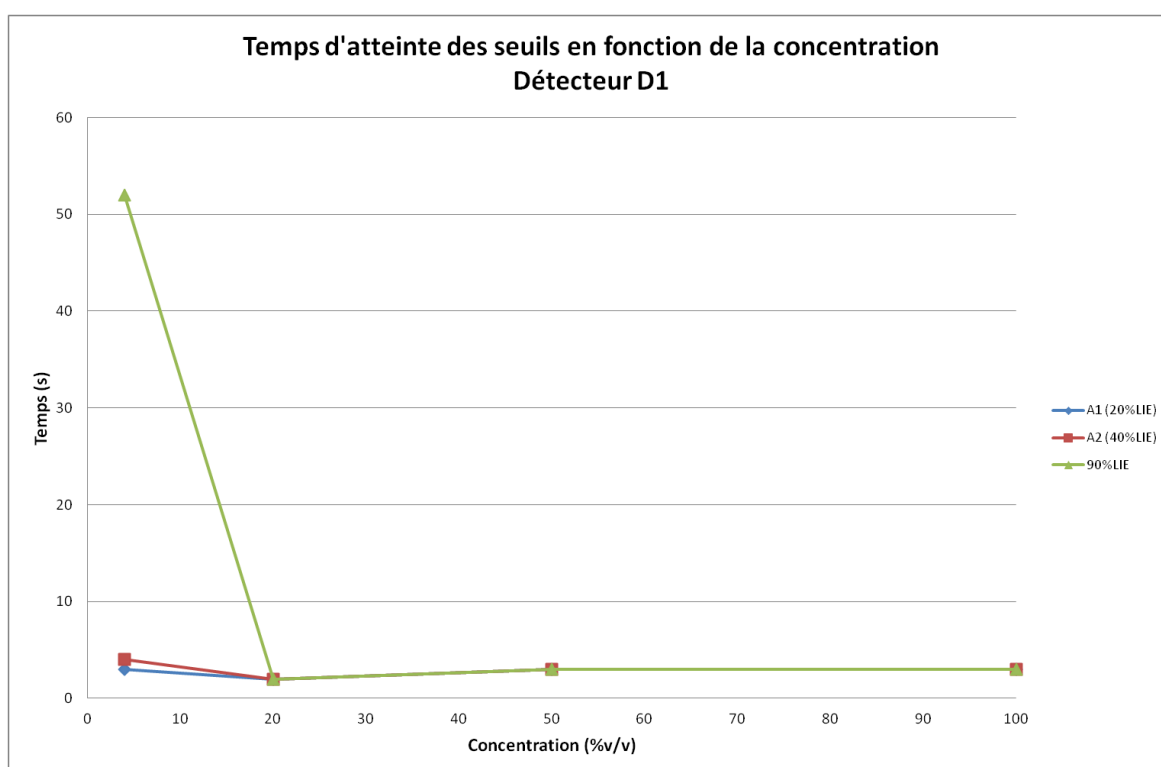
Les résultats sont reportés ci-après. Ils comprennent par appareil :

- Un tableau synthétisant :
 - Les valeurs relevées sur l'afficheur de l'appareil,
 - Les temps de déclenchement des seuils suivants :
 - Seuils d'alarme A1 et A2 réglés respectivement à 20 et 40%LIE,
 - Seuil correspondant à 90 %LIE,
 - Les temps de retour à zéro
- Un graphe représentant le temps les temps de déclenchement des seuils en fonction de la concentration de gaz injectée.
- Un graphe des temps de retour à zéros (temps de retour à zéro) en fonction de la concentration injectée

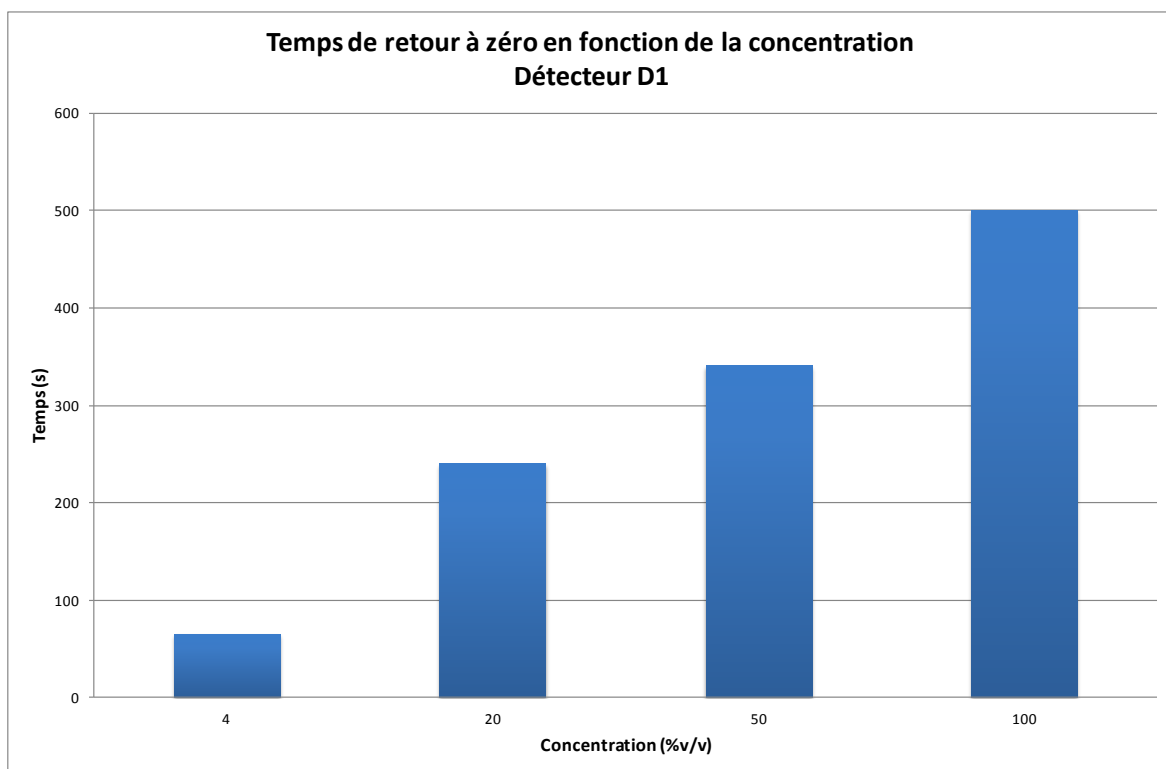
10.2.1 RESULTATS DE L'APPAREIL D1

| Appareil D1 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 4 | 0 | 3 | 4 | 52 | 94 | 65 |
| 20 | 0 | 2 | 2 | 2 | 100 / w-04 / w-05 | 240 |
| 50 | 0 | 3 | 3 | 3 | 100 / w-04 / w-05 | 340 |
| 100 | 0 | 3 | 3 | 3 | 100 / w-04 / w-05 | 500 |

Tableau 16 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D1



Graphique 1 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D1

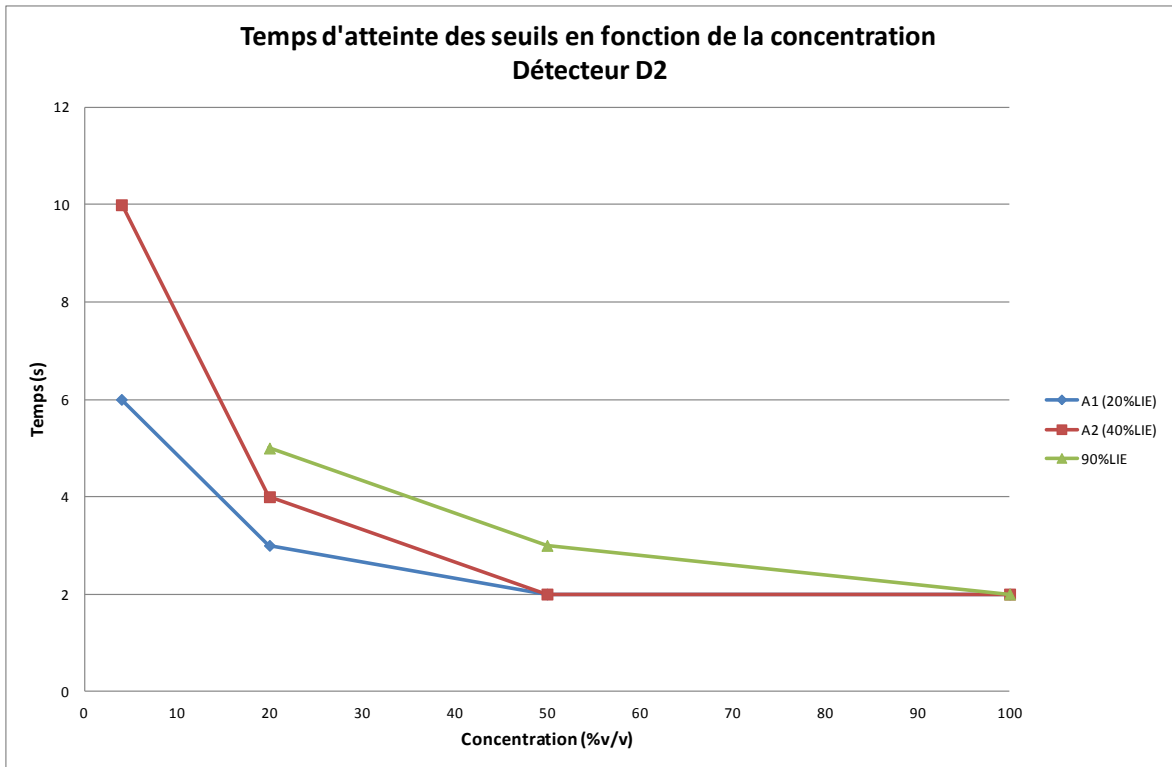


Graphique 2 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D1

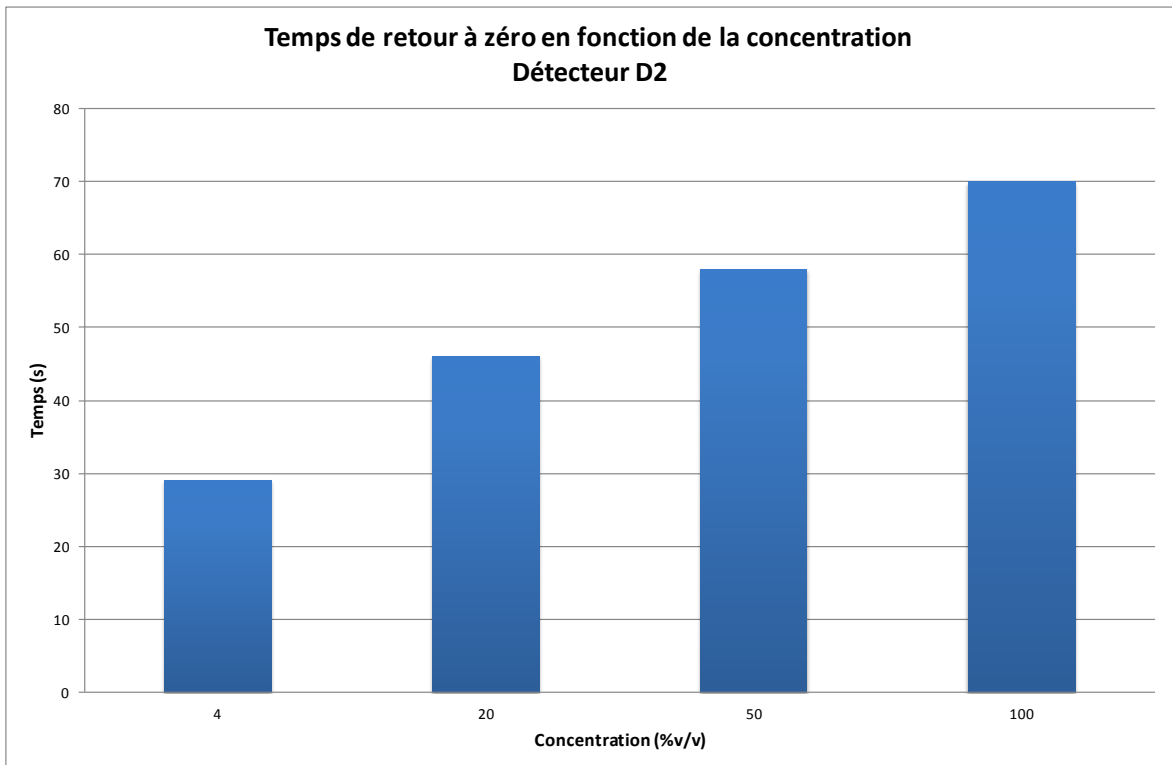
10.2.2 RESULTATS DE L'APPAREIL D2

| Appareil D2 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 4 | 0 | 6 | 10 | | 80 | 29 |
| 20 | 0 | 3 | 4 | 5 | 100 SUP | 46 (puis dérive à 6%LIE) |
| 50 | 6 | 2 | 2 | 3 | 100 SUP | dérive à 6%LIE |
| 100 | 6 | 2 | 2 | 2 | 100 SUP | dérive à 7%LIE |

Tableau 17 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D2



Graphique 3 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D2

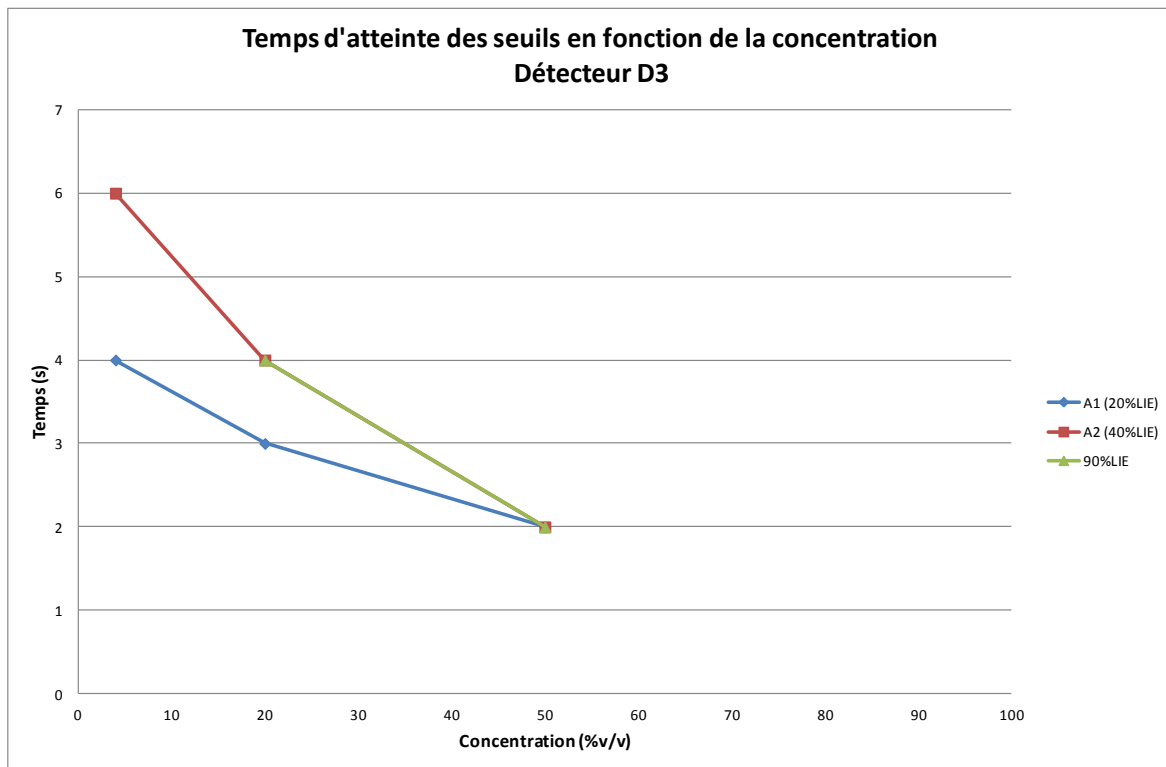


Graphique 4 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D2

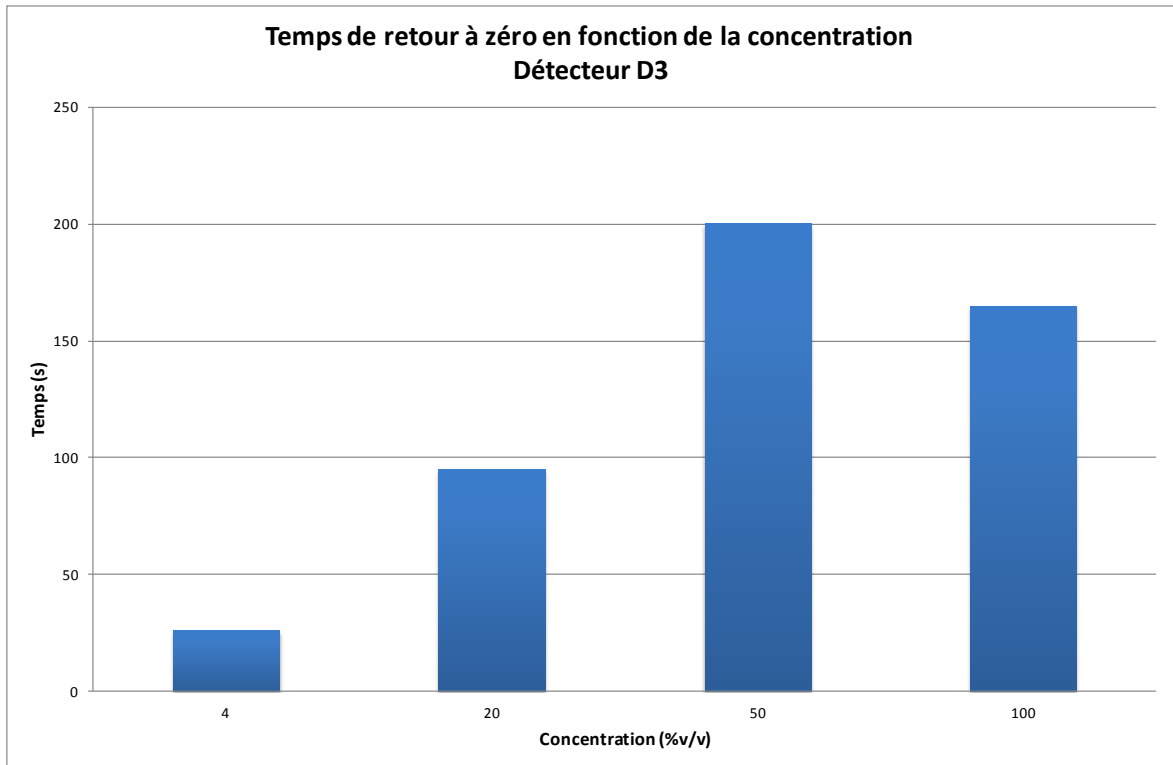
10.2.3 RESULTATS DE L'APPAREIL D3

| Appareil D3 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|--|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 4 | 0 | 4 | 6 | | 86 | 26 |
| 20 | 0 | 3 | 4 | 4 | ↑↑↑↑ | 95 |
| 50 | 0 | 2 | 2 | 2 | ↑↑↑↑ | 200 |
| 100 | 0 | | | | ---- | 165 (passe en hors gamme à la remise sous air) |

