

Implantation et optimisation d'un nouveau dosimètre passif pour l'évaluation des composés organiques volatils (COV) en milieu du travail.

Ousmane Bangoura , Pierre-Luc Cloutier, Marie-France Bisson, Lucie René et Mélanie Huard

22 mai 2025



Plan de la présentation



Introduction et mise en contexte	03
But et objectifs	13
Matériel et méthodes	16
Résultats et discussion	20
Conclusions	41
Perspectives et remerciements	42

Introduction et mise en contexte

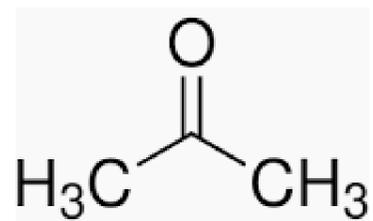
Mai 2025

Introduction et mise en contexte

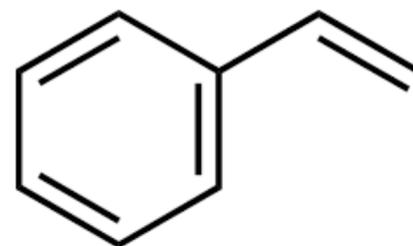
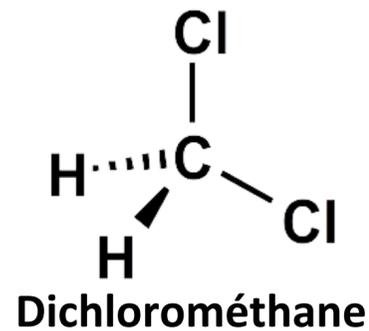
Les composés organiques volatiles (COV) en milieu de travail

Description

- Composé organique liquide qui s'évapore facilement;
- Tension de vapeur supérieur à 0,1 mm de Hg à 25°C;
- Couramment composés de 10 carbones ou moins;



Acétone



Styrène

Occurrence

Au Québec en 2022 (MELCCFP), les COV ont été utilisés principalement comme :

- 32,2% pour l'utilisation de **peintures et de solvants**;
- 17,6% dans le secteur des transports;
- 13,2 % en agriculture;
- 13,5% dans des activités industrielles;



Introduction et mise en contexte

Les COV en milieu de travail

Exposition et effets à la santé

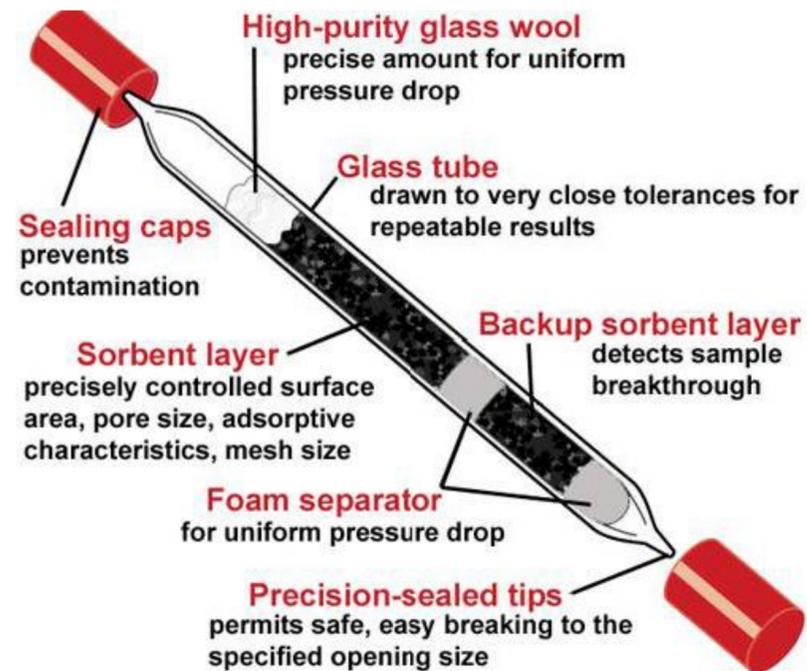
- Exposition par inhalation, contact cutanée et par ingestion en milieu de travail;
- L'inhalation est la voie d'exposition dominante;
- Les effets à la santé sont relatifs à la ou les substances utilisées, de la dose d'exposition et de la durée de l'exposition. Les effets à la santé peuvent aller de l'irritation cutanée ou respiratoire, de la sensibilisation, de la neurotoxicité à des effets cancérogènes et autres.

Introduction et mise en contexte

Métrologie des COV dans l'air en milieu de travail

Échantillonnage actif

- Réalisé par l'échantillonnage d'un volume d'air à travers un tube adsorbant (p. ex. charbon actif);



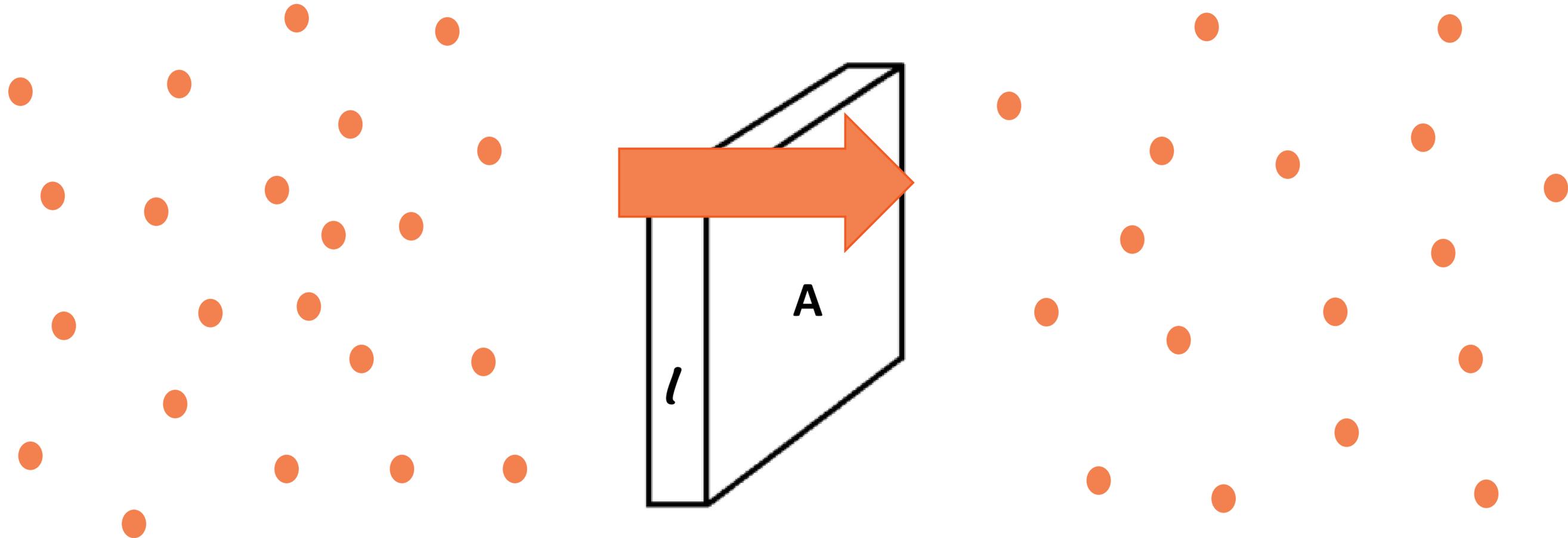
Échantillonnage passif

- Réalisé par diffusion du COV à travers une membrane;



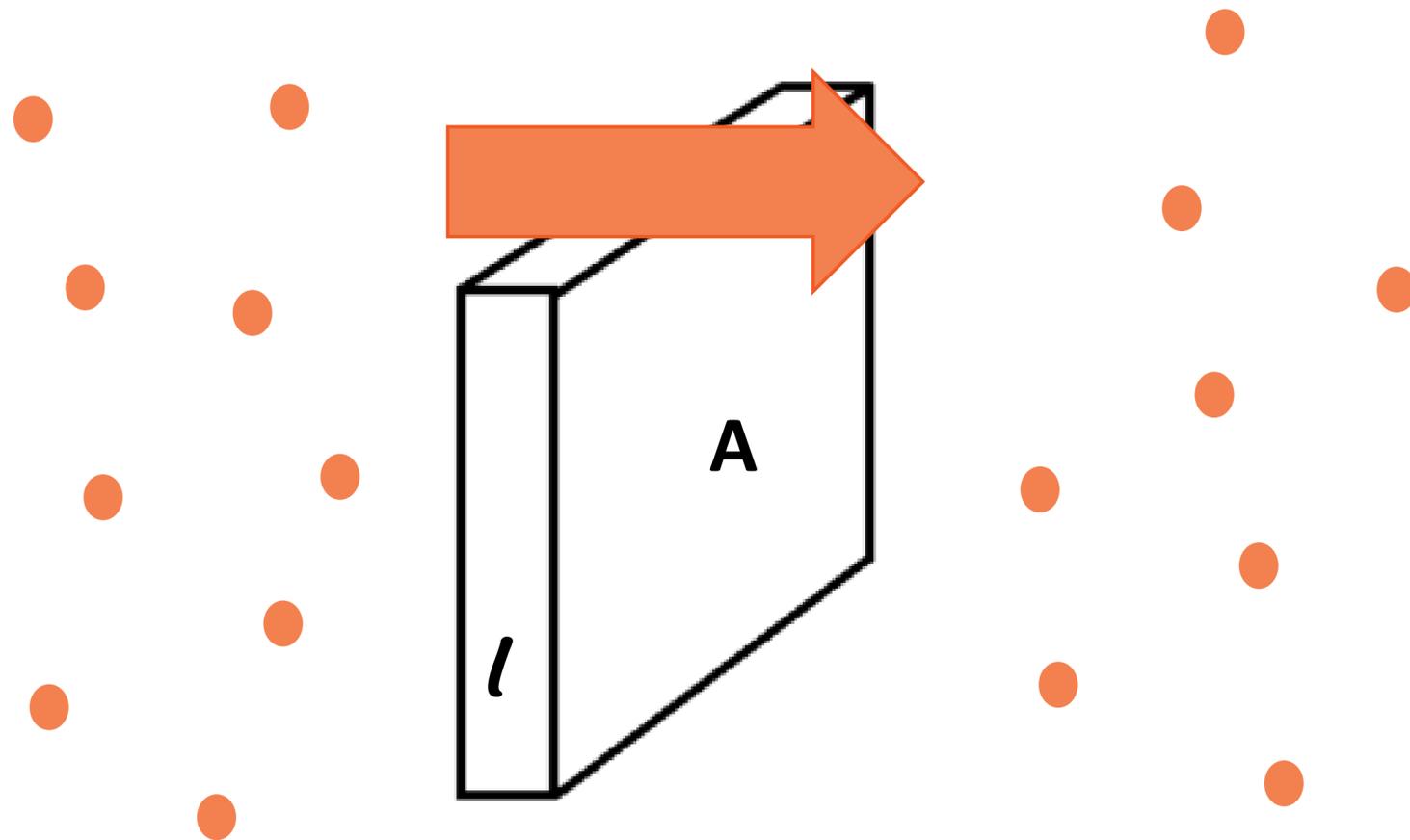
Introduction et mise en contexte

Diffusion selon la 1^{ère} loi de Fick en images



Introduction et mise en contexte

La première loi de Fick et ses paramètres



Faits saillants

Découlant de la première loi de Fick, la dosimétrie passive est fonction des éléments suivants :

- Aire de la surface du dosimètre (A);
- L'épaisseur de la membrane du dosimètre (l);
- La solubilité et le poids moléculaire de la substance à travers la membrane;
- La concentration de la substance dans l'air ambiant;
- La concentration de la substance ;
- La température (en kelvins).

Introduction et mise en contexte

Métrologie des COV dans l'air en milieu de travail

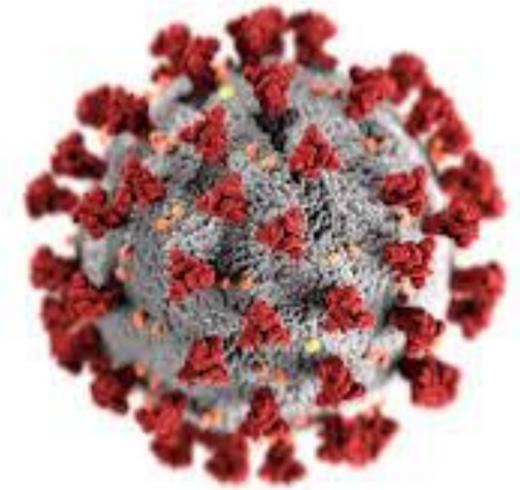
En service depuis 2001

- Dosimétrie passive réalisée avec le dosimètre 3M 3500 (IRSST 2695).



Concours de circonstances en 2020

- Réception d'un courriel que 3M cesse la fabrication des dosimètres 3500;
- COVID-19;
- Turbulences au niveau de l'offre de service et des services d'approvisionnement.



Introduction et mise en contexte

Les options de remplacement

566AT/3500+

- Le média est un disque de charbon actif encastré dans un dosimètre de plastique. Il faut retirer le treillis de plastique pour accéder au disque.



SKC 575-001/575-002

- Le média est composé de billes de charbon actif (575-001) ou d'Anasorb (575-002) comme retrouvé dans les tubes.
- Il suffit de retirer le bouchon et la mousse pour accéder au média.



Introduction et mise en contexte

Avantages et inconvénients

566AT/3500+

Avantages

- ✓ Utilisés dans les essais de performance de l'AIHA;
- ✓ Peu encombrants;
- ✓ Faciles à utiliser lors d'échantillonnage;
- ✓ Conservation et entreposage des échantillons à température ambiante;
- ✓ Liste de substances documentées exhaustive (121 substances).

Désavantages

- ✓ Peu ergonomiques lors de la préparation d'échantillons;
- ✓ Constantes de diffusion calculées seulement pour plusieurs substances.
- ✓ Constantes de diffusion 3 à 4 fois plus lentes que pour les badges 3M 3500.

SKC 575-001/575-002

Avantages

- ✓ Utilisés dans les essais de performance de l'AIHA;
- ✓ Peu encombrants;
- ✓ Faciles à utiliser lors d'échantillonnage;
- ✓ Liste de substances documentées exhaustive ≥ 100 substances;
- ✓ Ergonomiques lors de la préparation d'échantillons.

Désavantages

- ✓ Conservation et entreposage des échantillons au froid;
- ✓ Constantes de diffusion calculées seulement pour plusieurs substances.
- ✓ Constantes de diffusion 3 à 4 fois plus lentes que pour les badges 3M 3500.

Introduction et mise en contexte

Tableau comparatif des constantes de diffusion milieu de travail

Substances	CAS	3M 3500 mL/min	566AT mL/min	VOC 575-001 Charcoal mL/min	VOC 575-002 Anasorb mL/min
Acétate d'éthyle	141-78-6	34,5	8,98	13,1	14,1
Acétate de méthyle	79-20-9	37	10,3		17,8
Acétone	67-64-1	40,1	12,9		20,3
Benzène	71-43-2	35,5	9,69	16	17,1
n-Butanol	71-36-3	34,3	10,7	15,5*	15,5
Cumène	98-82-8	24,5	8,36*	12,8	12,8
Cyclohexane	110-82-7	32,4	8,82	15,6	15,6
Toluène	108-88-3	31,4	9,48	14,5	14,89
Styrène	100-42-5	28,9	9,21*		17,7*

But et objectifs du projet

Mai 2025

But du projet

Implanter un nouveau dosimètre passif pour les COV dans l'offre de service de la DL de l'IRSSST et l'offrir de nouveau à la clientèle.

Objectifs du projet

1. Adapter la procédure expérimentale

La préparation d'échantillons et l'analyse instrumentale sera revue et améliorée pour les deux dosimètres candidats. Un additif sera ajouté lors de la désorption pour améliorer la récupération des COV polaires.

2. Évaluer la performance de différents dosimètres candidats

Les deux dosimètres candidats seront évalués en fonction de leur performance au laboratoire (récupération et contamination), leur documentation et leur convivialité tant au laboratoire que pour les intervenants en hygiène du travail.

3. Validation de méthodes analytiques

Effectuer la validation de méthode afin de déterminer les limites de détection, quantification, la précision, la récupération et la justesse.

Implantation et optimisation d'un nouveau dosimètre passif pour l'évaluation des composés organiques volatils (cov) en milieu du travail

Matériel et méthode

Mai 2025

Adaptation à la procédure expérimentale

Analyse instrumentale

- **Analyse par chromatographie en phase gazeuse** avec un d'un détecteur à ionisation de flamme CPG-DIF ou GC -FID

Résumé : séparation suivie d'une détection

Détection non spécifique par FID (tout ce qui brûle)

Regroupement possible de plusieurs composés



Adaptation à la procédure expérimentale

Analyse instrumentale

Stage de Mostafa Hosseinnia à l'IRSST (2015-2016)

- Des essais pour le dosimètre passif à haut débit (525AT) réalisés lors d'un stage en 2015-2016 de Mostafa Hosseinnia encadré par Jacques Lesage avaient été effectués.
- Les résultats avaient montré que l'amélioration de la récupération des substances polaires comme l'acétone et l'alcool éthylique par ajout de 3% d'alcool benzylique avec du CS₂ plutôt que le CS₂ seulement. Ceci est encore avec la recommandation du fabricant avec le dosimètre 525AT.

Littérature badge Assay et SKC

- Les deux fournisseurs recommandent un ajout d'additif dans le solvant de désorption (CS₂) afin d'améliorer la récupération. L'alcool benzylique est recommandé ou le 2-phenoxyéthanol.

Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

2 dosimètres évalués : VOC 575-002 et 566AT

- Performance : 10 échantillons pour chaque média évaluée et 10 échantillons sans médias pour un total de 30 échantillons. Pour chaque échantillon, une quantité connue de COV à environ 50% VEA est ajoutée afin d'évaluer la récupération.
- Contamination du blanc : 10 dosimètres VOC 575-002 et 10 dosimètres 566AT, désorption de chaque dosimètre avec 2ml CS₂ +2% 2-phenoxyéthanol.
- Facilité d'utilisation : ouverture possible du dosimètre avec ou sans un outil adapté.

Implantation et Optimisation d'un nouveau dosimètre pour l'évaluation des composés organiques volatils en milieu de travail.

Résultats et discussion

Mai 2025

Objectif 1 : Adapter la procédure expérimentale

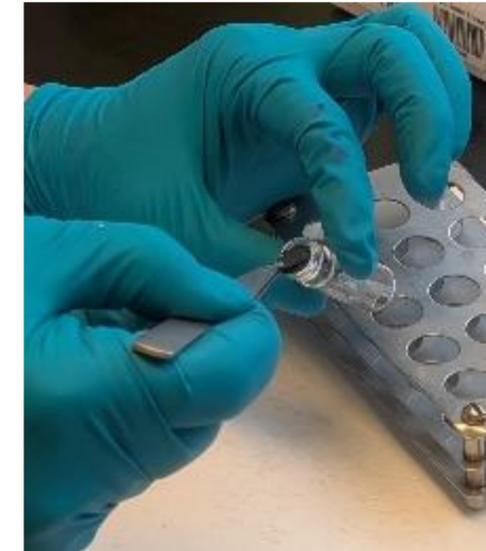
Adaptation de la préparation d'échantillons – exemple 566AT



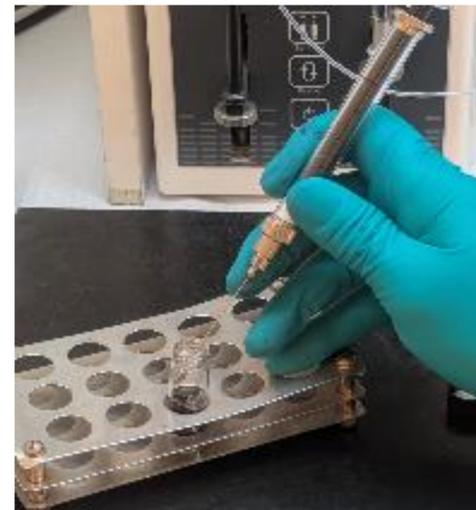
Ouverture du dosimètre



Retrait du média



Transfert de média dans un vial



Ajout de solvant de désorption (2 mL)



Agitation d'échantillons (30 min)