Tableau 18 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D3



Graphique 5 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D3

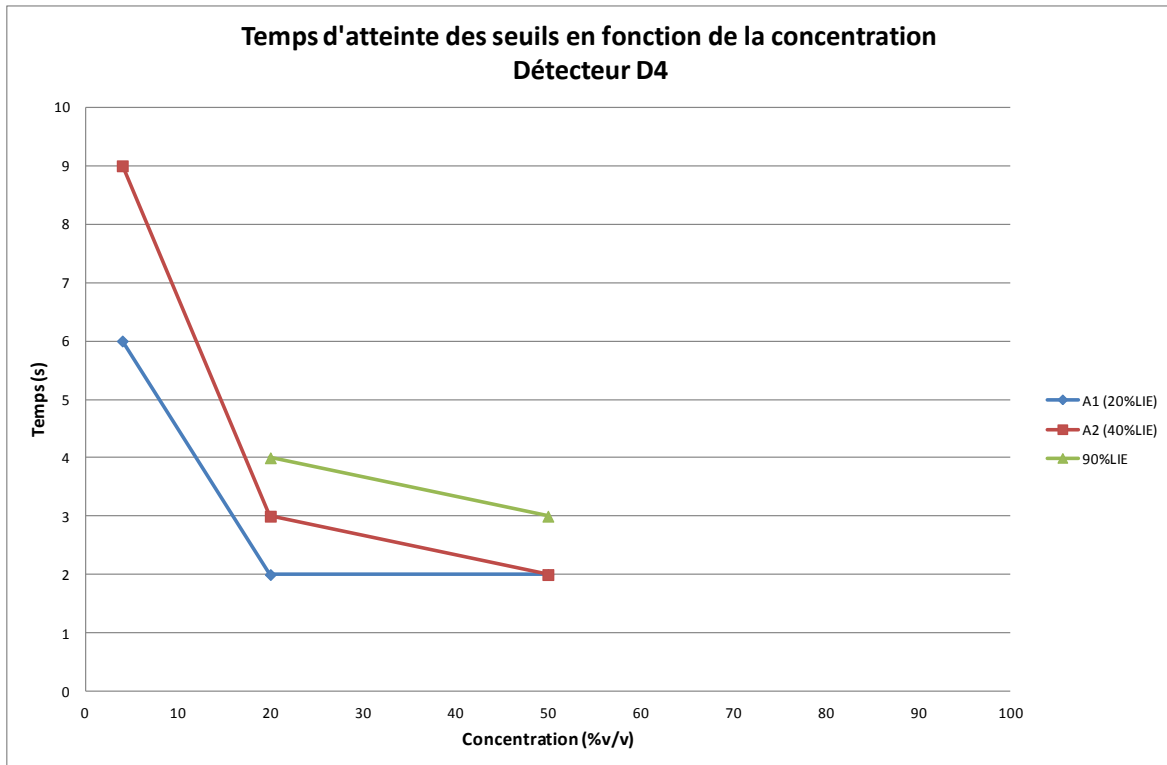


Graphique 6 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D3

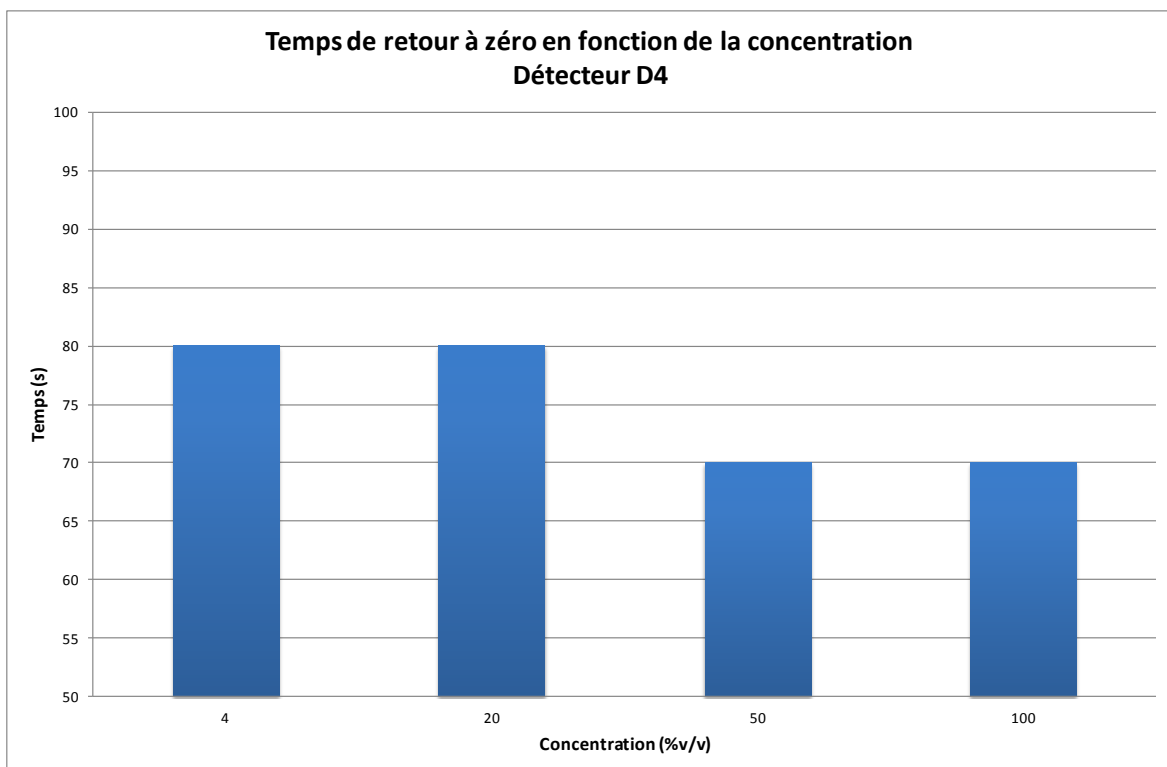
10.2.4 RESULTATS DE L'APPAREIL D4

| Appareil D4 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|---|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 4 | 0 | 6 | 9 | | 74 | 80 |
| 20 | 0 | 2 | 3 | 4 | +LOC | 80 |
| 50 | 0 | 2 | 2 | 3 | +LOC | 70 |
| 100 | 0 | | | | 0 | 70 (passe en hors gamme à la remise sous air) |

Tableau 19 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D4



Graphique 7 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D4

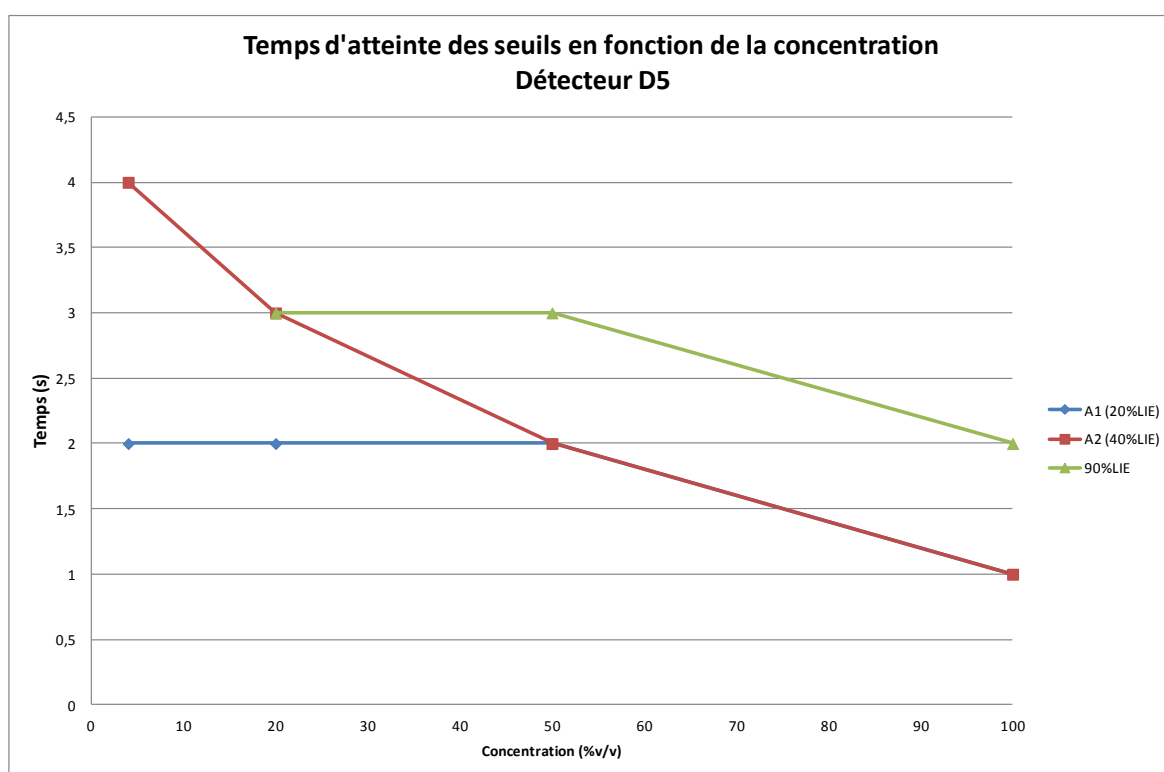


Graphique 8 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D4

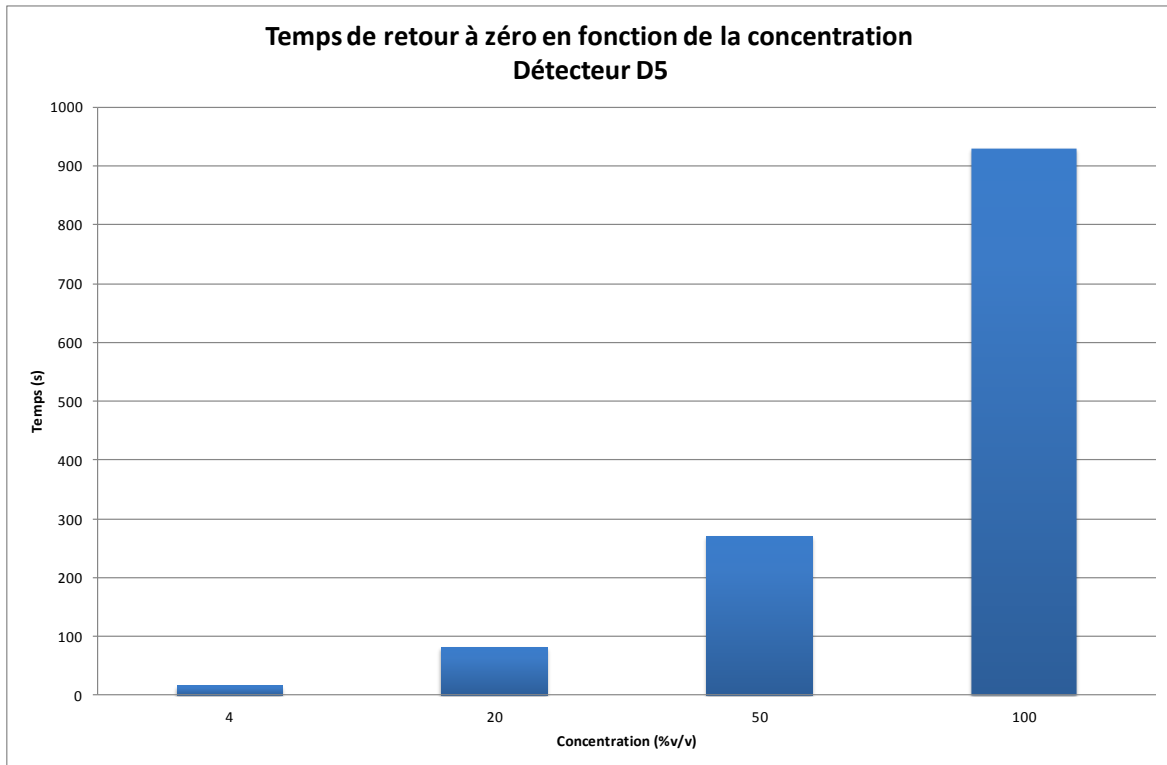
10.2.5 RESULTATS DE L'APPAREIL D5

| Appareil D1 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 4 | 0 | 2 | 4 | | 85 | 16 |
| 20 | 0 | 2 | 3 | 3 | 100 DOUT | 80 |
| 50 | 0 | 2 | 2 | 3 | 100 DOUT | 270 |
| 100 | 0 | 1 | 1 | 2 | 100 DOUT | 930 |

Tableau 20 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D5



Graphique 9 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D5



Graphique 10 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D5

11. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS C₃H₈

11.1 MESURES SUR L'ETENDUE DE MESURE DE L'APPAREIL

L'objectif de cet essai est de caractériser les performances des détecteurs sur leur étendue de mesure. L'exposition au gaz d'essai est effectuée en mode d'exposition dynamique puis en statique.

La réponse des appareils est mesurée, ainsi que les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro.

11.1.1 ESSAI EN DYNAMIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration égale 0,845%v/v C₃H₈, soit 49,7%LIE.

Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}) et les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) sont déterminés de la manière suivante : l'appareil est exposé à l'air ambiant puis au gaz d'essai de référence à l'aide de sa coiffe de calibrage au débit préconisé par le constructeur jusqu'à stabilisation de la mesure (valeur finale). En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes.

Le temps de retour à zéro est également mesuré.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

| Appareils Gamme de mesure Concentration du gaz de référence | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes | | Temps de retour à zéro (s) |
|--|------|----------------------------|-------------------------|-----------------|--|----------------|----------------------------------|
| | | | T ₅₀ | T ₉₀ | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 50 | 5 | 10 | 5 | 9 | 15 |
| D2 | 0 | 50 | 14 | 32 | 12 | 24 | 46 |
| D3 | 0 | 50 | 7 | 14 | 6 | 11 | 20 |
| D4 | 0 | 50 | 9 | 20 | 7 | 15 | 47 |
| D5 | 0 | 48 | 7 | 16 | 7 | 13 | 17 |

Tableau 21 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

11.1.2 ESSAI EN STATIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration égale 0,845%v/v C₃H₈, soit 49,7%LIE.

Les temps de réponse (T₅₀ et T₉₀), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro sont déterminés selon la méthode suivante :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 22 .

| Appareils Gamme de mesure Concentration du gaz de référence | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes (s) | | Temps de retour à zéro (s) |
|--|------|----------------------------|-------------------------|-----------------|--|----------------|----------------------------------|
| | | | T ₅₀ | T ₉₀ | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 57 | 5 | 10 | 4 | 8 | 12 |
| D2 | 0 | 43 | 21 | 60 | 18 | 68 | 44 |
| D3 | 0 | 45 | 7 | 23 | 6 | 19 | 23 |
| D4 | 0 | 41 | 22 | 60 | 19 | 100 | 54 |
| D5 | 0 | 43 | 7 | 35 | 7 | 48 | 16 |

Tableau 22 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

11.2 EXPOSITION A UNE FORTE CONCENTRATIONS EN STATIQUE

Les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2), le temps d'atteinte du seuil 90%LIE et le temps de retour à zéro sont vérifiées lors d'une exposition à des fortes concentrations de gaz, dont les concentrations sont égales à :

- 1,5%v/v soit 88%LIE,
- 20%v/v,
- 50%v/v,
- 100 %v/v.

Le déroulement de l'essai est le suivant :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

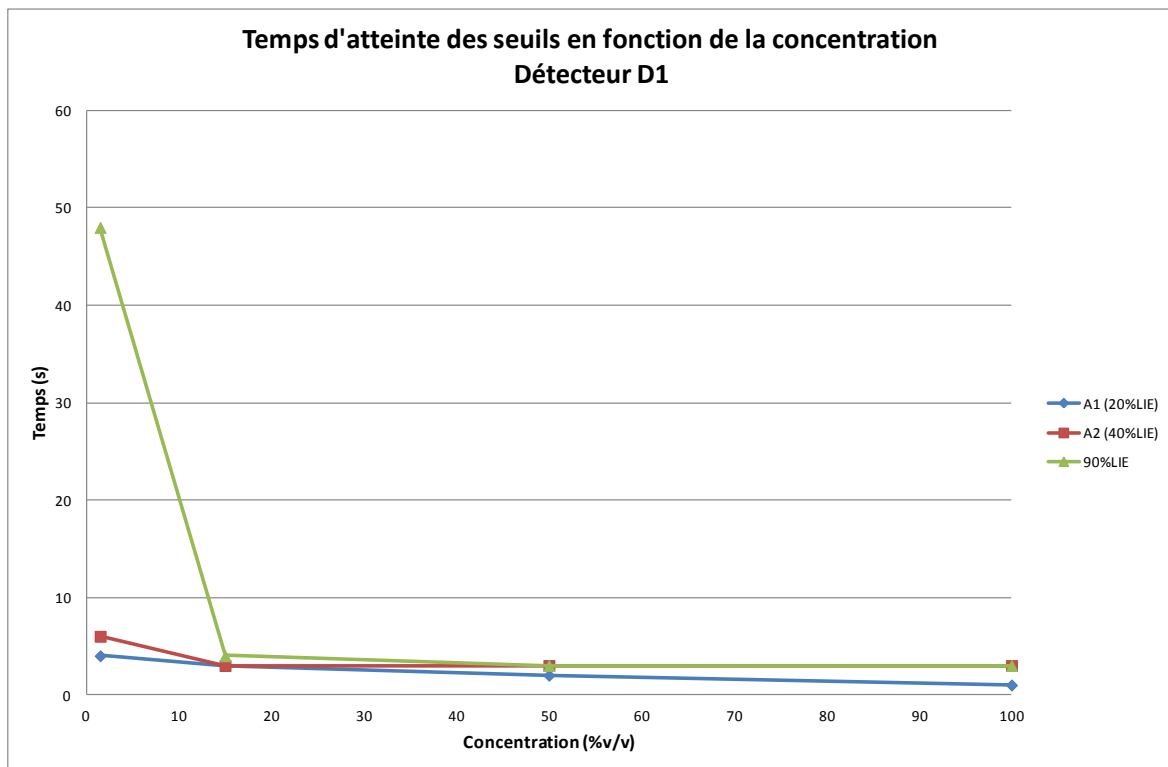
Les résultats sont reportés ci-après. Ils comprennent par appareil :

- Un tableau synthétisant :
 - Les valeurs relevées sur l'afficheur de l'appareil,
 - Les temps de déclenchement des seuils suivants :
 - Seuils d'alarme A1 et A2 réglés respectivement à 20 et 40%LIE,
 - Seuil correspondant à 90 %LIE Les temps de retour à zéro
- Un graphe représentant le temps les temps de déclenchement des seuils en fonction de la concentration de gaz injectée.
- Un graphe des temps de retour à zéros (temps de retour à zéro) en fonction de la concentration injectée