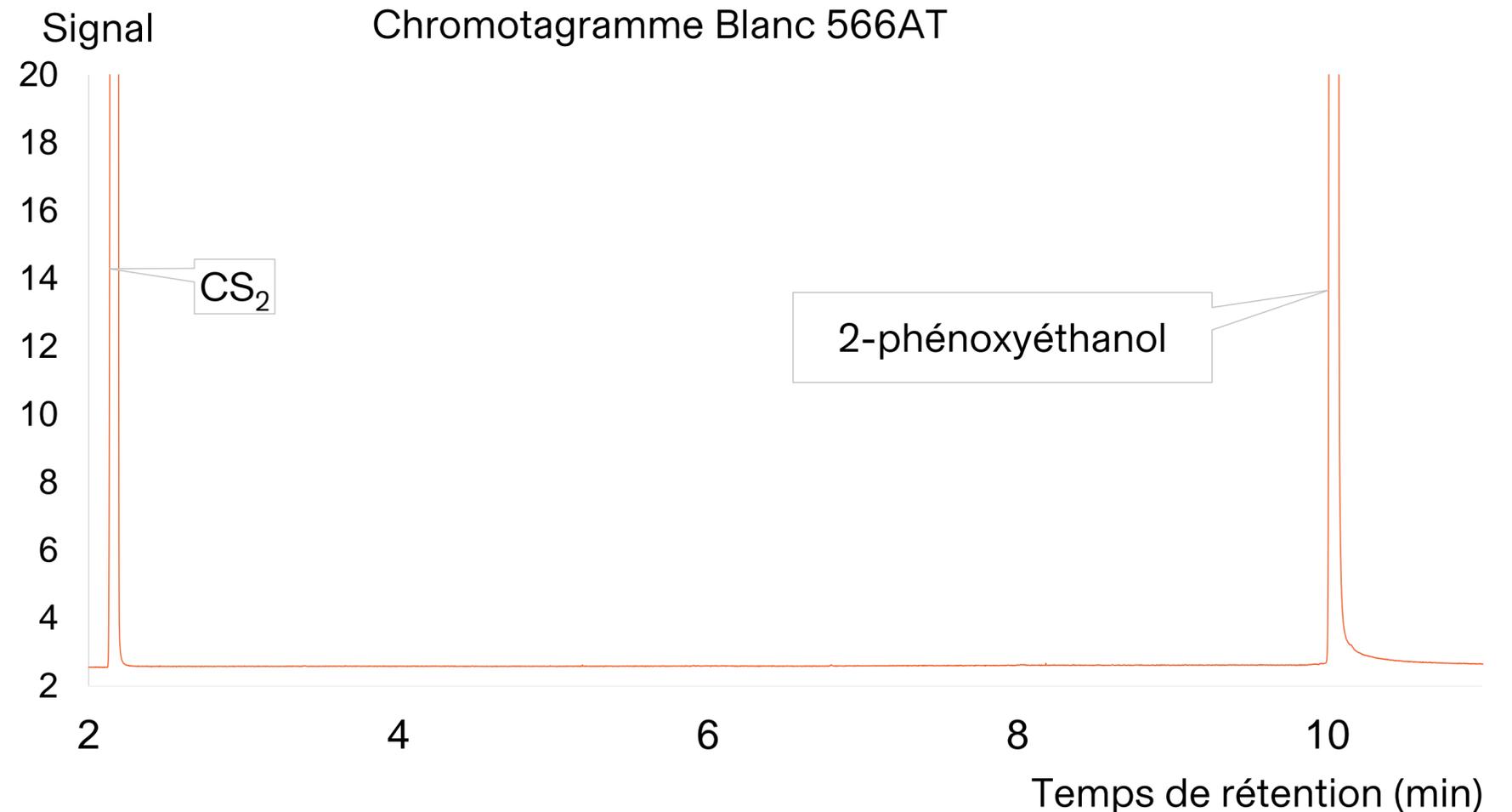
Analyse d'un aliquot par GC-FID

Objectif 1

Ajout de modifiant pour la désorption efficace des COV polaires

Faits saillants

- Le CS₂ utilisé seul est insuffisant pour la désorption des COV polaires tel que les alcools.
- 2% de 2-phénoxyéthanol est ajouté pour améliorer la désorption de ces composés.
- La chromatographie a dû être adaptée pour éviter les interférences chromatographiques et assurer l'élution complète du modifiant.



Objectif 1

Choix de contaminants



- Choix de 26 contaminants plus demandés par nos clients et analytiquement possibles;
- Répartition des substances en 2 groupes distincts;
- Éviter les interférences chromatographiques.

Objectif 1

Adaptation de l'analyse instrumentale (groupe 1)

Groupe 1, composé de 15 substances.

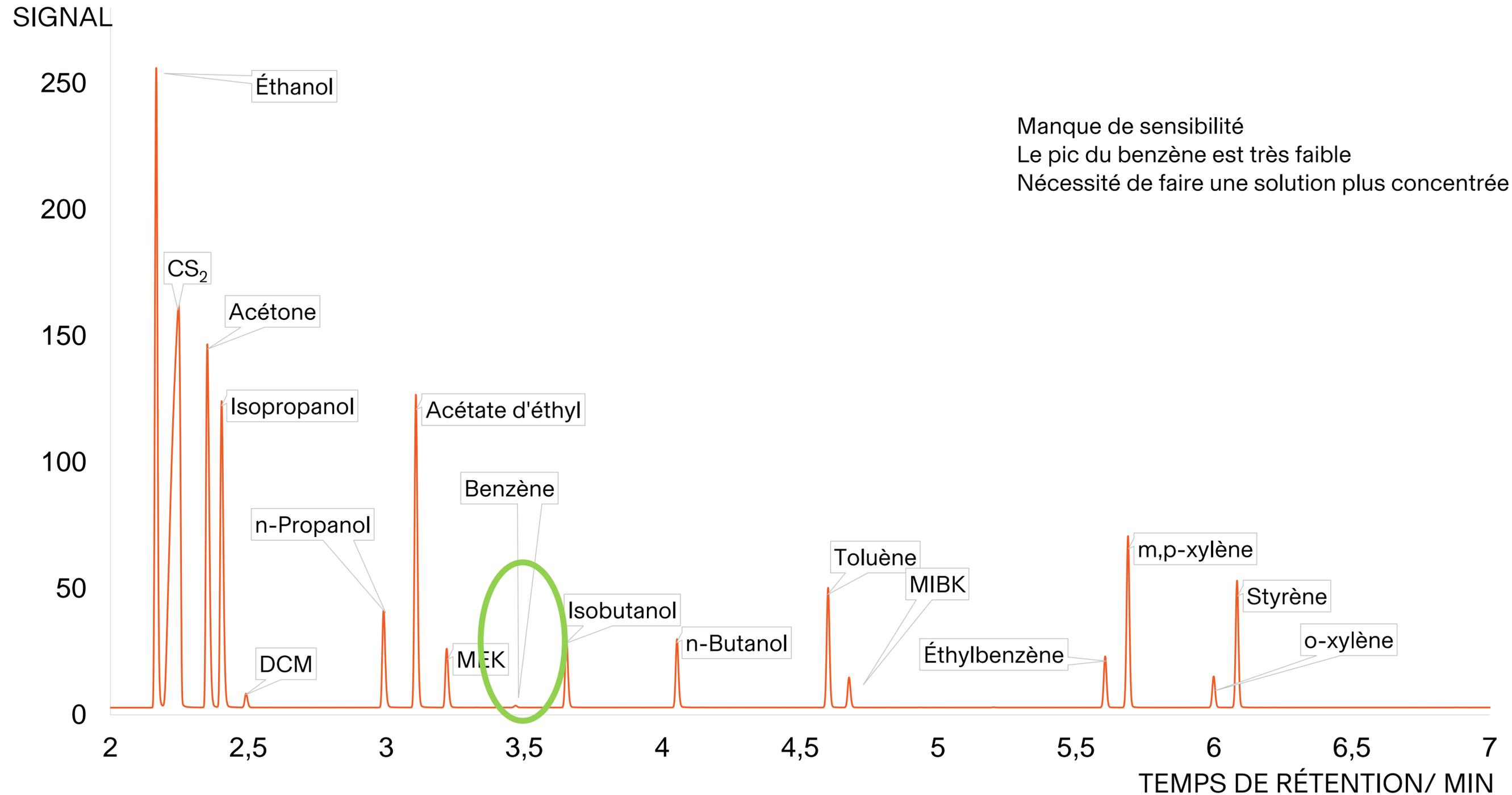
- **Colonne** capillaire Rtx-1701, 40mètres, D.I . 0,18mm film 0,4µm
- **Injecteur:** 210°C
- **Détecteur:** 230°C
- **Programmation de température du four**



Composés
Éthanol
Acétone
Isopropanol
Dichlorométhane
n-propanol
Acétate d'éthyle
Méthyléthylcétone
Benzène
Isobutanol
n-butanol
Toluène
Méthylisobutylcétone
Éthylbenzène
Xylènes (o, m, p-xylène)
Styrène

Objectif 1 :

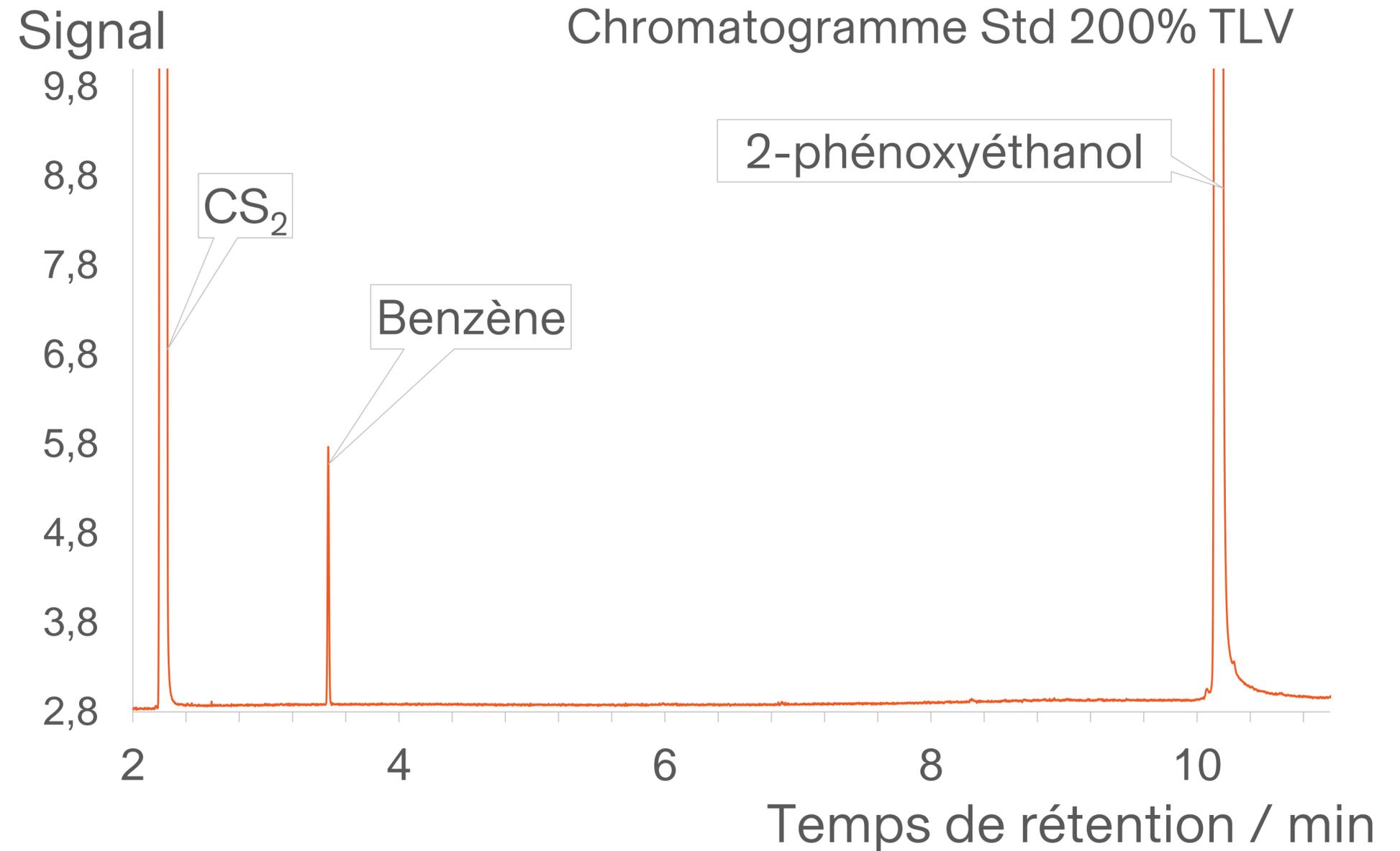
Exemple de chromatogrammes pour le groupe 1 (100% VEA)



Objectif 1

Exemple de chromatogrammes pour le benzène (200% VEA - 8 heures)

- Évaluation pour un échantillonnage de 8h au lieu de 4h comme les autres substances validées

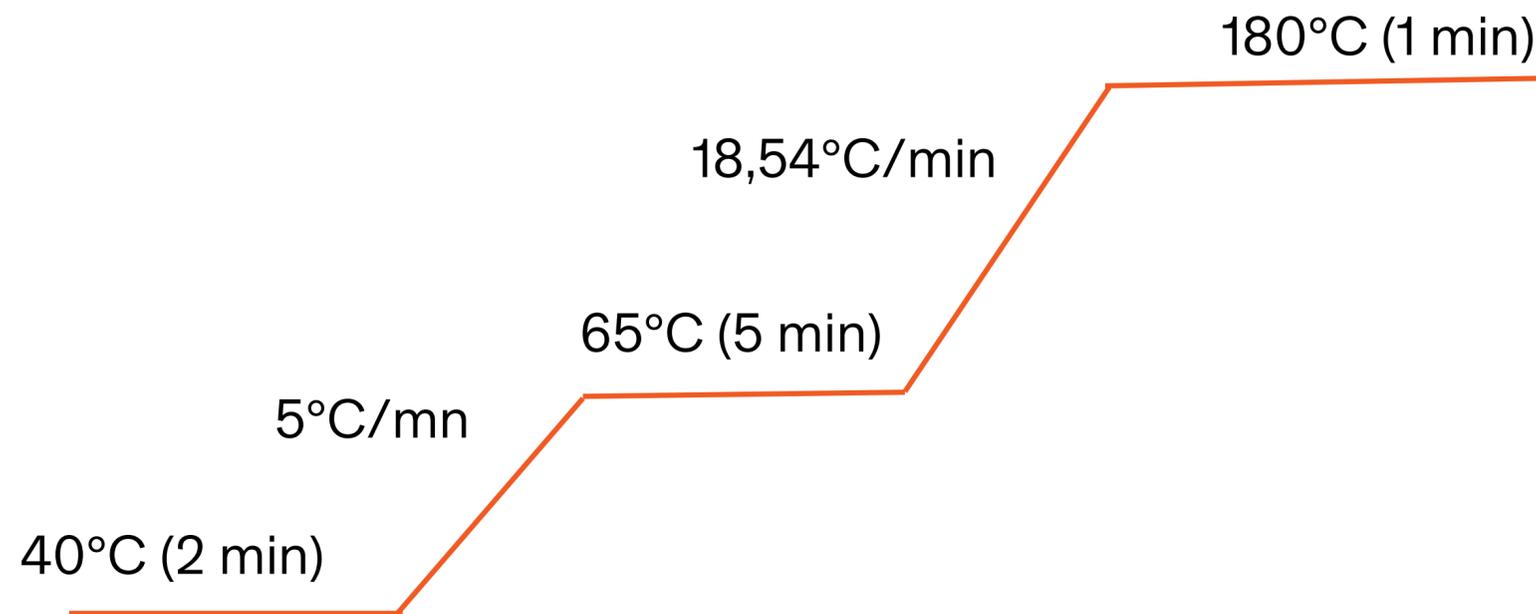


Objectif 1

Adaptation de l'analyse instrumentale (groupe 2)

Groupe 2: composé de 11 substances, incluant les isomères de TMB

- **Colonne** : capillaire DB-1, 10 mètres, D.I . 100 μm film 0,4 μm
- **Injecteur**: 210°C
- **Détecteur**: 230°C
- **Programmation de température du four**

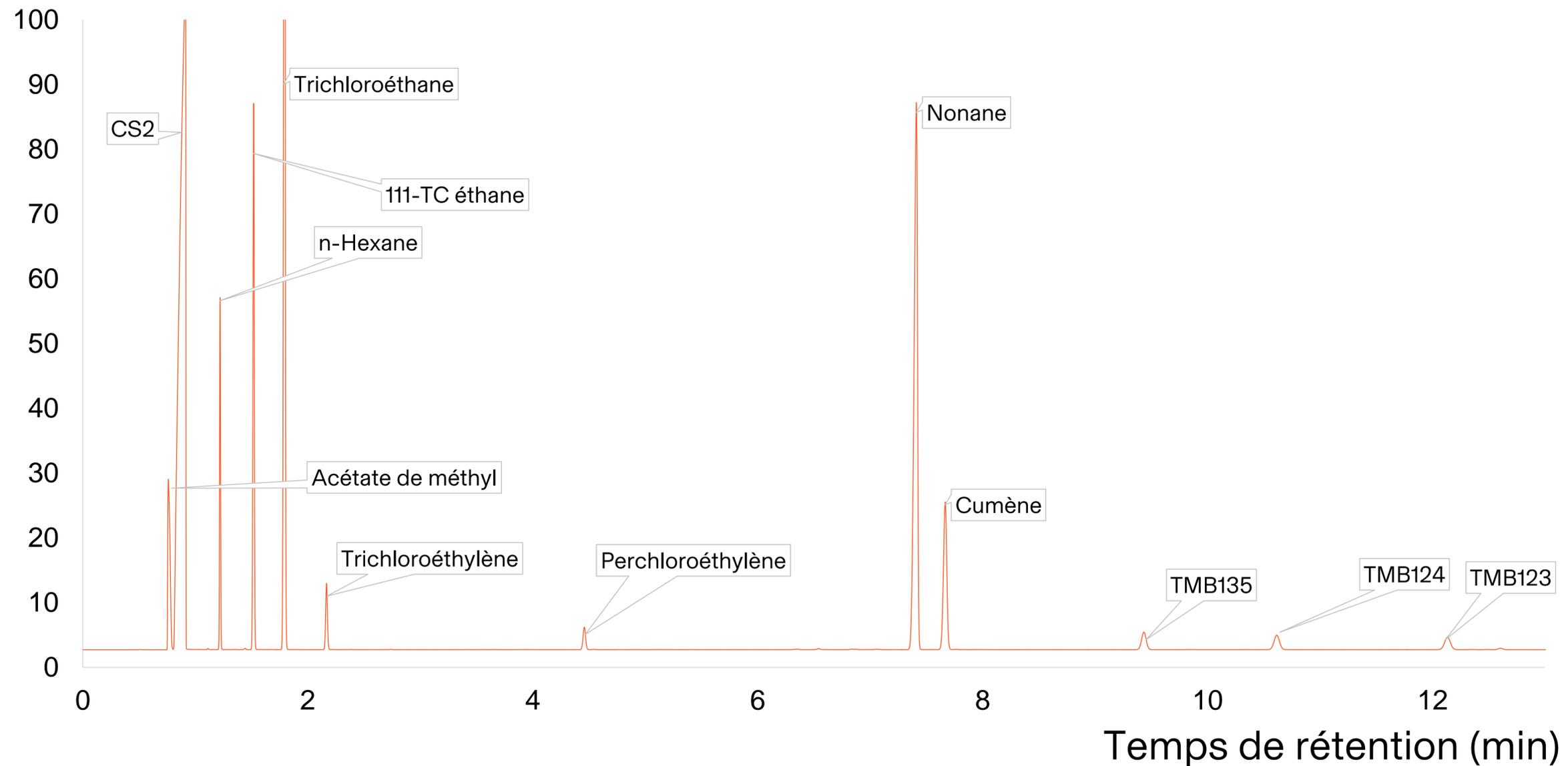


Composés
Acétate de méthyle
n-hexane
111-tétrachloroéthane
Cyclohexane
Trichloroéthylène
Perchloroéthylène
Nonane
Cumène
1,3,5-triméthylbenzène
1,2,4-triméthylbenzène
1,2,3-triméthylbenzène

Objectif 1

Exemple de chromatogrammes pour le groupe 2 (100% VEA)

Signal



Objectif 1

Conclusions

- ❑ La préparation d'échantillons a été adaptée pour les deux dosimètres candidats (566AT et SKC 575-002);
- ❑ L'ajout de 2-phénoxyéthanol dans la solution de désorption a été effectué pour améliorer la récupération des composés polaires;
- ❑ L'analyse instrumentale a été adaptée pour permettre l'élution complète du 2-phénoxyéthanol et éviter la contamination de l'instrument;
- ❑ L'analyse des COV a été divisé en 2 groupes en fonction des interférences chromatographiques.