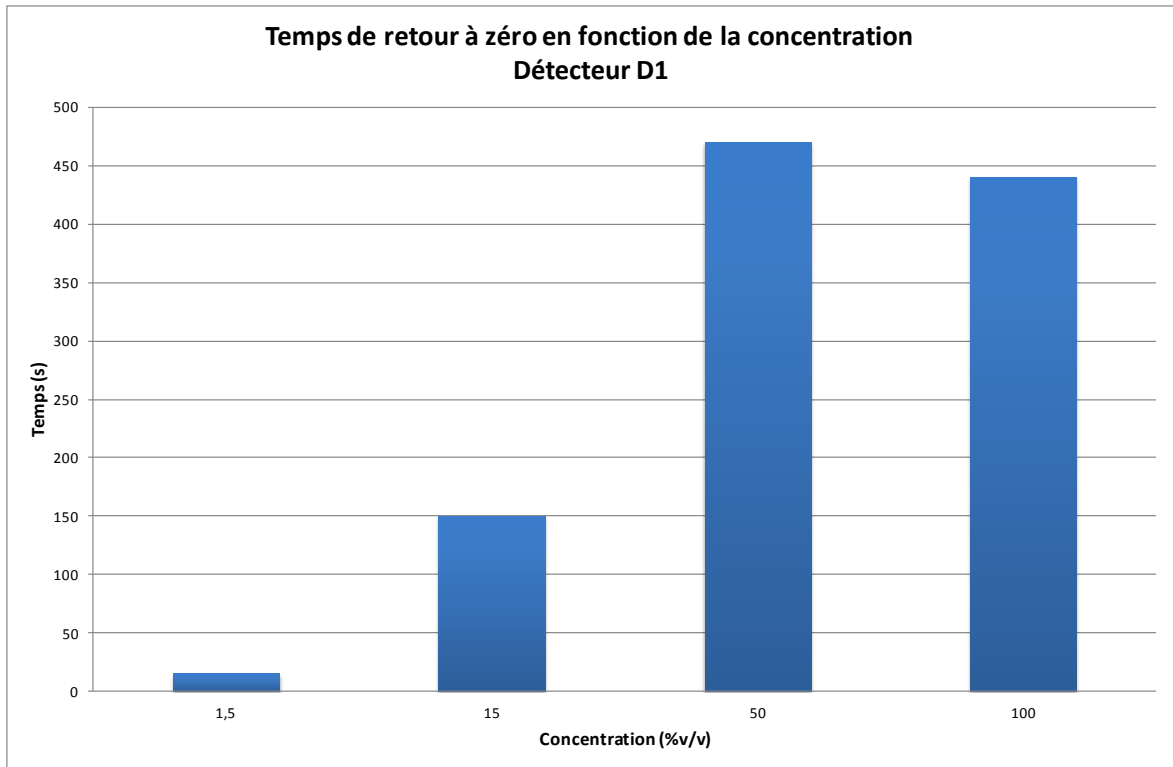
11.2.1 RESULTATS DE L'APPAREIL D1

| Appareil D1 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,5 | 0 | 4 | 6 | 48 | 97 | 15 |
| 15 | 0 | 3 | 3 | 4 | 100 / w-04 / w-05 | 150 |
| 50 | 0 | 2 | 3 | 3 | 100 / w-04 / w-05 | 470 |
| 100 | 0 | 1 | 3 | 3 | 100 / w-04 / w-05 | 440 |

Tableau 23 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D1



Graphique 11 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D1

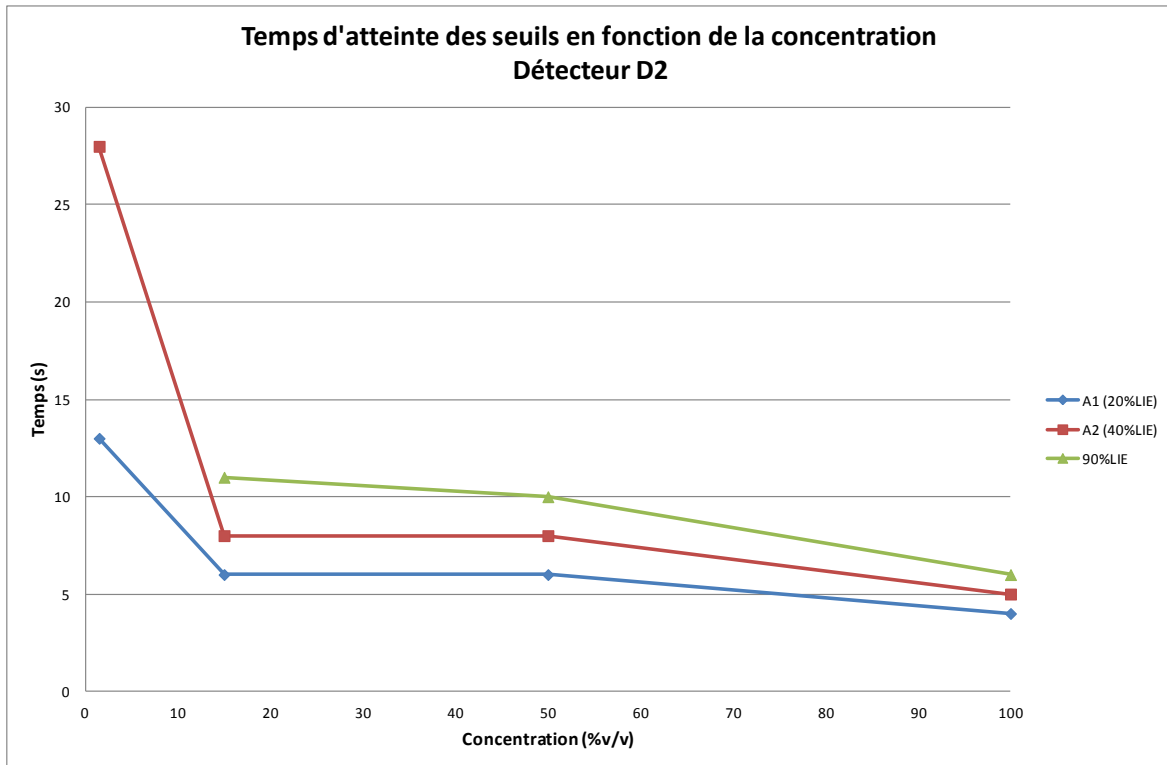


Graphique 12 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D1

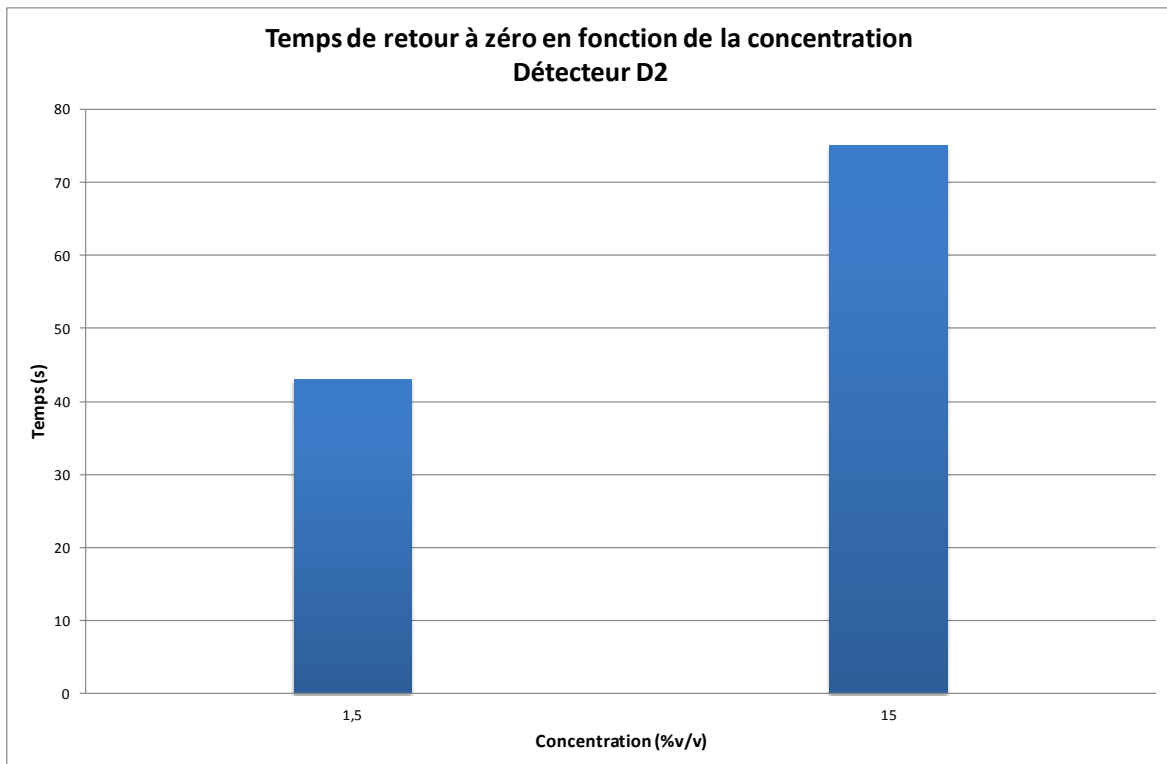
11.2.2 RESULTATS DE L'APPAREIL D2

| Appareil D2 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,5 | 0 | 13 | 28 | | 64 | 43 |
| 15 | 0 | 6 | 8 | 11 | 100 SUP | 75 |
| 50 | 5 | 6 | 8 | 10 | 100 SUP | Retour à 8%LIE |
| 100 | 8 | 4 | 5 | 6 | 100 SUP | Retour à 9%LIE |

Tableau 24 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D2



Graphique 13 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D2

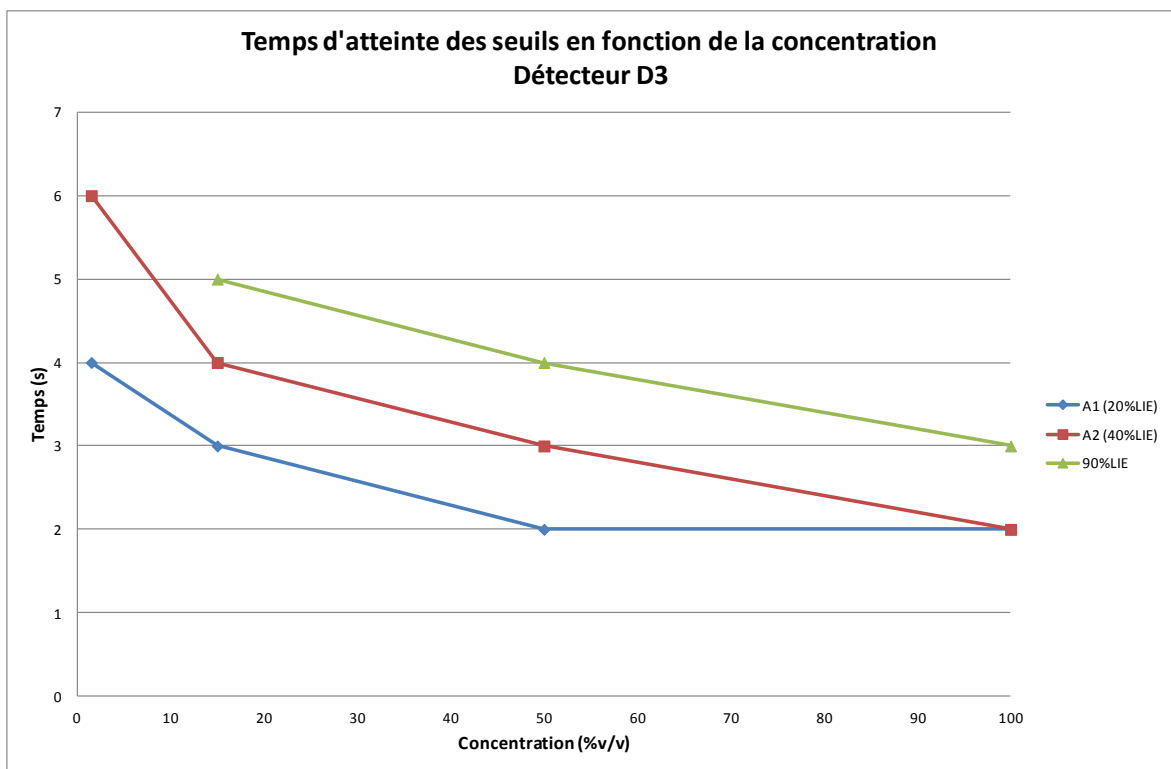


Graphique 14 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D2

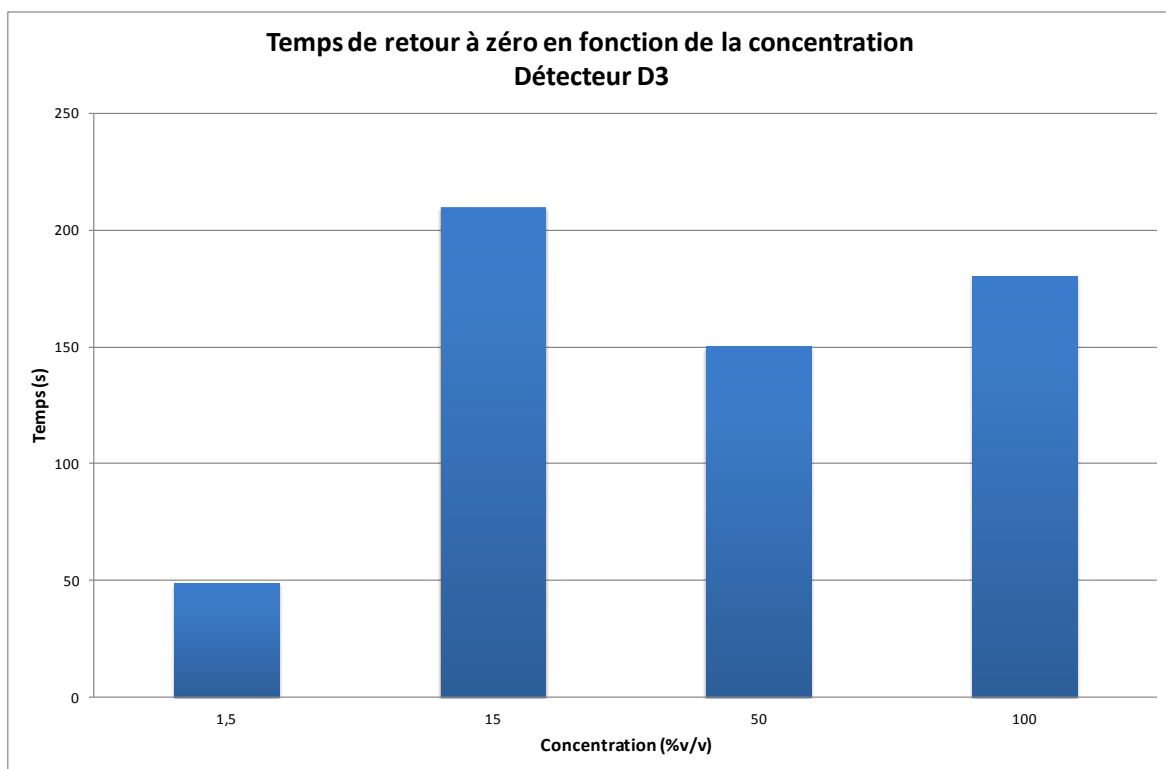
11.2.3 RESULTATS DE L'APPAREIL D3

| Appareil D3 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,5 | 0 | 4 | 6 | | 82 | 49 |
| 15 | 0 | 3 | 4 | 5 | ↑↑↑↑ | 210 |
| 50 | 0 | 2 | 3 | 4 | ↑↑↑↑ | 150 |
| 100 | 0 | 2 | 2 | 3 | ↑↑↑↑ | 180 |

Tableau 25 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D3



Graphique 15 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D3

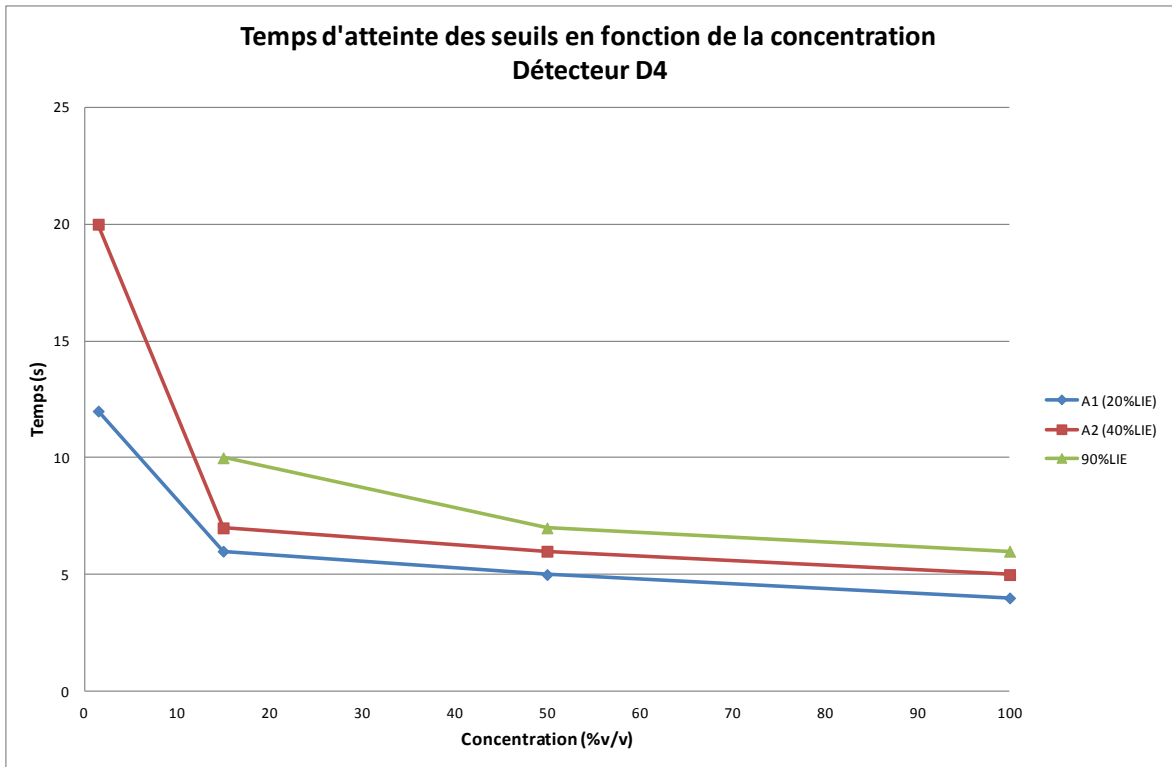


Graphique 16 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D3

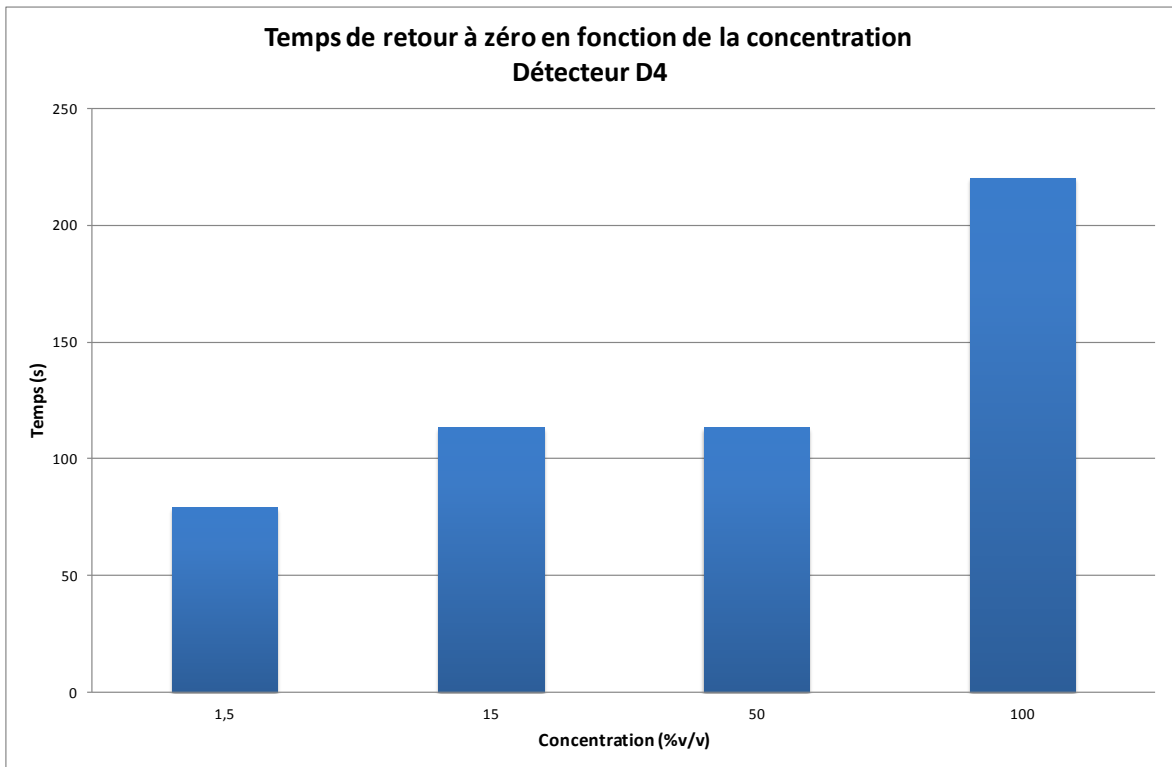
11.2.4 RESULTATS DE L'APPAREIL D4

| Appareil D4 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,5 | 0 | 12 | 20 | | 74 | 79 |
| 15 | 0 | 6 | 7 | 10 | +LOC | 113 |
| 50 | 0 | 5 | 6 | 7 | +LOC | 113 |
| 100 | 0 | 4 | 5 | 6 | +LOC | 220 |

Tableau 26 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D4



Graphique 17 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D4

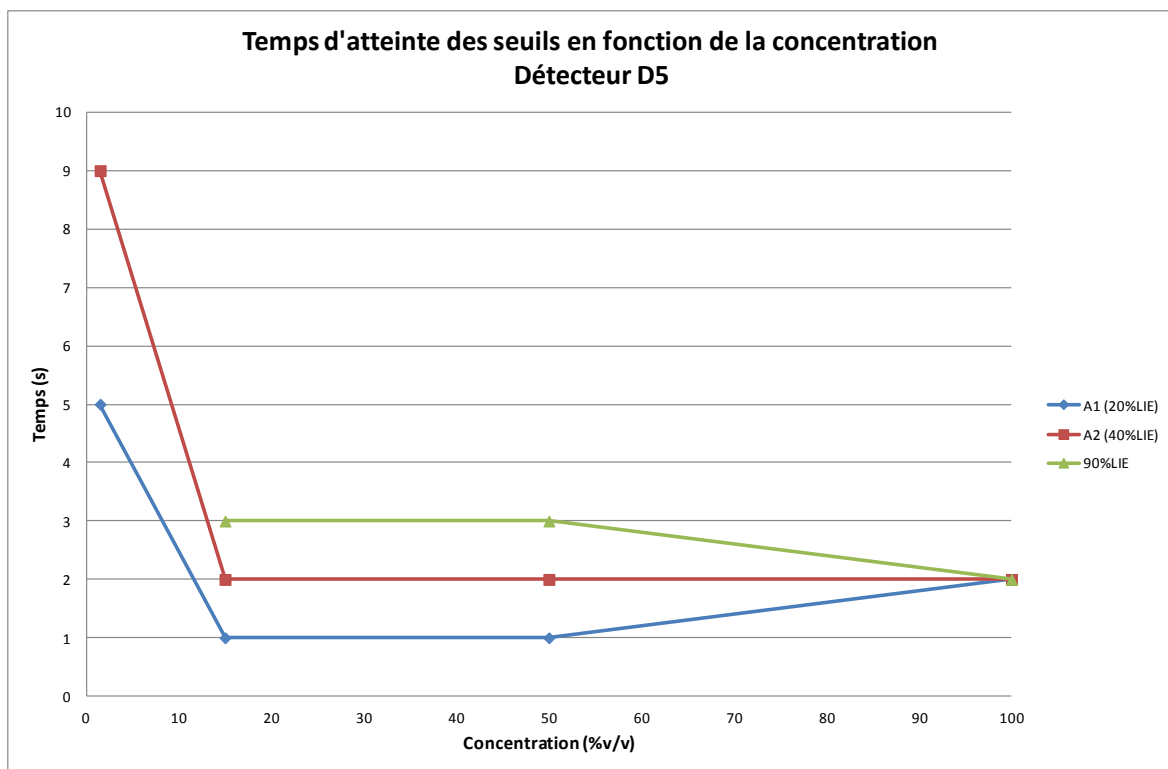


Graphique 18 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D4

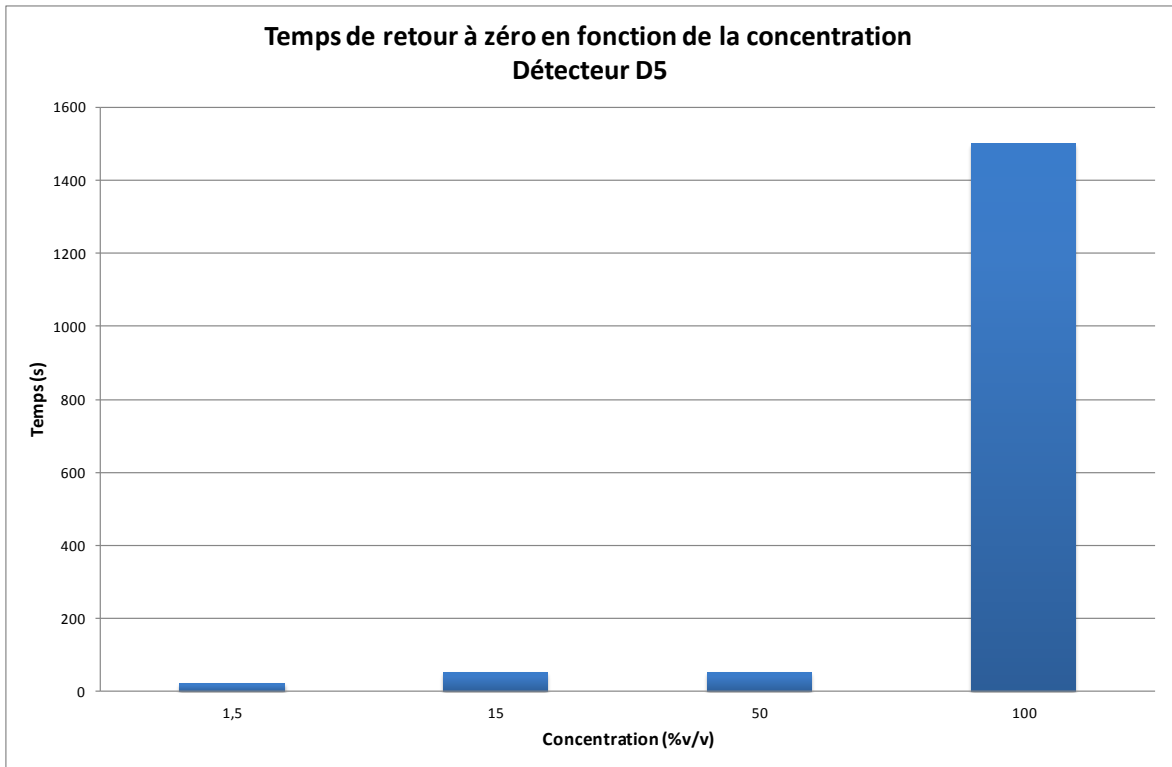
11.2.5 RESULTATS DE L'APPAREIL D5

| Appareil D5 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,5 | 0 | 5 | 9 | | 85 | 20 |
| 15 | 0 | 1 | 2 | 3 | 100 | < 50 |
| 50 | 0 | 1 | 2 | 3 | 100 | 50 |
| 100 | 0 | 2 | 2 | 2 | 100 | 1500 |

Tableau 27 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D5



Graphique 19 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D5



Graphique 20 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D5

12. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS C₅H₁₂

12.1 MESURES SUR L'ETENDUE DE MESURE DE L'APPAREIL

L'objectif de cet essai est de caractériser les performances des détecteurs sur leur étendue de mesure. L'exposition au gaz d'essai est effectuée en mode d'exposition dynamique puis en statique.

La réponse des appareils est mesurée, ainsi que les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro.

12.1.1 ESSAI EN DYNAMIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration égale à 1,974%v/v soit 49,4%LIE.

Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}) et les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) sont déterminés de la manière suivante : l'appareil est exposé à l'air ambiant puis au gaz d'essai de référence à l'aide de sa coiffe de calibrage au débit préconisé par le constructeur jusqu'à stabilisation de la mesure (valeur finale). En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes.

Le temps de retour à zéro est également mesuré.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans les tableaux ci-dessous.

| Appareils | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|------|----------------------|----------------------|-----------------|------------------------------------|-------------|----------------------------|
| | | | T ₅₀ | T ₉₀ | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 54 | 7 | 20 | 6 | 9 | 14 |
| D2 | 0 | 48 | 15 | 36 | 13 | 27 | 47 |
| D3 | 0 | 50 | 9 | 19 | 8 | 15 | 34 |
| D4 | 0 | 51 | 10 | 27 | 9 | 18 | 96 |
| D5 | 0 | 48 | 9 | 20 | 8 | 16 | 24 |

Tableau 28 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

12.1.2 ESSAI EN STATIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration égale à 1,974%v/v soit 49,4%LIE.

Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro sont déterminés selon la méthode suivante :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 29.

| Appareils | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|------|----------------------|----------------------|----------|------------------------------------|-------------|----------------------------|
| | | | T_{50} | T_{90} | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 61 | 9 | 27 | 7 | 12 | 14 |
| D2 | 0 | 42 | 22 | 73 | 21 | 92 | 49 |
| D3 | 0 | 48 | 8 | 34 | 7 | 19 | 28 |
| D4 | 0 | 41 | 28 | 85 | 28 | 116 | 70 |
| D5 | 0 | 45 | 13 | 72 | 11 | 58 | 23 |

Tableau 29 : Résultats des essais temps de réponse en statique

12.2 EXPOSITION A UNE FORTE CONCENTRATIONS EN STATIQUE

Les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2), le temps d'atteinte du seuil 90%LIE et le temps de retour à zéro sont vérifiées lors d'une exposition à des fortes concentrations de gaz, dont les concentrations sont égales à :

- 1,1%v/v soit 78%LIE,
- 10%v/v,
- 25%v/v,
- 50 %v/v.

Le déroulement de l'essai est le suivant :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

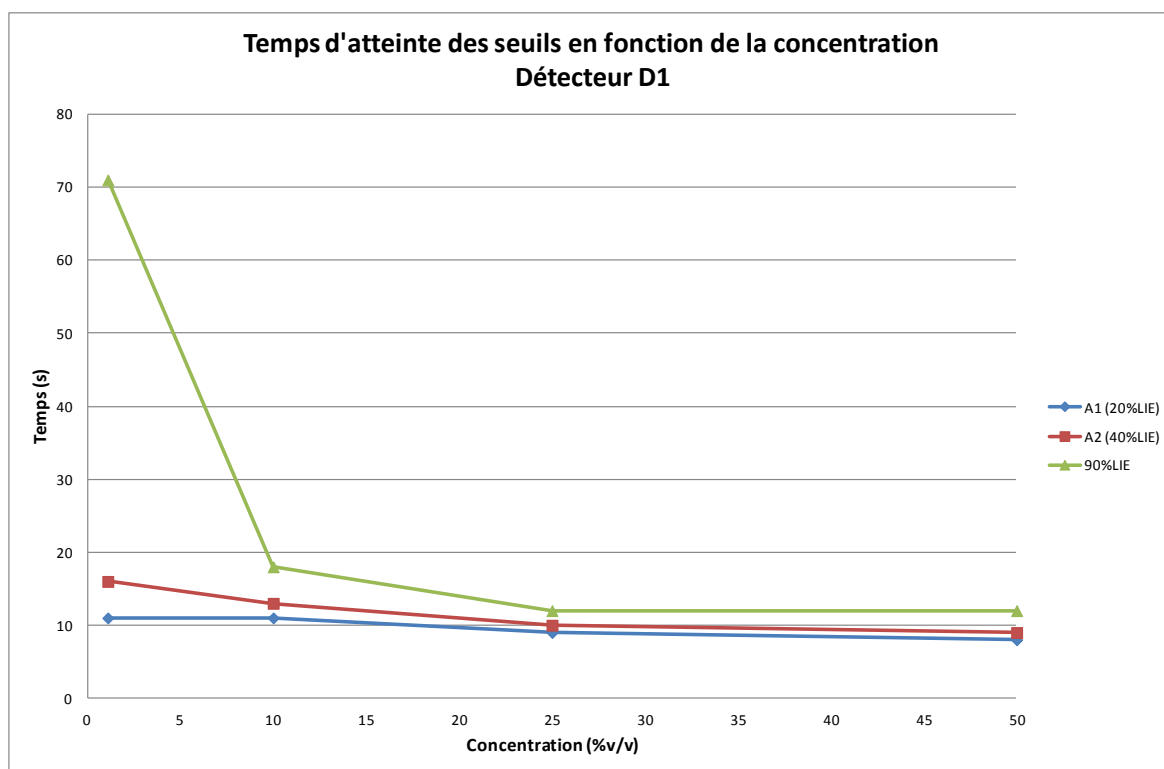
Les résultats sont reportés ci-après. Ils comprennent par appareil :

- Un tableau synthétisant :
 - Les valeurs relevées sur l'afficheur de l'appareil,
 - Les temps de déclenchement des seuils suivants
 - Seuils d'alarme A1 et A2 réglés respectivement à 20 et 40%LIE,
 - Seuil correspondant à 90 %LIE Les temps de retour à zéro Les temps de retour à zéro
- Un graphe représentant le temps les temps de déclenchement des seuils en fonction de la concentration de gaz injectée.
- Un graphe des temps de retour à zéros (temps de retour à zéro) en fonction de la concentration injectée

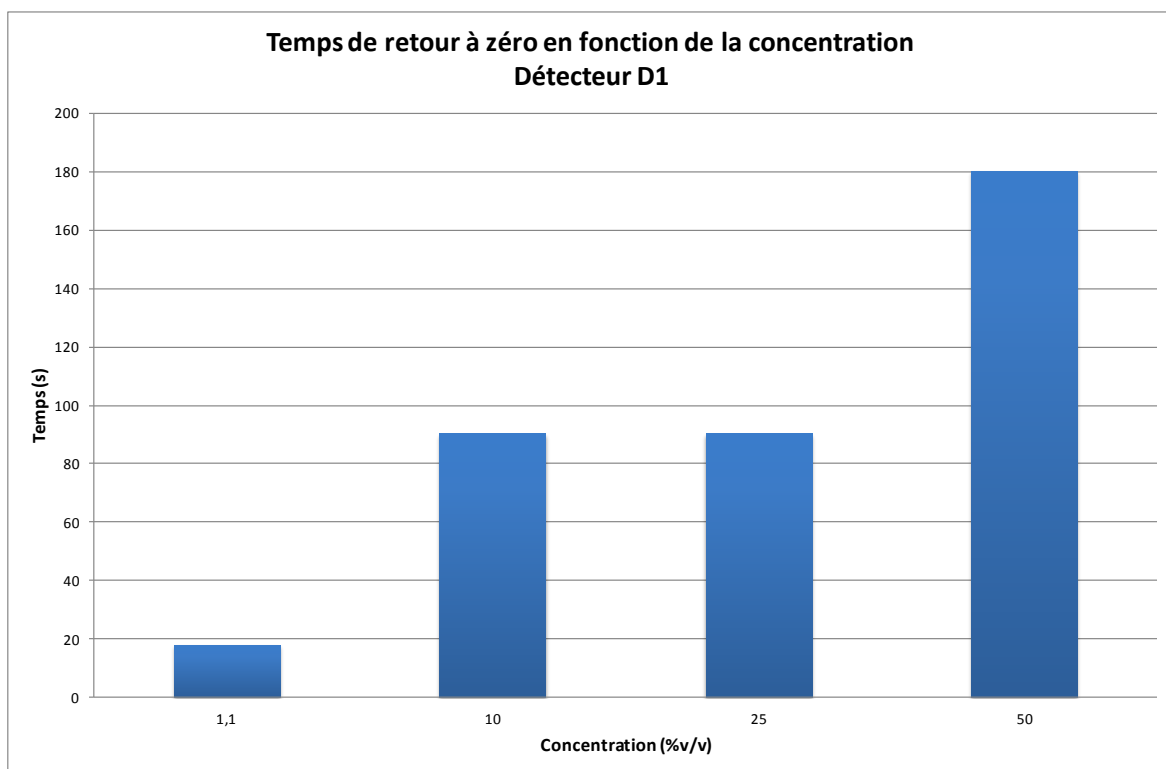
12.2.1 RESULTATS DE L'APPAREIL D1

| Appareil D1 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,1 | 0 | 11 | 16 | 71 | 93 | 18 |
| 10 | 0 | 11 | 13 | 18 | 100 w-04 w-05 | <90 |
| 25 | 0 | 9 | 10 | 12 | 100 w-04 w-05 | <90 |
| 50 | 0 | 8 | 9 | 12 | 100 w-04 w-05 | 180 |