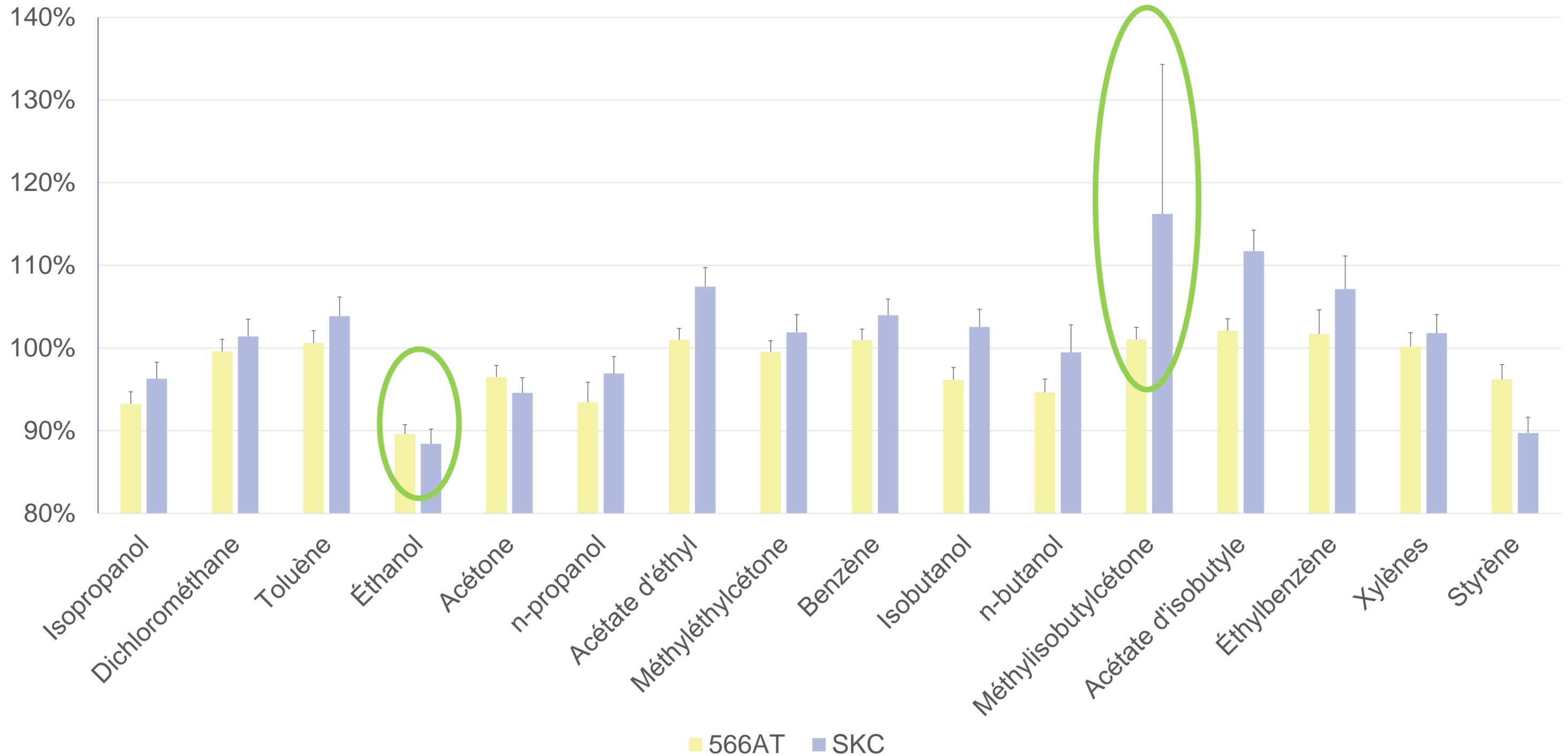
Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

Vérification de blancs pour chacun des dosimètres candidats



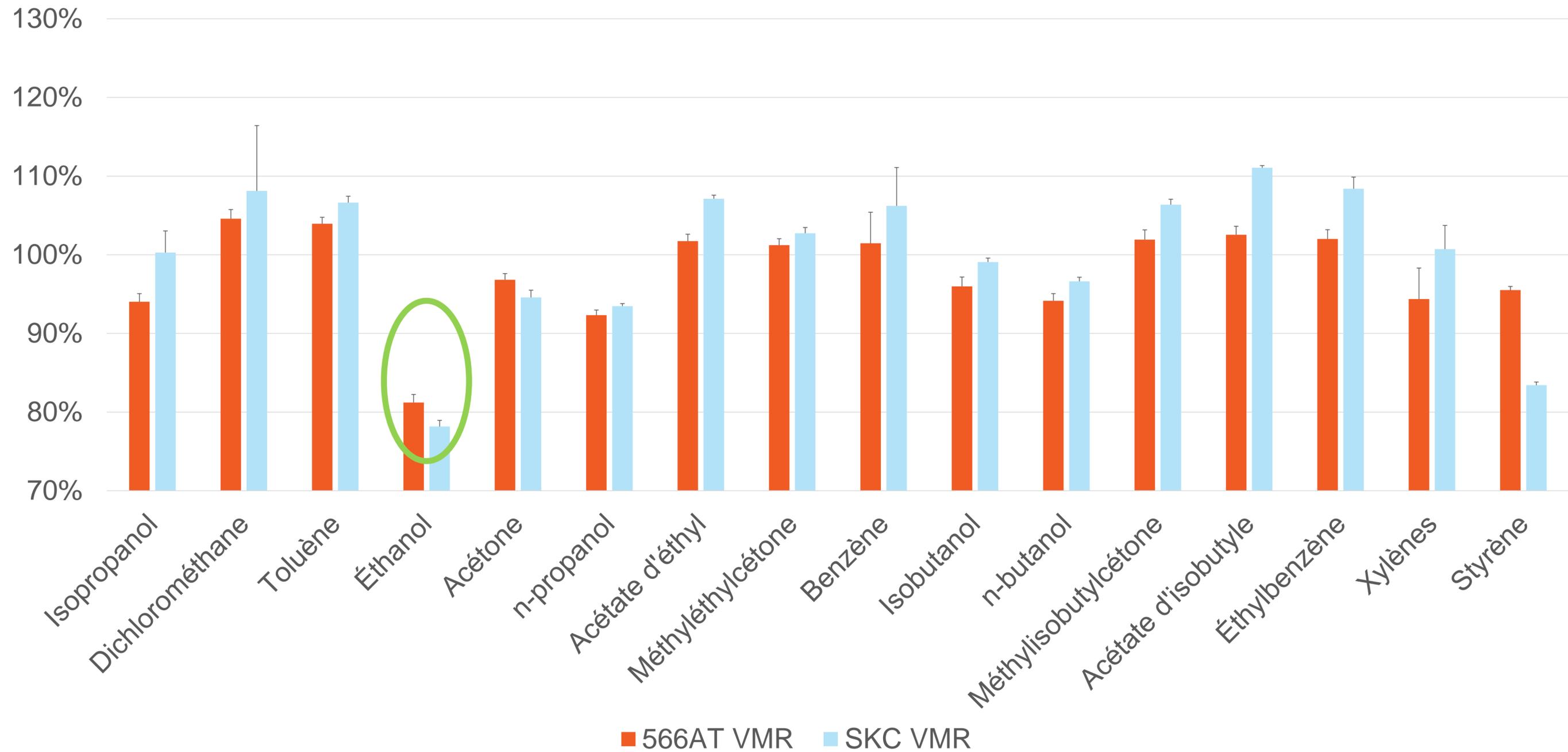
Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

Comparaison de la performance à 50%-100% VEA



Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

Comparaison de la performance près de la VMR



Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

Évaluation de la facilité d'utilisation au laboratoire

SKC 575-002

- Facile à ouvrir;
- Le transfert du média dans un vial est simple;
- Conservation à 4°C avant et après échantillonnage;
- Utilisation de dosimètre pour faire l'étalonnage du GC.

566AT

- Difficile à ouvrir pour accéder au média;
- Utilisation d'un tournevis, risque de blessure;
- Possibilité d'acheter le média seulement et non le dosimètre complet;
- Conservation à température ambiante avant échantillonnage , après échantillonnage peut être conservé à température ambiante pour 14 jours.

Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres

Évaluation de la facilité d'utilisation au laboratoire

Amélioration de l'ouverture du dosimètre 566AT

- Utilisation d'un presseur pour éviter les risques de blessures.



Objectif 2

Conclusions

- La contamination observée avec les deux dosimètres candidats (566AT et SKC 575-002) est négligeable.
- Les récupérations d'essais préliminaires avec les deux dosimètres candidats (566AT et SKC 575-002) sont conformes aux attentes avec les modifications réalisées à la procédure expérimentale.
- La facilité d'utilisation au laboratoire est supérieure pour les dosimètres SKC 575-002.
- La facilité d'entreposage et de conservation est supérieure pour les dosimètres 566AT.
- La préparation des étalons est plus facile et moins coûteuse avec les dosimètres 566AT.



Objectif 3 : Validation de la méthode IRSST 416

Résultats de la validation de la méthode

Exemple: Acétone

Limite de détection et quantification

- LOD: 19 μ g ou 6,14mg/m³ (0,5%VEA)
- LOQ: 63 μ g ou 20,3mg/m³ (1,7%VEA)
- VMR: 80 μ g ou 25,8mg/m³ (2%VEA)

Justesse et récupération

- Justesse: 96,6%
- Récupération: 95,4%

Précision et CVa (%)

- Réplicabilité: 2,1 %
- Répétabilité: 4,7%
- CVa : 2%

Objectif 3 : Validation de la méthode 416

Résultats de la validation de la méthode

Quelques exemples de contaminants validés :

Éthanol

VEMP: 1880 mg/m³

Durée : 240 min

Cst A= 74,07 min/L

VMR = 120 µg (1% VEA)

CMR = 37,0 mg/m³ (2% VEA)

LOD = 12 µg (0,2% VEA)

LOQ = 37 µg (0,6% VEA)

Méthyléthylcétone

VEMP: 150 mg/m³

Durée : 240 min

Cst A= 89,29 min/L

VMR = 8 µg (2% VEA)

CMR = 3 mg/m³ (2% VEA)