Tableau 30 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D1



Graphique 21 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D1

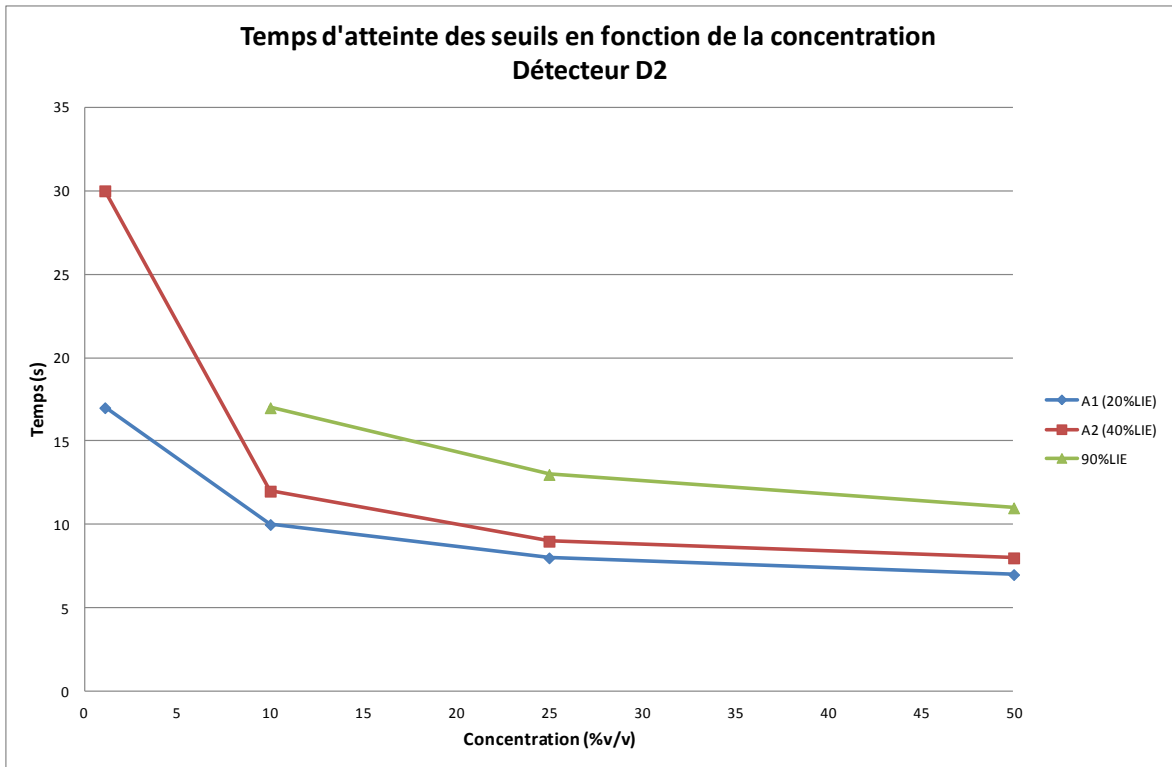


Graphique 22 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D1

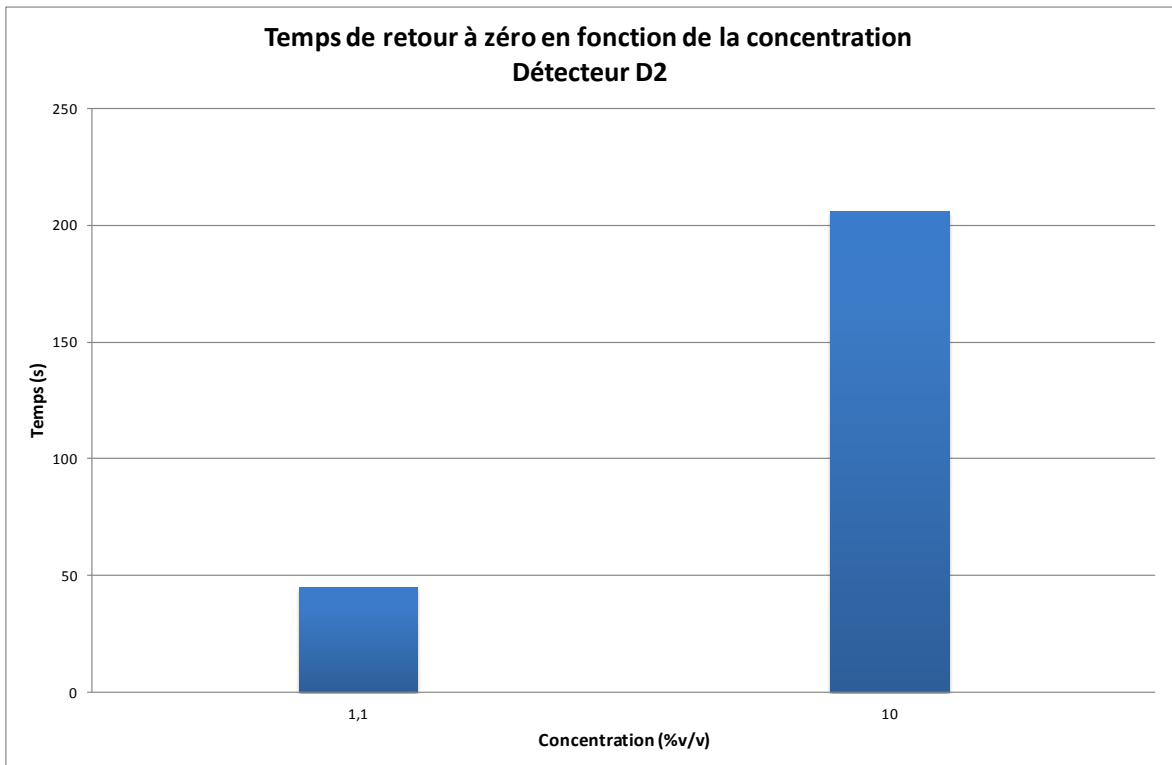
12.2.2 RESULTATS DE L'APPAREIL D2

| Appareil D2 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,1 | 0 | 17 | 30 | | 79 | 45 |
| 10 | 0 | 10 | 12 | 17 | 100 SUP | 206 |
| 25 | 0 | 8 | 9 | 13 | 100 SUP | dérive à 11%LIE |
| 50 | 0 | 7 | 8 | 11 | 100 SUP | dérive à 12%LIE |

Tableau 31 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D2



Graphique 23 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D2

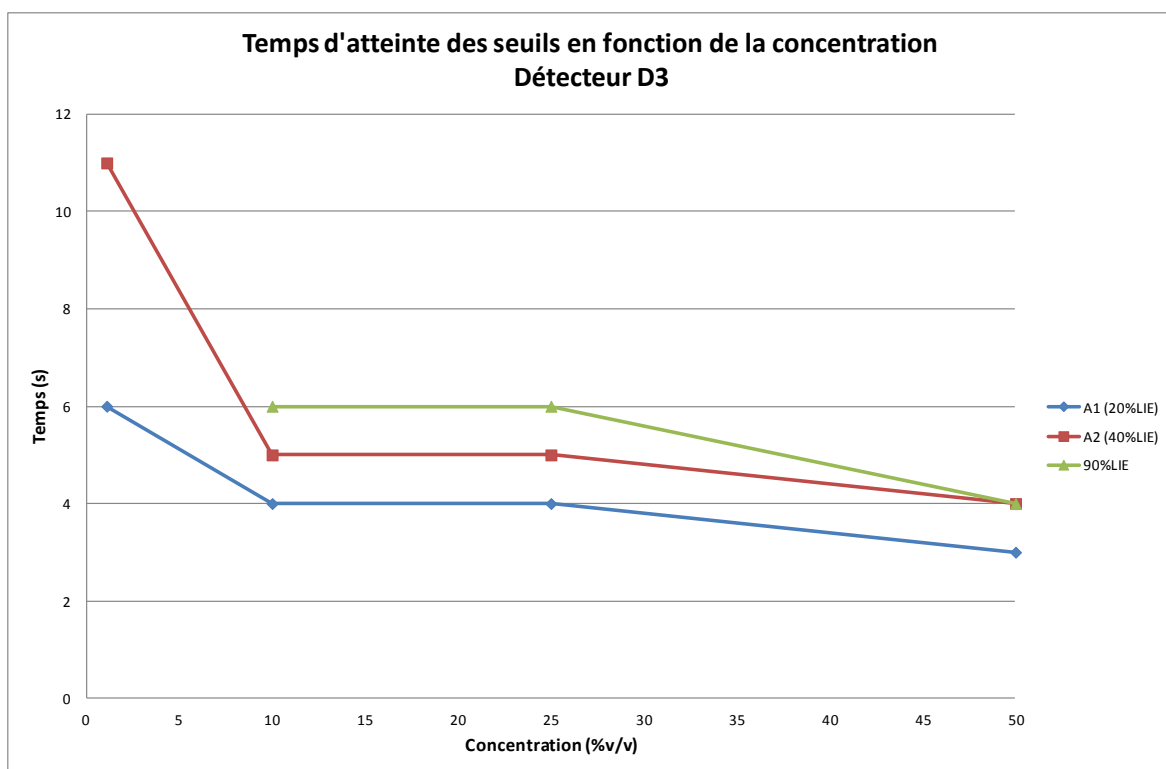


Graphique 24 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D2

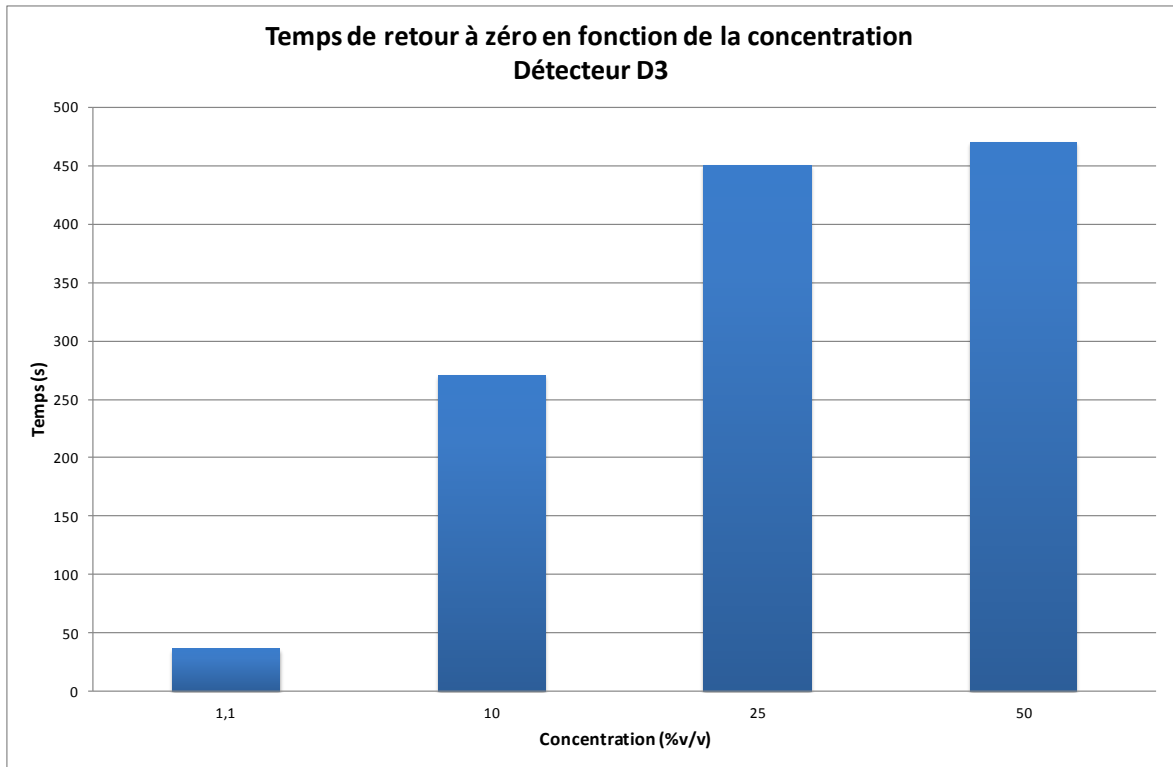
12.2.3 RESULTATS DE L'APPAREIL D3

| Appareil D3 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,1 | 0 | 6 | 11 | | 74 | 36 |
| 10 | 0 | 4 | 5 | 6 | ↑↑↑↑ | 270 |
| 25 | 0 | 4 | 5 | 6 | ↑↑↑↑ | 450 |
| 50 | 0 | 3 | 4 | 4 | ↑↑↑↑ | 470 |

Tableau 32 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D3



Graphique 25 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D3

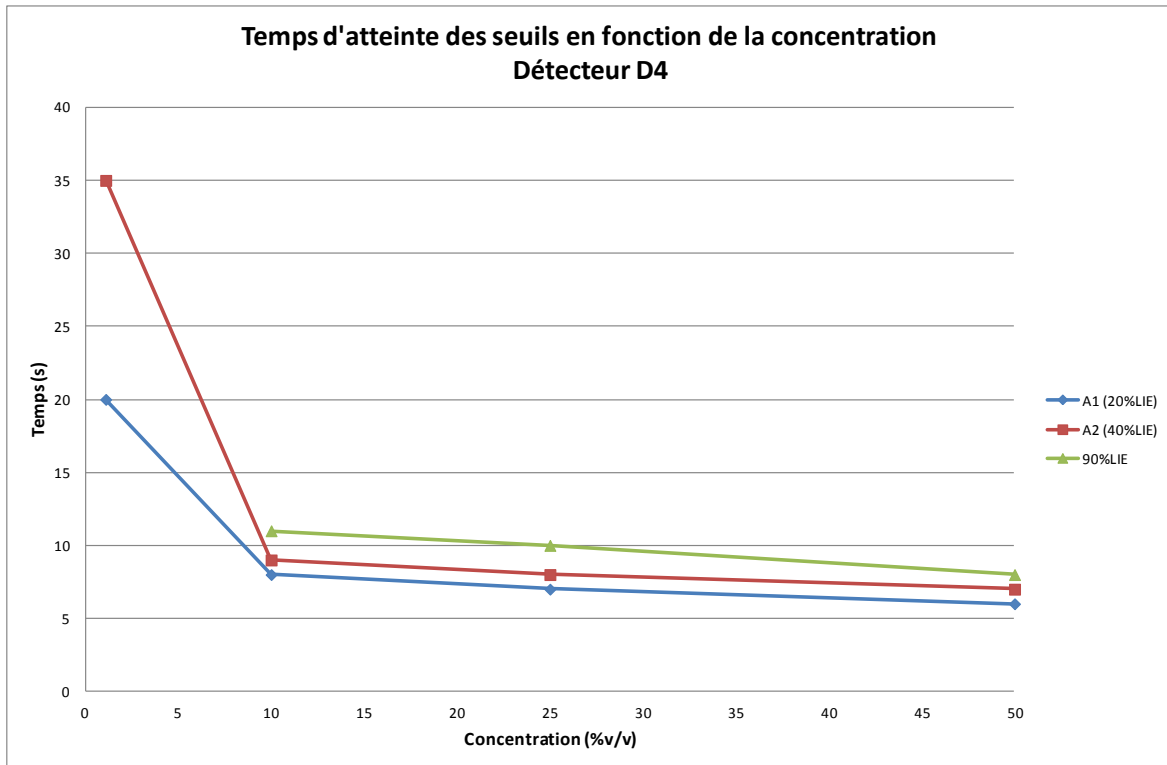


Graphique 26 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D3

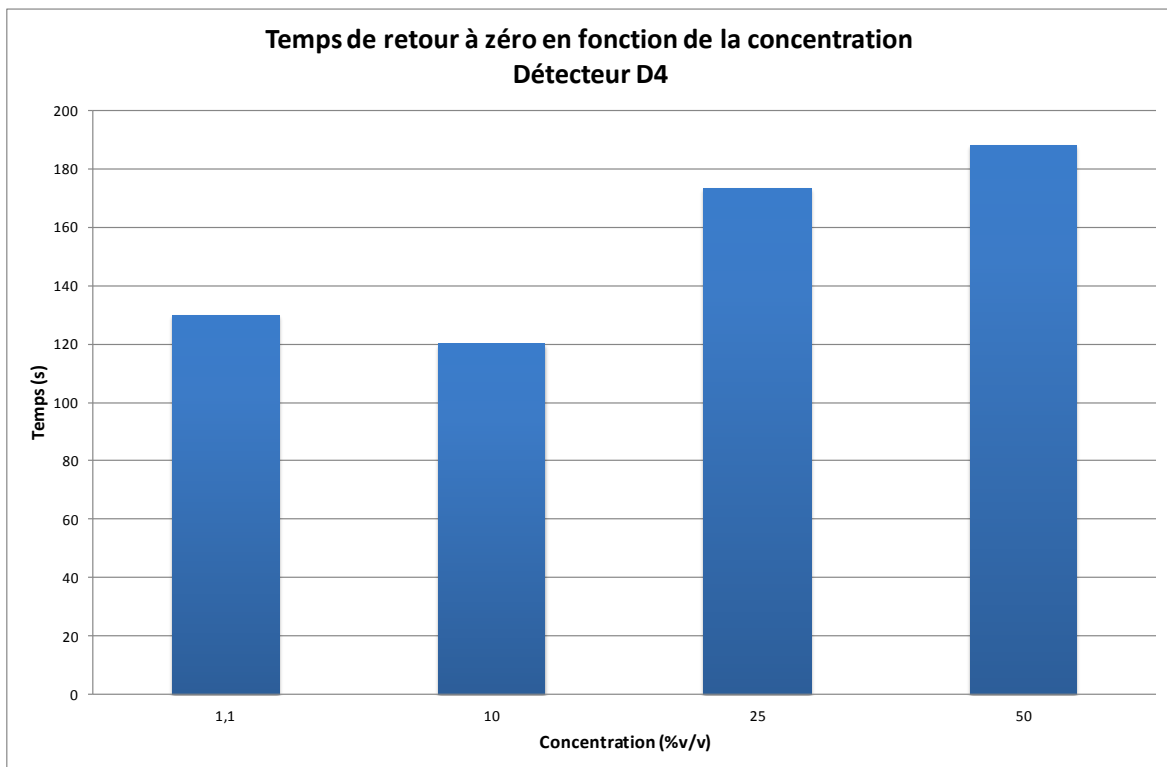
12.2.4 RESULTATS DE L'APPAREIL D4

| Appareil D4 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,1 | 0 | 20 | 35 | | 70 | 130 |
| 10 | 0 | 8 | 9 | 11 | +LOC | 120 |
| 25 | 0 | 7 | 8 | 10 | +LOC | 173 |
| 50 | 0 | 6 | 7 | 8 | +LOC | 188 |