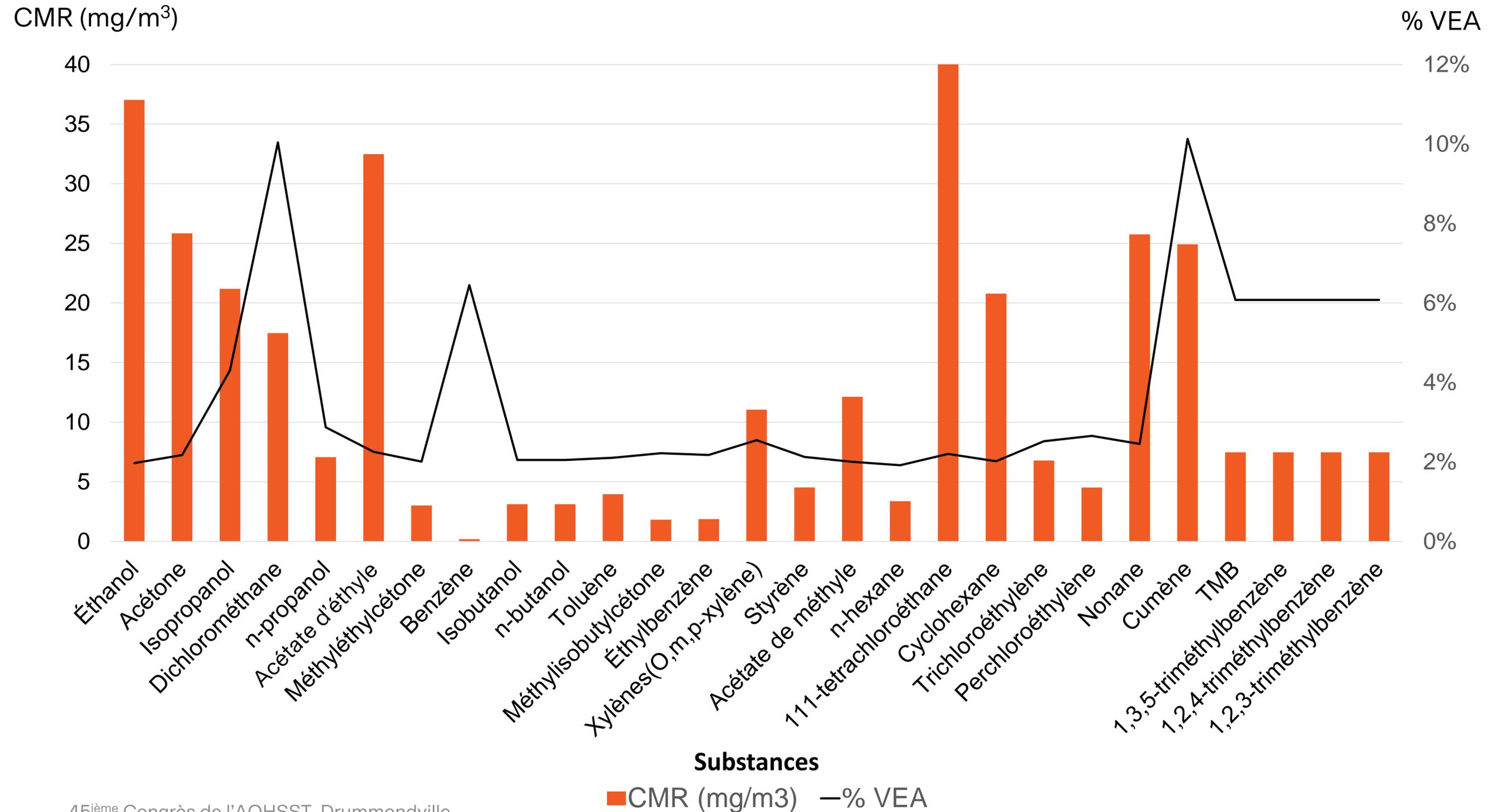
LOD = 1,5 µg (0,4% VEA)

LOQ = 5,1 µg (1,3% VEA)



Objectif 3 : Validation de la méthode 416

Limite de détection et concentration minimale rapportée (CMR)



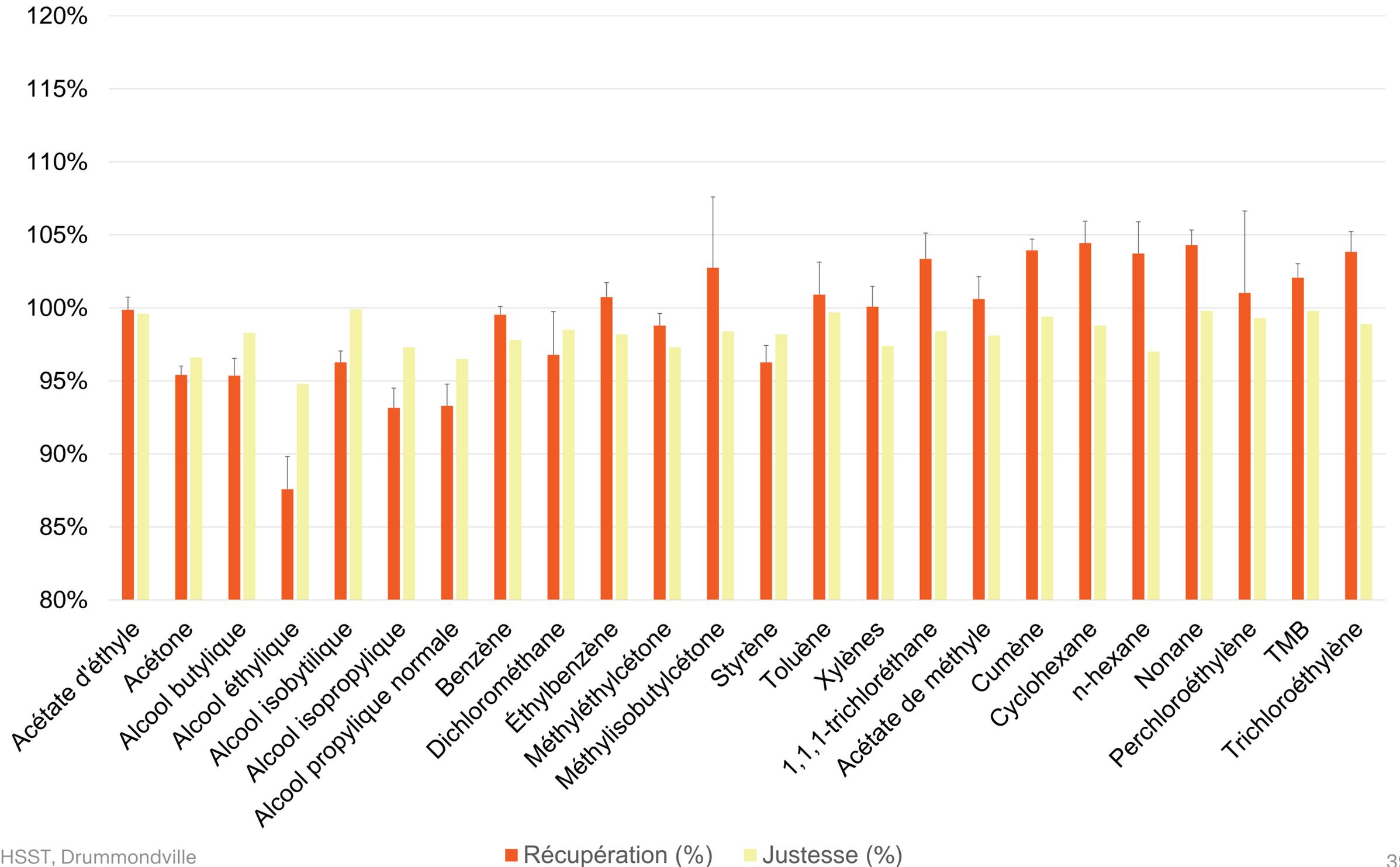
Objectif 3 : Validation de la méthode IRSST 416

Récupération et justesse

La valeur médiane :

➤ Récupération : 100,6%

➤ Justesse : 98,4%



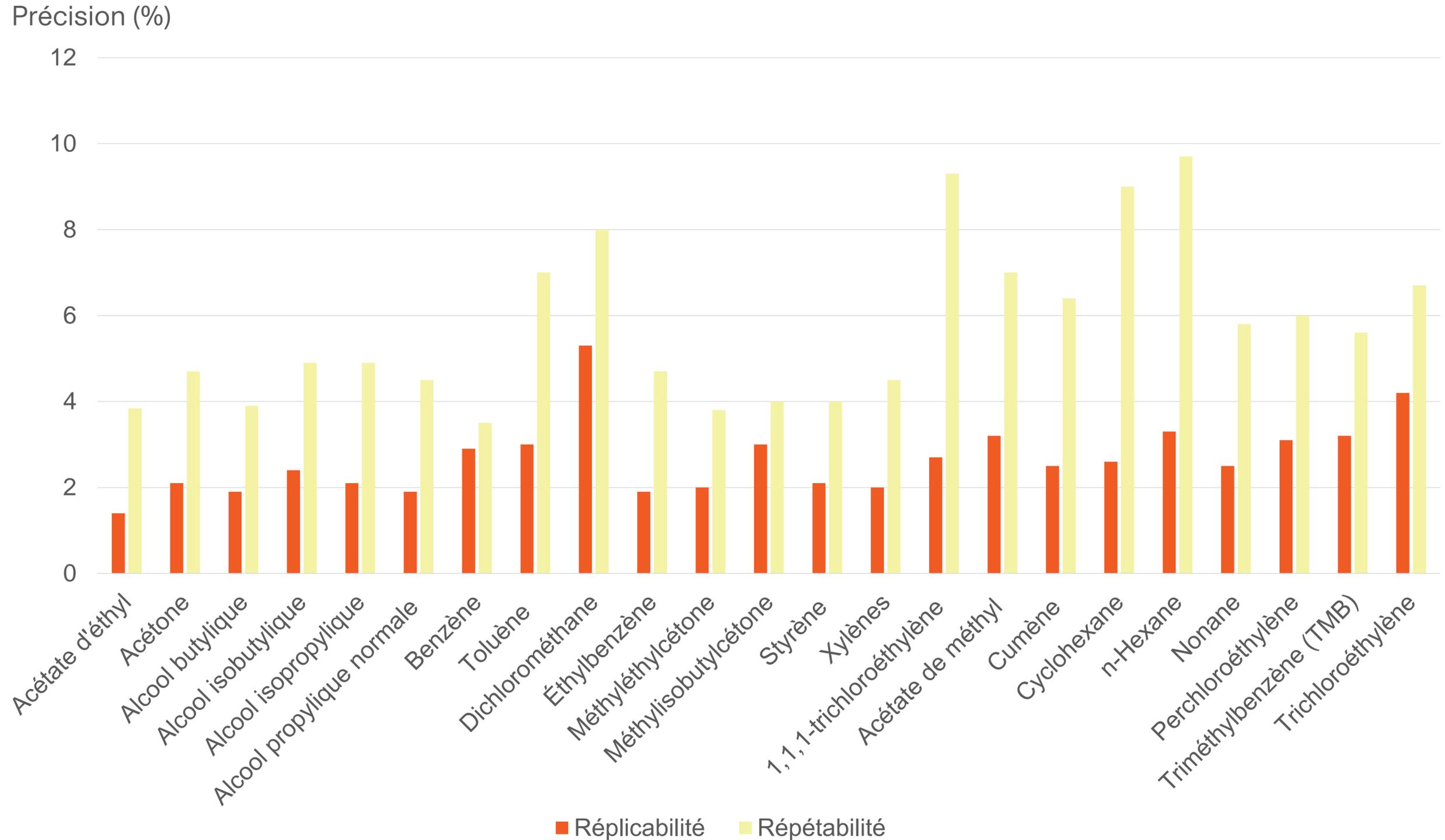
Objectif 3 : Validation de la méthode IRSST 416

Précision

La valeur médiane :

➤ Réplicabilité : 2,5%

➤ Répétabilité : 4,9%



Conclusions

- ❑ Une reprise de service d'analyses des composés organiques volatils par dosimétrie passive (IRSST 2696) avec une nouvelle méthode (IRSST 416) répondant aux nouvelles VEA.
- ❑ Une amélioration de la récupération de l'ensemble des composés par ajout de 2% de 2-phénoxyéthanol.
- ❑ Le développement et la validation analytique ont permis de tester différents dosimètres destinés à l'évaluation de composés organiques volatils (COV).

Perspectives

- ❑ Développer une méthode d'analyse de dosimètres 566AT de 25 contaminants par GC-MS.
- ❑ Étudier et valider d'autres dosimètres destinés aux composés organiques volatils pour éviter d'être dépendant d'un fournisseur unique.
- ❑ Évaluer l'utilisation du dosimètre 571AT pour l'évaluation des aldéhydes dans l'air pour remplacer les dosimètres UMEx 100 (IRSST 6100).



Remerciements

Mélanie Huard

Marie-France Bisson

Lucie René

Équipe du laboratoire de solvant

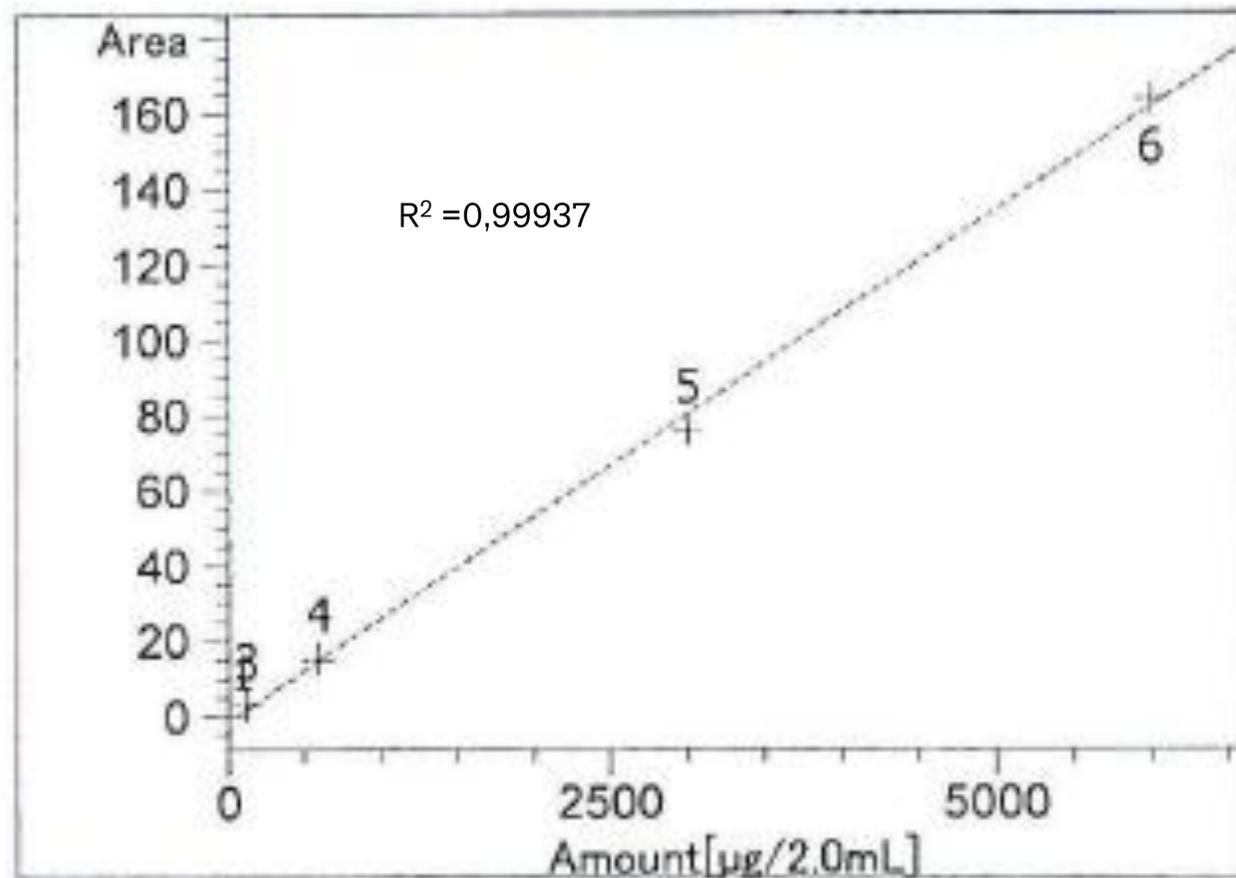
Merci de votre attention

Questions et commentaires

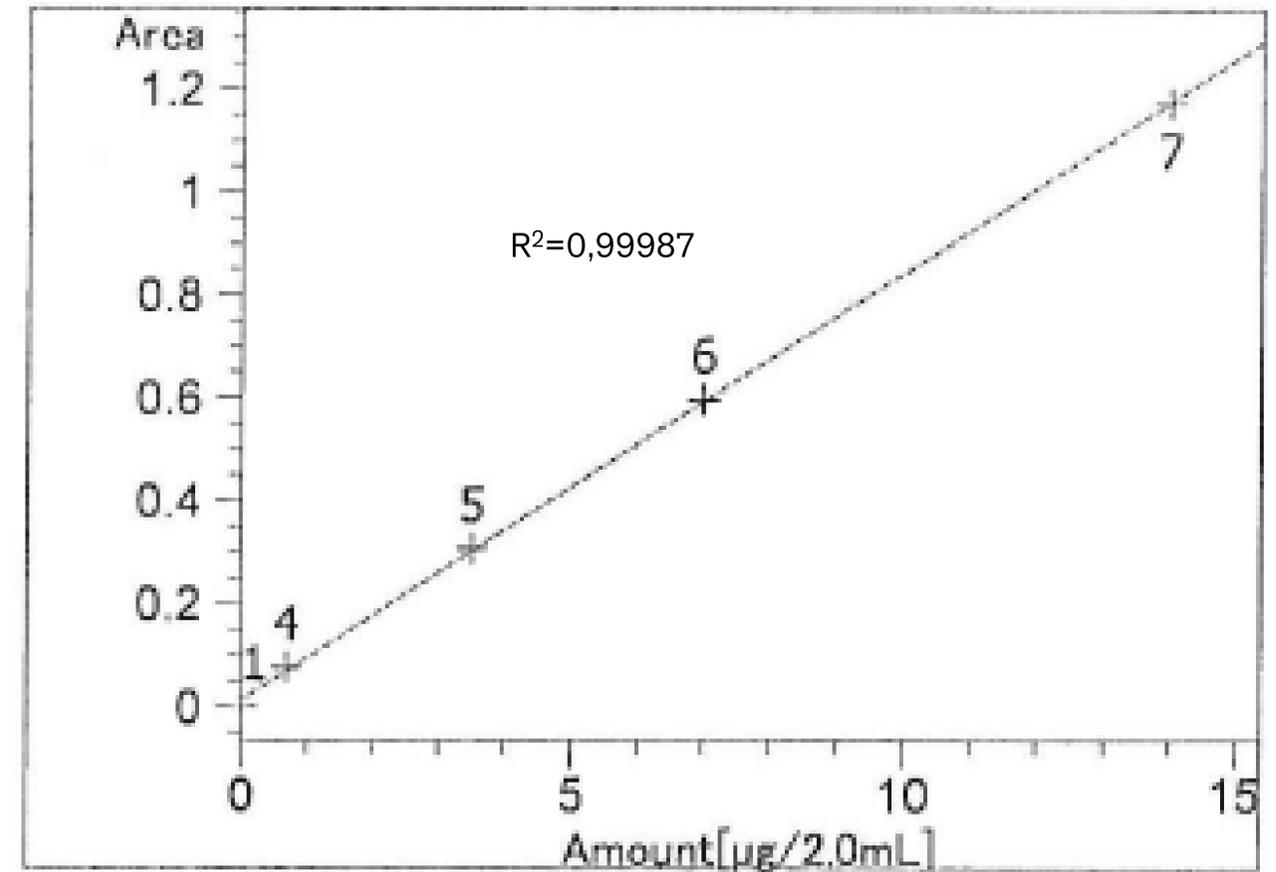
Merci de votre attention

Objectif 4: Résultats et Discussion

Le coefficient de corrélation varie de 0,99937 à 1 pour l'ensemble de composés validés



Courbe d'étalonnage pour l'Éthanol



Courbe d'étalonnage pour le Benzène

Résultats et discussion

Isopropanol

VEMP: 492mg/m³
Durée : 240min
Cst A= 84,75min/L
VMR = 60µg (1%VEA)
CMR = 21,2mg/m³ (4% VEA)
LOD = 12 µg (0,2%VEA)
LOQ =37 µg (0,6% VEA)

Acétone

VEMP: 1190 mg/m³
Durée : 240min
Cst A= 77,52 min/L
VMR = 80 µg (2%VEA)
CMR = 26mg/m³ (2% VEA)
LOD = 19µg(0,5%VEA)
LOQ = 63µg (1,7% VEA)

Dichlorométhane

VEMP:174 mg/m³
Durée : 240min
Cst A= 104,82min/L
VMR = 40 µg (10%VEA)
CMR = 17,5 mg/m³ (10 % VEA)
LOD = 4 µg(1%VEA)
LOQ =15 µg (4% VEA)

n-Propanol

VEMP: 246 mg/m³
Durée : 240min
Cst A= 84,75min/L
VMR = 20 µg (3%VEA)
CMR = 7,1 mg/m³ (3 % VEA)
LOD = 4 µg(0,6%VEA)
LOQ = 12 µg (1,7% VEA)