Tableau 33 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D4



Graphique 27 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D4

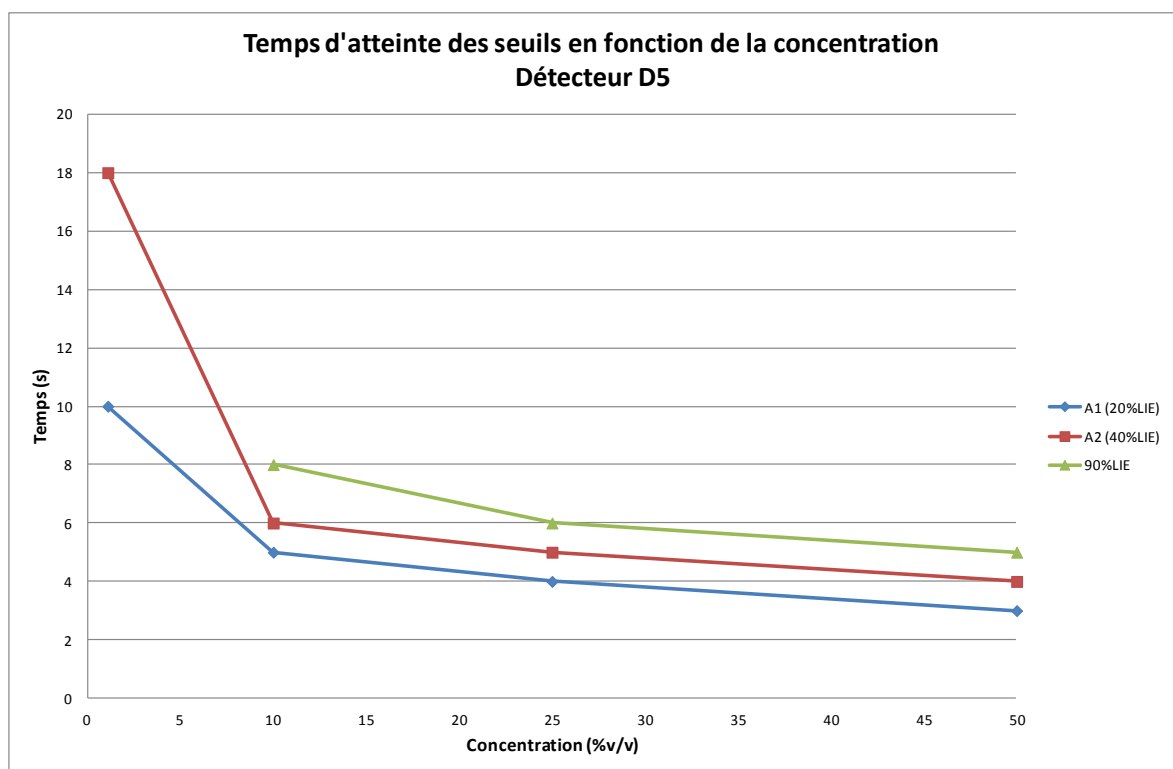


Graphique 28 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D4

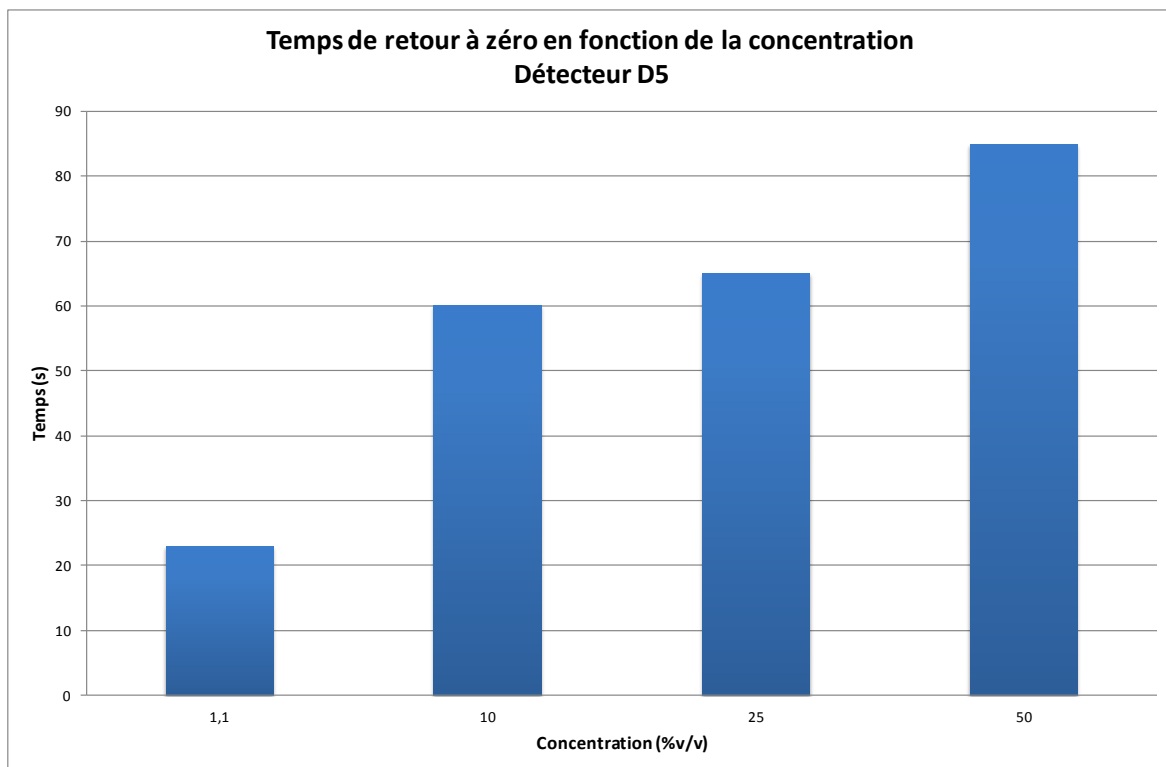
12.2.5 RESULTATS DE L'APPAREIL D5

| Appareil D5 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 1,1 | 0 | 10 | 18 | | 78 | 23 |
| 10 | 0 | 5 | 6 | 8 | 100 DOUT | 60 |
| 25 | 0 | 4 | 5 | 6 | 100 DOUT | 65 |
| 50 | 0 | 3 | 4 | 5 | 100 DOUT | 85 |

Tableau 34 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D5



Graphique 29 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D5



Graphique 30 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D5

13. RESULTATS DES ESSAIS SUR LES DETECTEURS H₂

13.1 MESURES SUR L'ETENDUE DE MESURE DE L'APPAREIL

L'objectif de cet essai est de caractériser les performances des détecteurs sur leur étendue de mesure. L'exposition au gaz d'essai est effectuée en mode d'exposition dynamique puis en statique.

La réponse des appareils est mesurée, ainsi que les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro.

13.1.1 ESSAI EN DYNAMIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration de 1,974%v/v soit 49,4%LIE. Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}) et les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) sont déterminés de la manière suivante : l'appareil est exposé à l'air ambiant puis au gaz d'essai de référence à l'aide de sa coiffe de calibrage au débit préconisé par le constructeur jusqu'à stabilisation de la mesure (valeur finale). En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes.

Le temps de retour à zéro est également mesuré.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 35.

| Appareils | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|------|----------------------|----------------------|----------|------------------------------------|-------------|----------------------------|
| | | | T_{50} | T_{90} | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 54 | 4 | 10 | 3 | 6 | 21 |
| D2 | 0 | 50 | 7 | 11 | 6 | 9 | 63 |
| D3 | 0 | 50 | 5 | 9 | 4 | 7 | 32 |
| D4 | 0 | 50 | 4 | 10 | 4 | 8 | 19 |
| D5 | 0 | 50 | 4 | 8 | 4 | 7 | 4 |

Tableau 35 : Résultats des essais temps de réponse en dynamique

13.1.2 ESSAI EN STATIQUE

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration de 1,974%v/v soit 49,4%LIE. Les temps de réponse (T_{50} et T_{90}), les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2) et le temps de retour à zéro sont déterminés selon la méthode suivante :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

Chaque mesure est effectuée 3 fois. Les résultats (valeurs moyennes) sont présentés dans le Tableau 36.

| Appareils | Zéro | Valeur Finale (%LIE) | Temps de réponse (s) | | Temps de déclenchement des alarmes (s) | | Temps de retour à zéro (s) |
|-----------|------|----------------------|----------------------|----------|--|-------------|----------------------------|
| | | | T_{50} | T_{90} | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | |
| D1 | 0 | 63 | 3 | 12 | 2 | 4 | 10 |
| D2 | 0 | 43 | 5 | 10 | 5 | 10 | 51 |
| D3 | 0 | 46 | 3 | 8 | 3 | 7 | 22 |
| D4 | 0 | 39 | 5 | 13 | 5 | Non atteint | 14 |
| D5 | 0 | 45 | 3 | 6 | 2 | 5 | 5 |

Tableau 36 : Résultats des essais temps de réponse en statique

13.2 EXPOSITION A UNE FORTE CONCENTRATIONS EN STATIQUE

Les temps de déclenchement des alarmes (A1 et A2), le temps d'atteinte du seuil 90%LIE et le temps de retour à zéro sont vérifiées lors d'une exposition à des fortes concentrations de gaz, dont les concentrations sont égales à :

- 3,6%v/v soit 90%LIE,
- 80%v/v,
- 50%v/v,

Le déroulement de l'essai est le suivant :

- l'appareil est vérifié en dynamique (avec sa coiffe) au gaz d'essai de référence,
- l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un support permettant de passer du gaz d'essai à l'air ambiant,
- l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 1 (air),
- lorsque le mélange de gaz a atteint la concentration désirée dans le volume d'essai 2, le support pivote et l'appareil est placé au dessus du volume d'essai 2. En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes,
- après atteinte de la valeur finale l'appareil est déconnecté du volume d'essai 2 et est exposé à l'air ambiant du laboratoire.

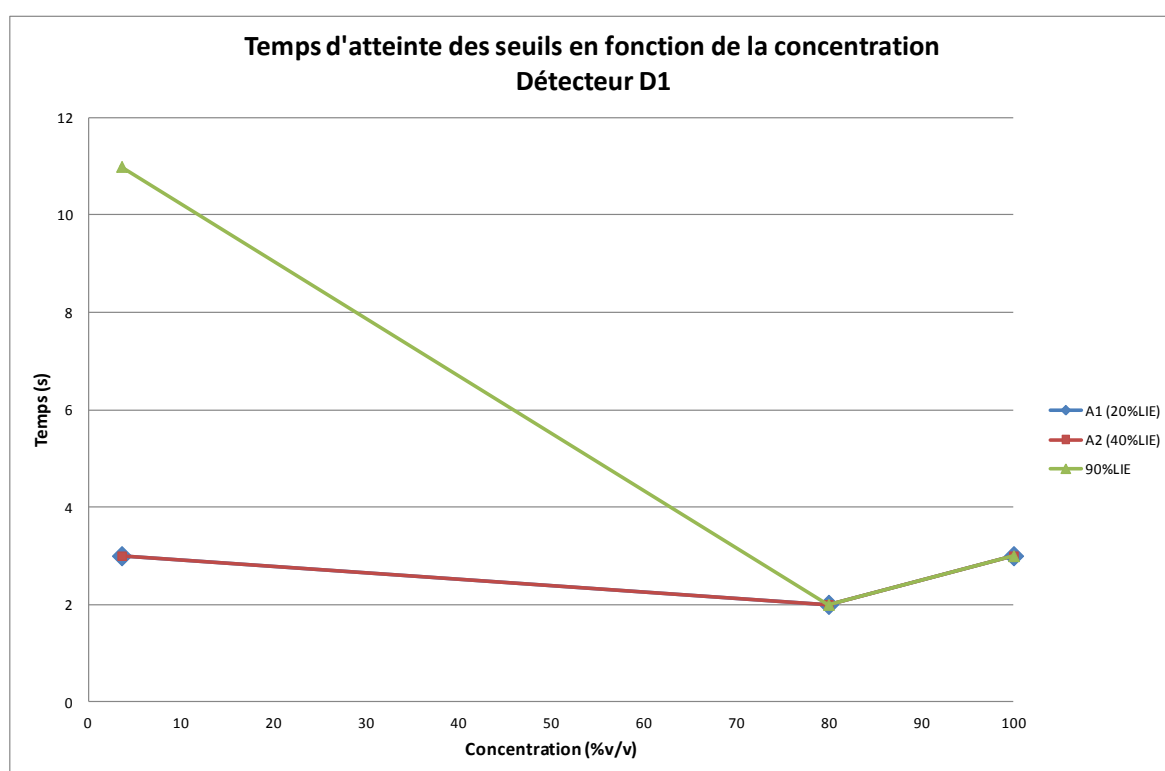
Les résultats sont reportés ci-après. Ils comprennent par appareil :

- Un tableau synthétisant :
 - Les valeurs relevées sur l'afficheur de l'appareil,
 - Les temps de déclenchement des seuils suivants :
 - Seuils d'alarme A1 et A2 réglés respectivement à 20 et 40%LIE,
 - Seuil correspondant à 90 %LIE
 - Les temps de retour à zéro Les temps de retour à zéro
- Un graphe représentant le temps les temps de déclenchement des seuils en fonction de la concentration de gaz injectée.
- Un graphe des temps de retour à zéros (temps de retour à zéro) en fonction de la concentration injectée

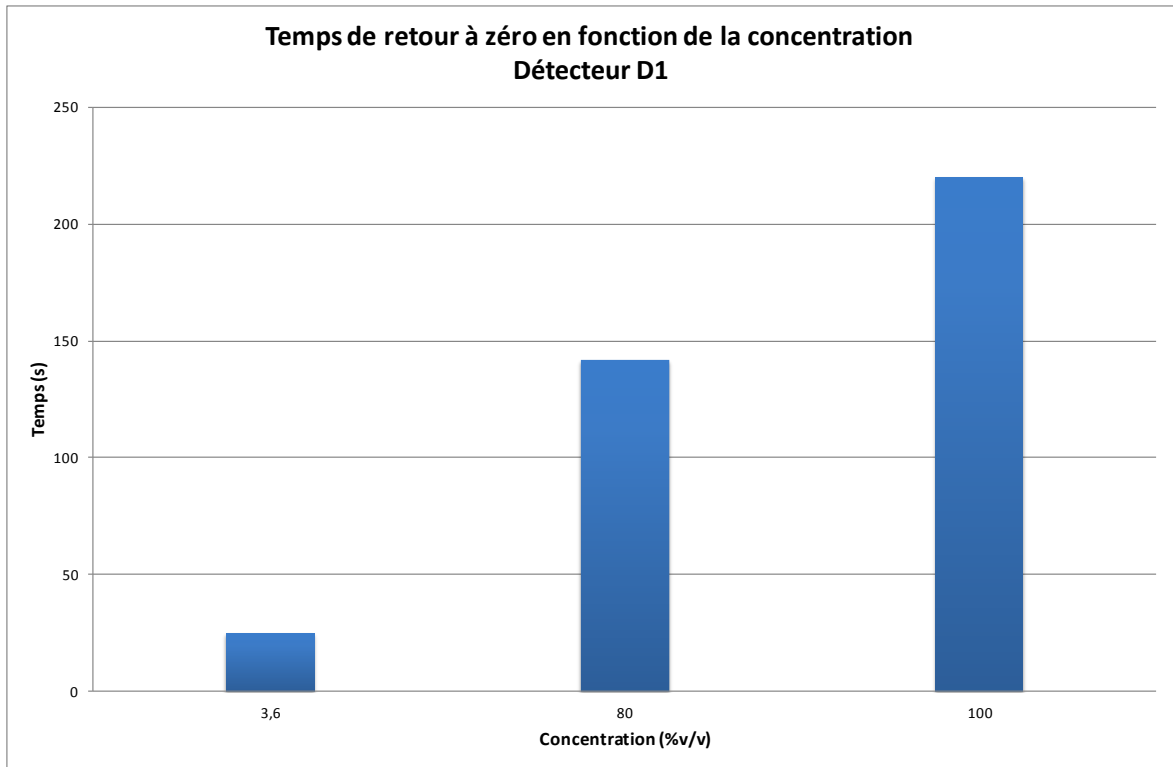
13.2.1 RESULTATS DE L'APPAREIL D1

| Appareil D1 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 3,6 | 0 | 3 | 3 | 11 | 100 w-04 | <25 |
| 80 | 0 | 2 | 2 | 2 | 100 w-04 w-05 | 142 |
| 100 | 0 | 3 | 3 | 3 | 100 w-04 w-05 | 220 |

Tableau 37 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D1



Graphique 31 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D1

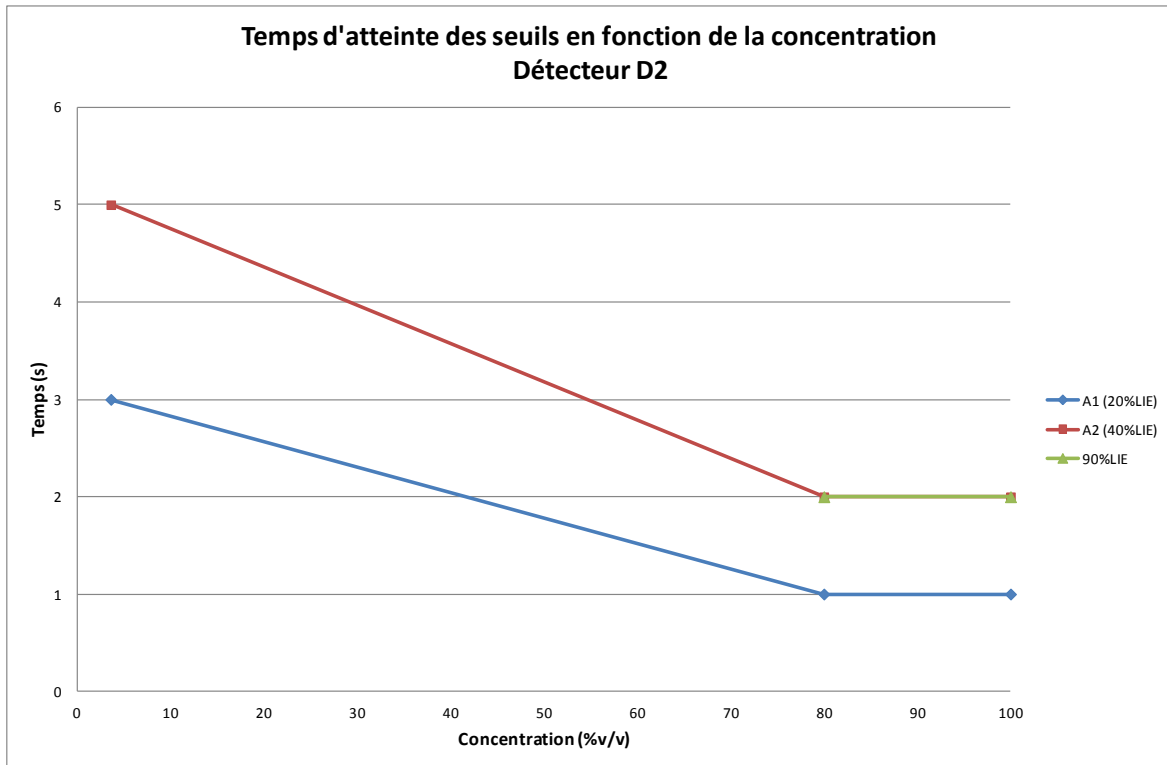


Graphique 32 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D1

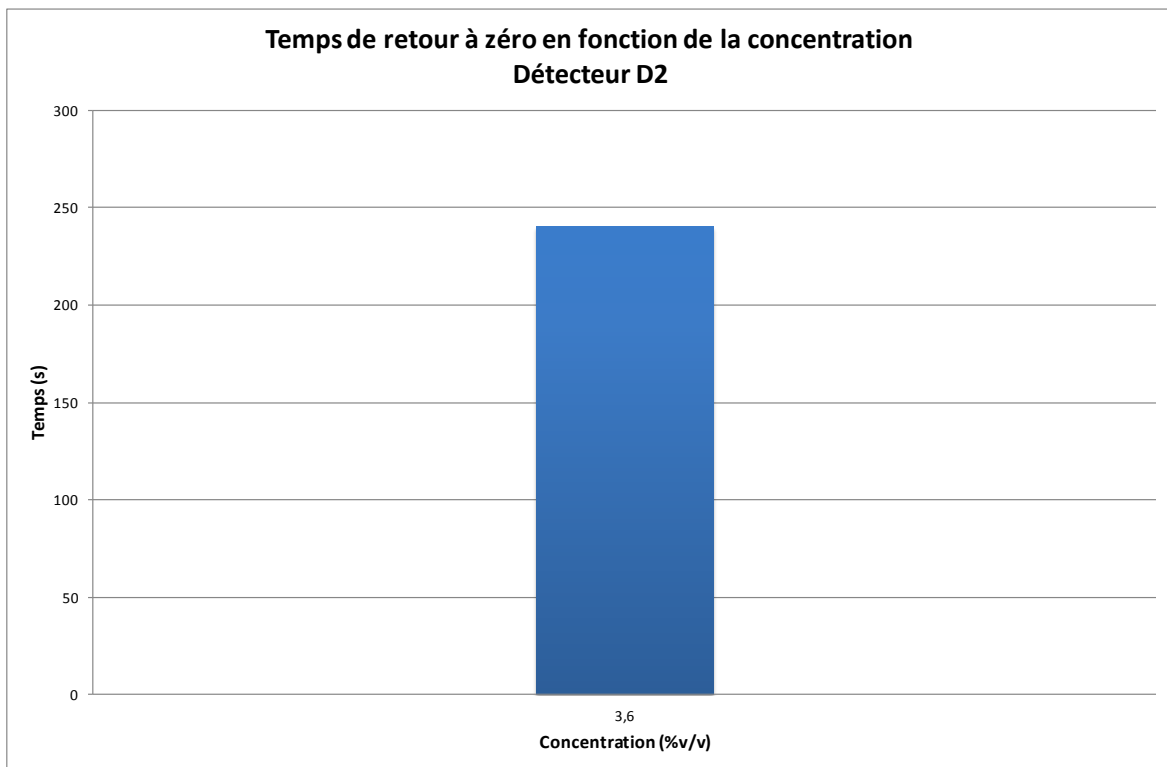
13.2.2 RESULTATS DE L'APPAREIL D2

| Appareil D2 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|---|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 3,6 | 0 | 3 | 5 | | 88 | 240 (dérive à -6) |
| 80 | 0 | 1 | 2 | 2 | 100 SUP | reste à zéro durant 10min puis dérive à 5%LIE |
| 100 | 5 | 1 | 1 | 2 | 100 SUP | reste à zéro durant 3min puis dérive à 5%LIE |

Tableau 38 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D2



Graphique 33 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D2

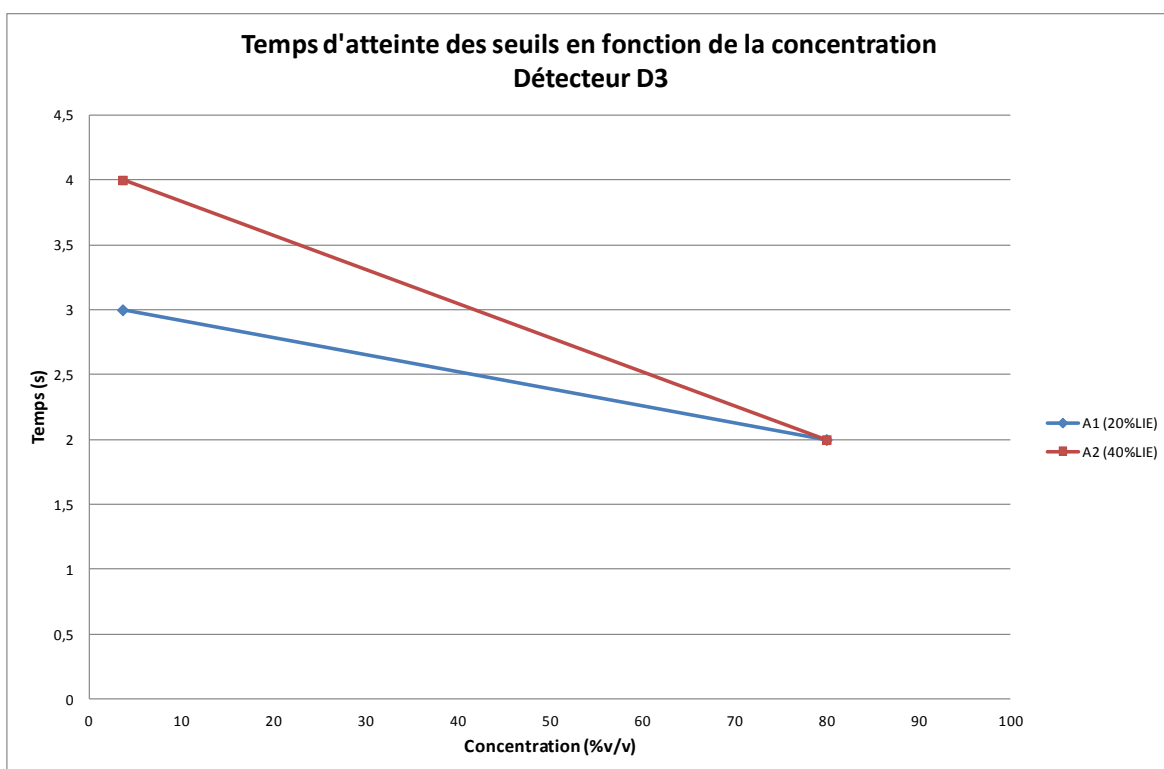


Graphique 34 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D2

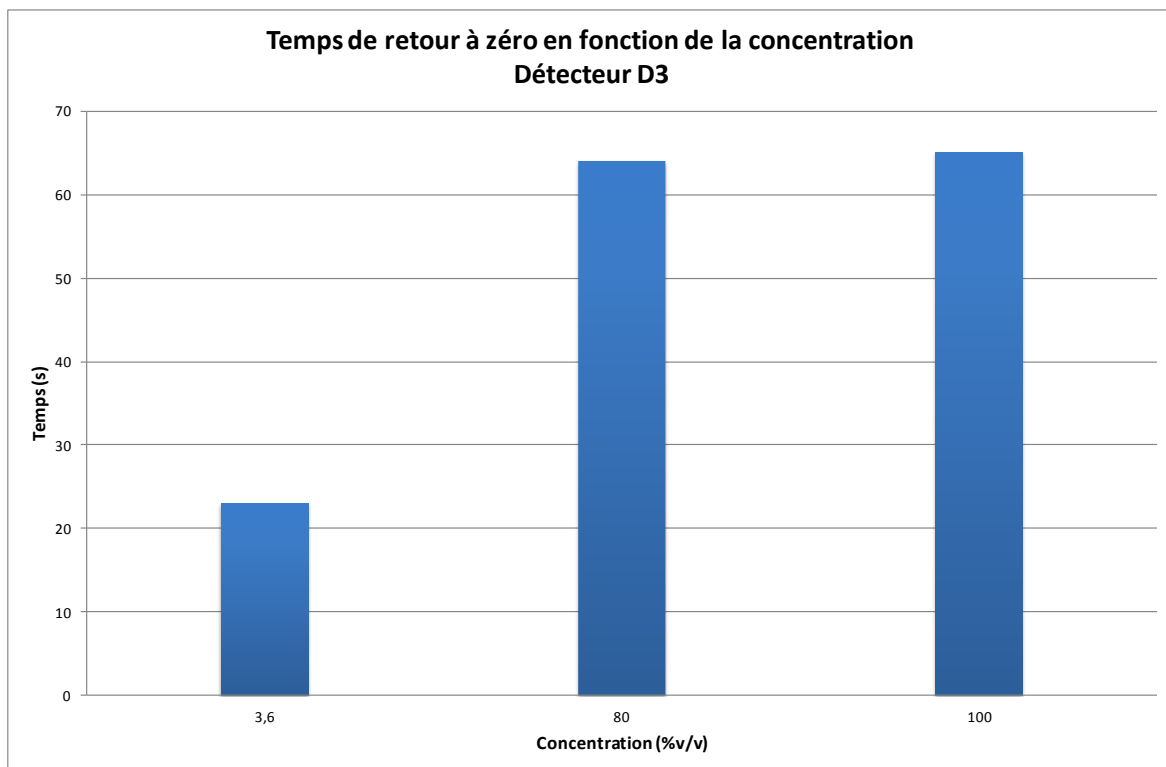
13.2.3 RESULTATS DE L'APPAREIL D3

| Appareil D3 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 3,6 | 0 | 3 | 4 | | 84 | 23 |
| 80 | 0 | 2 | 2 | | ---- | 64 |
| 100 | 0 | | | | ---- | 65 |

Tableau 39 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D3



Graphique 35 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D3

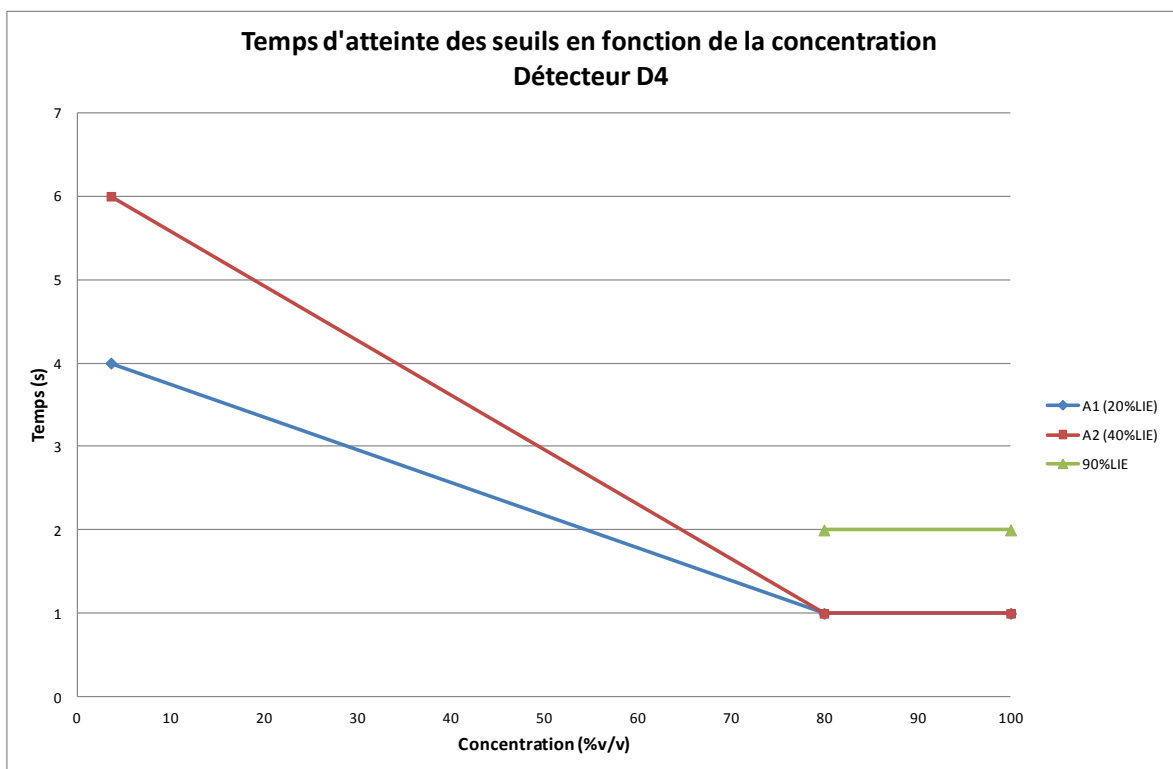


Graphique 36 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D3

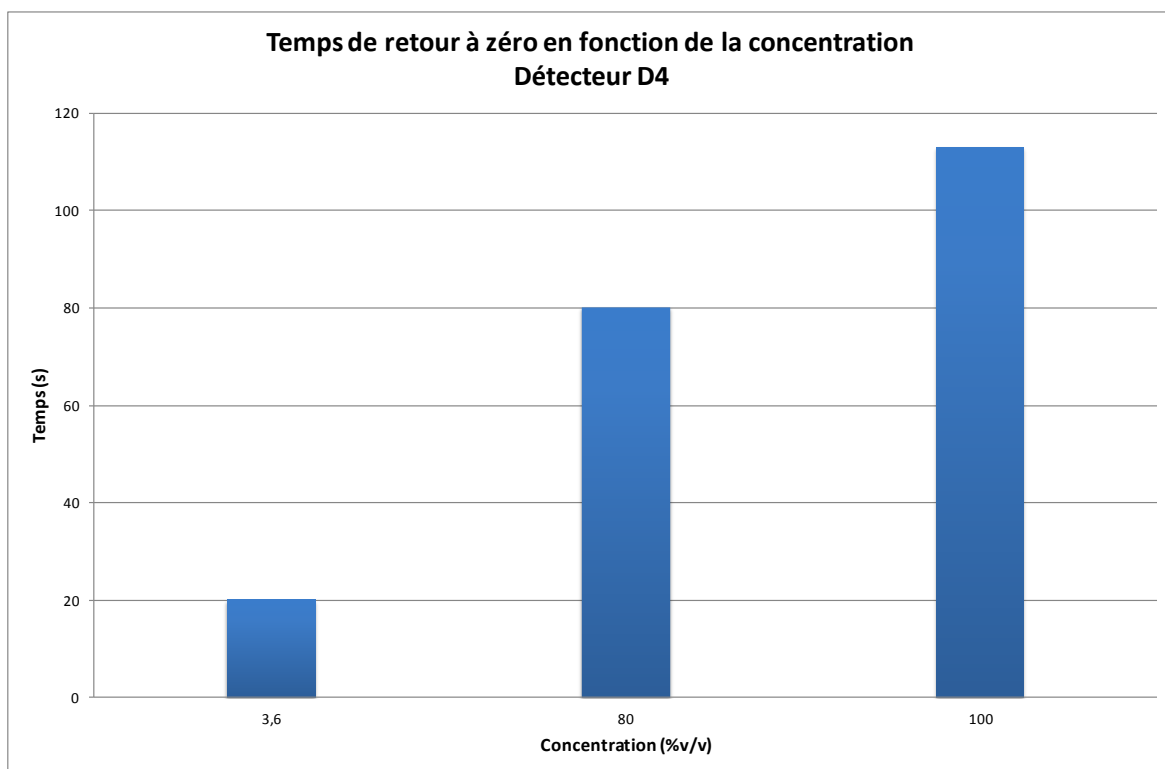
13.2.4 RESULTATS DE L'APPAREIL D4

| Appareil D4 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 3,6 | 0 | 4 | 6 | | 75 | 20 |
| 80 | 0 | 1 | 1 | 2 | +LOC | 80 |
| 100 | 0 | 1 | 1 | 2 | 26 puis +LOC à la remise sous air | 113 |

Tableau 40 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D4



Graphique 37 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D4

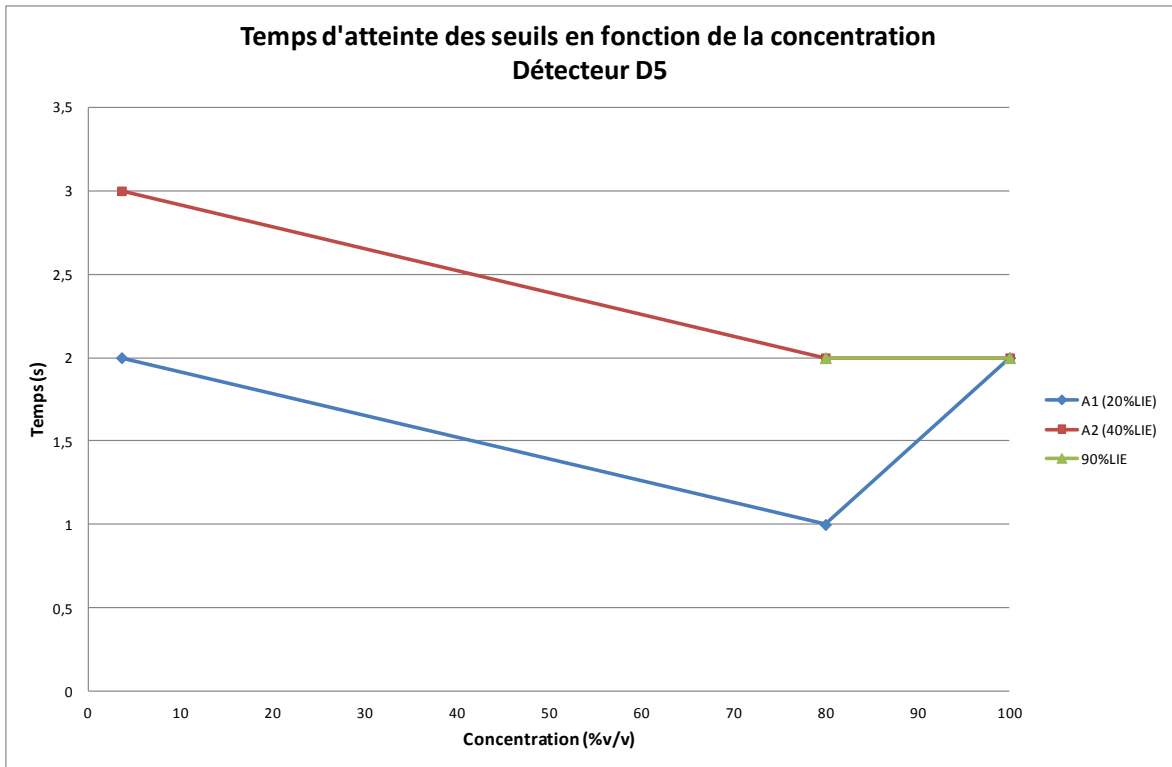


Graphique 38 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D4

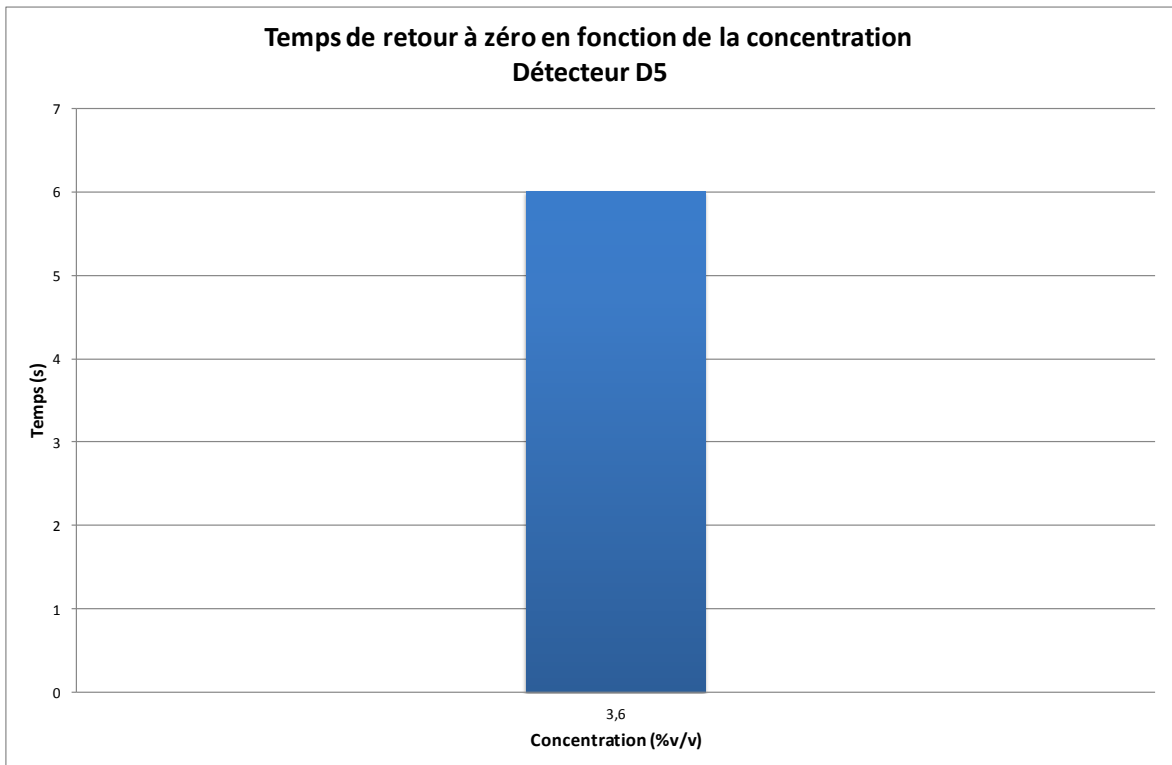
13.2.5 RESULTATS DE L'APPAREIL D5

| Appareil D5 | | | | | | |
|----------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Concentration (%v/v) | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | Seuil de 90%LIE | | |
| 3,6 | 0 | 2 | 3 | | 87 | 6 |
| 80 | 0 | 1 | 2 | 2 | 100 DOUT | retour à 4%LIE |
| 100 | 4 | 2 | 2 | 2 | 100 DOUT | retour à 8%LIE |

Tableau 41 : fortes teneurs en statique, résultats de l'appareil D5



Graphique 39 : courbes des temps d'atteinte de seuils de l'appareil D5



Graphique 40 : évolution du temps de retour à zéro de l'appareil D5

14. DERIVE A LONG TERME ET ENDORMISSEMENT

L'objectif de cet essai est d'évaluer la dérive des détecteurs sur le long terme, c'est-à-dire lorsqu'ils ne sont pas exposés au gaz d'essai sur une période de plusieurs mois.

Après un calibrage initial à 50%LIE C₃H₈, l'appareil fonctionne en continu pendant 3 mois dans l'air ambiant.

A l'issue des 3 mois, l'appareil est exposé à un gaz d'essai dont la concentration correspond à 50%v/v C₃H₈.

Le comportement du détecteur et les temps définis ci-après sont relevés lors de la mesure initiale à 50% LIE C₃H₈ et après 3 mois d'essai en présence de 50%v/v C₃H₈.

Les résultats sont reportés ci-après. Ils comprennent par appareil :

- Un tableau synthétisant :
 - Les valeurs relevées sur l'afficheur de l'appareil,
 - Les temps de déclenchement des seuils suivants :
 - Seuils d'alarme (A1 et A2),
 - Les temps de réponse T₅₀ et T₉₀ pour les mesures à 50%LIE,
 - Le temps d'atteinte du seuil 90%LIE pour la mesure à 50%v/v.
 - Les temps de retour à zéro

| Appareil D1 | | | | | | | |
|--|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Mesures initiales à 50%LIE C ₃ H ₈ | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | T ₅₀ | T ₉₀ | | |
| 1 | 0 | 5 | 9 | 6 | 12 | 52 | 13 |
| 2 | 0 | 5 | 8 | 6 | 11 | 52 | 12 |
| 3 | 0 | 5 | 8 | 5 | 16 | 53 | 13 |
| Moyenne | 0 | 5 | 8 | 6 | 13 | 52 | 13 |
| | Zéro | A1 | A2 | Seuil de 90%LIE | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| Exposition à 50%v/v après 3 mois | 0 | 2 | 2 | 3 | | 100 / w-04 / w-05 | 510 |

Tableau 42 : essai long terme, résultats de l'appareil D1

| Appareil D2 | | | | | | | |
|----------------------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| Mesures initiales à 50%LIE C3H8 | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | T ₅₀ | T ₉₀ | | |
| 1 | 0 | 11 | 20 | 13 | 30 | 52 | 37 |
| 2 | 0 | 11 | 20 | 13 | 31 | 52 | 37 |
| 3 | 0 | 11 | 21 | 13 | 31 | 52 | 36 |
| Moyenne | 0 | 11 | 20 | 13 | 31 | 52 | 37 |
| | Zéro | A1 | A2 | Seuil de 90%LIE | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| Exposition à 50%v/v après 3 mois | 0 | 5 | 6 | 7 | | 100 SUP | Dérive du zéro de 91%LIE |

Tableau 43 : long terme, résultats de l'appareil D2

| Appareil D3 | | | | | | | |
|----------------------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Mesures initiales à 50%LIE C3H8 | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | T ₅₀ | T ₉₀ | | |
| 1 | 0 | 5 | 8 | 5 | 11 | 51 | 13 |
| 2 | 0 | 5 | 8 | 6 | 12 | 52 | 13 |
| 3 | 0 | 5 | 8 | 6 | 11 | 51 | 12 |
| Moyenne | 0 | 5 | 8 | 6 | 11 | 51 | 13 |
| | Zéro | A1 | A2 | Seuil de 90%LIE | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| Exposition à 50%v/v après 3 mois | -6 | 3 | 3 | 3 | | ↑↑↑↑ | 120 |

Tableau 44 : long terme, résultats de l'appareil D3

| Appareil D4 | | | | | | | |
|----------------------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|--------------------------|
| Mesures initiales à 50%LIE C3H8 | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | T ₅₀ | T ₉₀ | | |
| 1 | 0 | 6 | 12 | 7 | 19 | 51 | 38 |
| 2 | 0 | 7 | 11 | 7 | 16 | 51 | 59 |
| 3 | 0 | 6 | 13 | 7 | 18 | 51 | 47 |
| Moyenne | 0 | 6 | 12 | 7 | 18 | 51 | 48 |
| | Zéro | A1 | A2 | Seuil de 90%LIE | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| Exposition à 50%v/v après 3 mois | 47 | / | / | 5 | | +LOC | Dérive du zéro de 47%LIE |

Tableau 45 : long terme, résultats de l'appareil D4

| Appareil D5 | | | | | | | |
|----------------------------------|------|---------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|----------------------|-------------------|
| Mesures initiales à 50%LIE C3H8 | Zéro | Temps de déclenchement des seuils (s) | | | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| | | A1 (20%LIE) | A2 (40%LIE) | T ₅₀ | T ₉₀ | | |
| 1 | 0 | 7 | 12 | 8 | 17 | 49 | 26 |
| 2 | 0 | 6 | 12 | 7 | 15 | 49 | 25 |
| 3 | 0 | 7 | 12 | 8 | 16 | 49 | 25 |
| Moyenne | 0 | 7 | 12 | 8 | 16 | 49 | 25 |
| | Zéro | A1 | A2 | Seuil de 90%LIE | | Valeur Finale (%LIE) | Retour à zéro (s) |
| Exposition à 50%v/v après 3 mois | 0 | 6 | 7 | 9 | | 100 DOUT | 180 |

Tableau 46 : long terme, résultats de l'appareil D5

15. ANNEXES

| Repère | Désignation | Nb pages |
|---------------|--------------------|-----------------|
| Annexe A | Protocole d'essai | 4 pages |

ANNEXE A. PROTOCOLE D'ESSAI

- **PROTOCOLE D'ESSAI** -
- **PROGRAMME DRA 73** -
- **DETECTEURS EXPLOSIBLES A POSTE FIXE
EN SITUATION ACCIDENTELLE**

1 RAPPEL DU CONTEXTE

L'INERIS a mené plusieurs campagnes d'essais comparatifs de détecteurs de gaz. Ces essais ont permis de comparer leurs performances métrologiques par rapport à leurs spécifications techniques. Cependant, les essais réalisés ne permettent pas d'analyser précisément le comportement de ces détecteurs en situation accidentelle (en cas d'exposition à une forte ou très forte concentration).

2 OBJECTIFS DES ESSAIS

L'objectif de cette campagne d'essais est de caractériser le comportement et d'évaluer les performances de détecteurs de gaz explosibles du marché, en situation accidentelle, lorsqu'ils sont exposés à de fortes ou de très fortes concentrations.

Les produits retenus pour cette campagne d'essais sont:

- Les gaz méthane (CH_4), propane (C_3H_8), et hydrogène (H_2)
- La vapeur pentane (C_5H_{12}).

Cinq constructeurs ont été identifiés comme représentatifs du marché.

Deux appareils par constructeur seront utilisés pour l'ensemble des essais, les cellules des appareils seront remplacées après l'exposition aux très fortes concentrations.

3 PROTOCOLE D'ESSAIS

a. Conditions ambiantes du laboratoire lors de la réalisation des essais

Pendant les essais et sauf spécifications contraires, les conditions ambiantes suivantes sont respectées :

- température constante à ± 5 °C dans la plage de 15 à 35 °C,
- pression atmosphérique constante à ± 10 % relatif dans la plage de 86 à 108 kPa,
- humidité relative constante à ± 10 % HR dans la plage de 30 à 70 % HR.

Les valeurs et les stabilités de la température ambiante, de l'humidité relative et de la pression sont mesurées au cours des essais.

b. Gaz de référence

Les mélanges sont réalisés avec une incertitude maximale sur la concentration volumique de $\pm 10\%$ relatif.

Les LIE / LSE utilisées pour les différents produits sont indiquées dans le Tableau A - 1 :

| | LIE | LSE |
|-----------|-----------|------------|
| méthane | 4,4 % v/v | 17 % v/v |
| propane | 1,7 % v/v | 10,9 % v/v |
| hydrogène | 4,0 %v/v | 77% v/v |
| pentane | 1,4 % v/v | 7,8% v/v |

Tableau A - 1 : LIE / LSE des gaz et de la vapeur testés

c. Méthode de génération des gaz

Les mélanges de gaz sont réalisés à l'aide de débitmètres régulateurs massiques à partir de bouteilles de gaz étalons pour le méthane, le propane, l'hydrogène.

Une solution liquide de qualité analyse est utilisée pour la génération des concentrations de pentane. Les mélanges sont réalisés en dynamique à l'aide d'un banc de génération de vapeur pour ce composé. Le principe est l'injection d'un débit de solvant à l'aide d'une seringue dans un débit d'air connu.

d. Déroulement des essais

Les appareils sont initialement calibrés sur le gaz (ou la vapeur) à détecter. La concentration du gaz de calibrage est de 50 % LIE et correspond au gaz d'essai de référence dans ce protocole.

Les alarmes sont réglées aux seuils 20 et 40% LIE.

Les essais suivants sont réalisés sur chacun des détecteurs :

- Evaluation du temps de réponse et du temps de déclenchement des alarmes sur l'étendue de mesure de l'appareil (100%LIE)
- Evaluation du temps de réponse et du temps de déclenchement des alarmes, en statique, lors d'une exposition à une forte concentration (90%LIE à 100% v/v)
- Evaluation de la dérive à long terme et de l'endormissement

La description de chacun des essais est décrite dans les paragraphes suivants.

Lors des essais, les mesures sont relevées sur l'afficheur des appareils et sont enregistrées à partir du signal de sortie analogique 4 à 20 mA.

e. Evaluation du temps de réponse et de déclenchement des alarmes des détecteurs sur leur étendue de mesure

L'objectif de cet essai est de caractériser les performances des détecteurs sur leur étendue de mesure avant de réaliser des essais à de fortes concentrations de gaz.

Le gaz d'essai de référence est un gaz à une concentration égale à la moitié de l'étendue de mesure du détecteur, soit 50% LIE.

Dans un premier temps, le temps de réponse et le temps de déclenchement des alarmes sont déterminés en dynamique : l'appareil est exposé à l'air ambiant puis au gaz d'essai de référence à l'aide de sa coiffe de calibrage au débit préconisé par le constructeur (à défaut, le débit sera de 500 cm³/min), jusqu'à stabilisation de la mesure (valeur finale). En cas de non stabilisation de la mesure, la valeur sera relevée après un temps maximum de 5 minutes.

Suite à cet essai, la réponse de l'appareil (valeur finale) et les temps définis ci-après sont relevés :

- le temps mis pour atteindre 50 % de la valeur finale (t_{50}),
- le temps mis pour atteindre 90 % de la valeur finale (t_{90}),
- le temps de déclenchement des alarmes à 20 et 40% LIE.

L'appareil est ensuite exposé à l'air ambiant afin de déterminer :

- le temps de retour à zéro.

Chaque mesure est effectuée 3 fois.

L'essai est ensuite réalisé en atmosphère statique (diffusion passive) afin d'évaluer l'influence des conditions d'expositions sur les temps de réponse et de déclenchement des alarmes.

Le dispositif d'essai en atmosphère statique est présenté Figure 1 : l'appareil est placé dans sa position normale d'utilisation et est fixé sur un système permettant de passer de l'air de référence au gaz d'essai.

Lorsque l'appareil est exposé au gaz d'essai, sa réponse (valeur finale) et les temps définis ci-après sont relevés :

- le temps mis pour atteindre 50 % de la valeur finale (t_{50}),
- le temps mis pour atteindre 90 % de la valeur finale (t_{90}),
- le temps de déclenchement des différentes alarmes à 20 et 40% LIE.

L'appareil est ensuite exposé à l'air ambiant afin de déterminer :

- le temps de retour à zéro.

Chaque mesure est effectuée 3 fois.

f. Evaluation du temps de réponse et de déclenchement des alarmes des détecteurs lors d'une exposition à forte concentration en statique

Le comportement des détecteurs et les temps de déclenchement caractéristiques, déterminées dans l'essai précédent (e) seront vérifiées lors d'une exposition à des concentrations de gaz élevées.

Les concentrations sont reportées dans le Tableau A - 2 :

| | Méthane (CH₄) | Propane (C₃H₈) | Pentane (C₅H₁₂) | Hydrogène (H₂) |
|----------------------------|-------------------------------------|---|--|--------------------------------------|
| LIE | 4,4 % v/v | 1,7 % v/v | 1,4 % v/v | 4,0 %v/v |
| LSE | 17 % v/v | 10,9 % v/v | 7,8% v/v | 77% v/v |
| Concentrations générées | 4%v/v | 1,5%v/v | 1,1%v/v | 3,6%v/v |
| | 20%v/v | 15%v/v | 10%v/v | - |
| | 50%v/v | 50%v/v | 25%v/v | 80%v/v |
| | 100%v/v | 100%v/v | 50%v/v | 100%v/v |

Tableau A - 2 : Concentrations appliquées aux détecteurs

Les temps définis ci-après sont relevés :

- le temps mis pour atteindre 90 % LIE
- le temps de déclenchement des alarmes à 20 et 40% LIE
- le temps de retour à zéro.

g. Evaluation de la dérive à long terme et de l'endormissement

L'objectif de cet essai est d'évaluer la dérive des détecteurs sur le long terme, c'est-à-dire lorsqu'ils ne sont pas exposés au gaz d'essai sur une période de plusieurs mois.

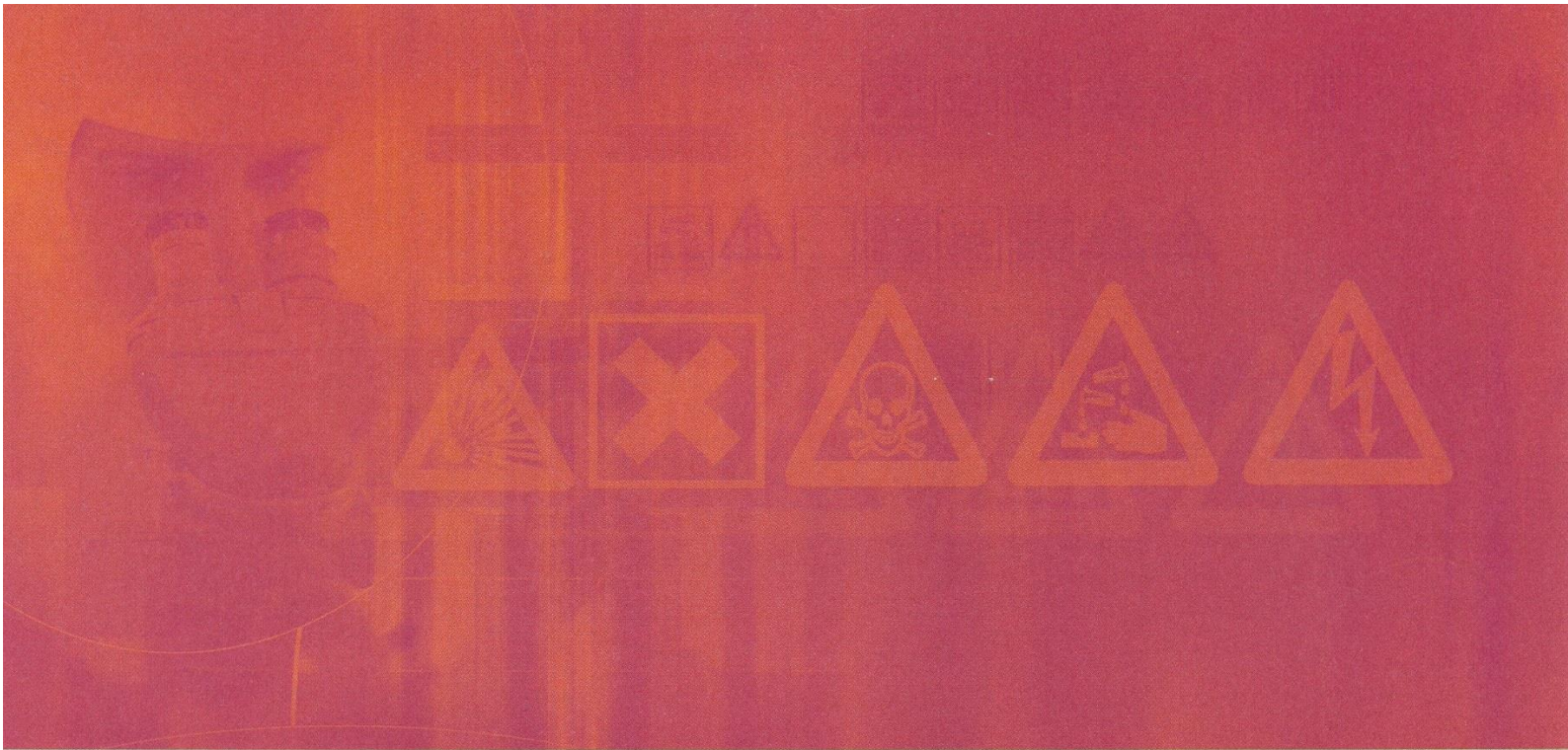
Le gaz d'essai de référence choisi est le gaz dont la sensibilité de l'appareil est la plus faible. Il sera déterminé après les premières mesures sur les appareils.

Après un calibrage initial, l'appareil fonctionne en continu pendant 3 mois dans l'air ambiant.

A l'issue des 3 mois, il est exposé à un gaz d'essai à une concentration correspondant à 50%v/v.

Le comportement du détecteur et les temps définis ci-après sont relevés :

- le temps mis pour atteindre 90 % LIE
- le temps de déclenchement des alarmes à 20 et 40% LIE
- Le temps de retour à zéro sera également mesuré.



INERIS

*maîtriser le risque |
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet** : <http://www.ineris.fr>