Méthyléthylcétone

VEMP:150 mg/m³
Durée : 240min
CstA= 89,29min/L
VMR = 8,1 µg (2%VEA)
CMR = 3 mg/m³ (2% VEA)
LOD = 1,5 µg(0,4%VEA)
LOQ =5,1 µg (1,2% VEA)

Benzène

VEMP: 3mg/m³
Durée : 240min
CstA= 103,20min/L
VMR = 0,9 µg (13%VEA)
CMR = 0,4mg/m³ (13% VEA)
LOD = 0,2µg(3%VEA)
LOQ =0,7 µg (10% VEA)

Méthode : IRSST-416

Méthode instrumentale

- **Instrument:** Chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à ionisation de flamme
- **Mode d'ionisation :** Ionisation de flamme
- **Mode d'injection :** avec division (**split 1/120**)
- **Colonne :** capillaire Rtx-1701, 40mètres, D.I . 0,18mm film 0,4 μ m
- **Injecteur :** 210 °C
- **Détecteur :** 230°C



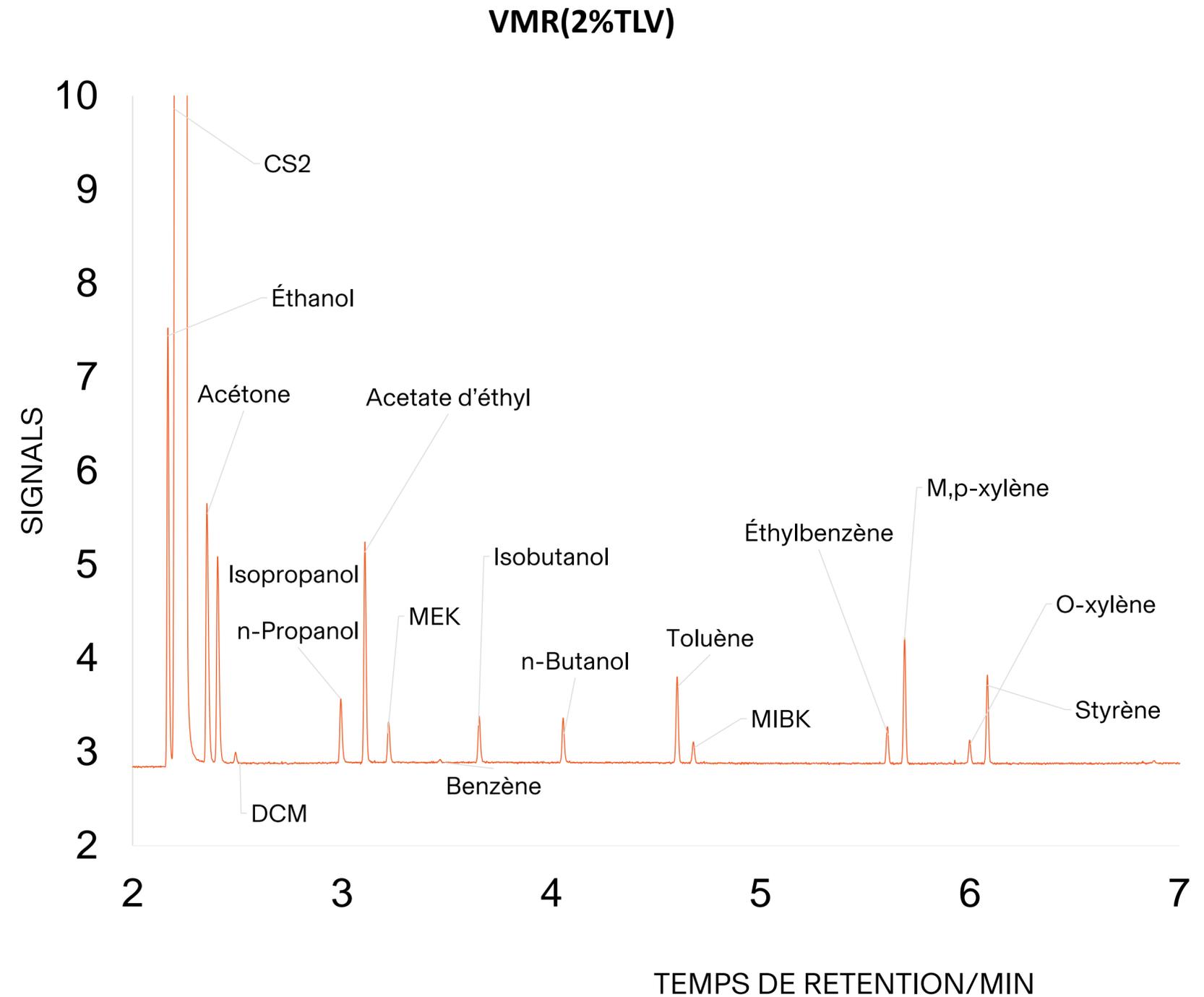
Méthode : IRSST-416

Méthode instrumentale

Les composés validés ont été repartis en deux groupes, choix établis en fonction du nombre de demandes reçus à l'IRSST

1^{er} groupe : Composés de 15 contaminants,
Colonne : capillaire Rtx-1701, 40mètres, D.I. 0,18mm
 film 0,4µm
 40°C (1,2mn) → 18,54°C/mn → 180°C (4,25mn)

Programmation du four



- Les solvants organiques tel que l'acétone, le dichlorométhane, le xylène, le toluène et le styrène sont couramment rencontrés encore en 2025 en milieu de travail.
- L'analyse des composés organiques volatils, offert à l'IRSST depuis 2001 avec les dosimètres 3M.
- En 2019, cessation de la fabrication des dosimètres passifs 3500 par la compagnie 3M en 2019
- Impossibilité de s'en procurer de nouveau.
- Remplacement du modèle 3500 par 3500+
- les différences d'échantillonnage et d'analyses nécessite un développement et une validation complète de la méthode.
- Deux autres fournisseurs offrent des solutions similaires : Assey technologie et SKC

La dosimétrie passive en lien avec les COV

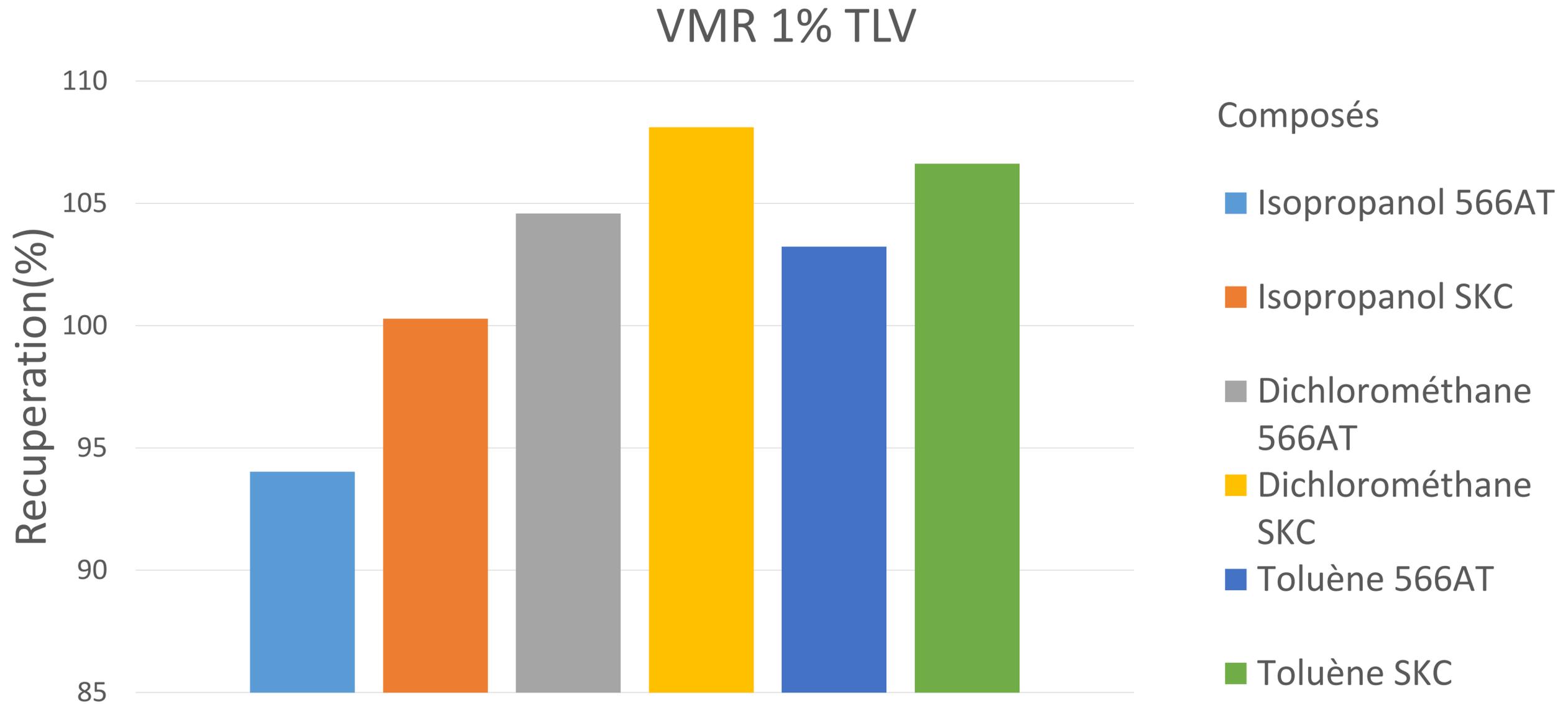
- L'analyse des composés organiques volatils, offert à l'IRSST depuis 2001 avec les dosimètres 3M.
- En 2019, cessation de la fabrication des dosimètres passifs 3500 par la compagnie 3M en 2019
- Impossibilité de s'en procurer de nouveau.
- Remplacement du modèle 3500 par 3500+
- les différences d'échantillonnage et d'analyses nécessite un développement et une validation complète de la méthode.
- Deux autres fournisseurs offrent des solutions similaires : Assey technologie et SKC

- Assay technologies
 - Dosimètre à haute débit (525AT)
 - Dosimètre 566 AT
- SKC avec les VOC 575 2 versions,
 - Sorbant est du charbon actif (SKC 575-001)
 - Anasorb 747 (skc 575-002, autre variante de charbon actif)
- SKC et Assay Technologies fournissent très peu d'informations quant à la capacité maximale en mg des dosimètres passifs, alors que l'information était présente pour 3M.
- Cette absence d'information compliquera la détermination de la saturation ou non du dosimètre lors de l'échantillonnage.

- La quantité de sorbant est plus importante dans le VOC575 de SKC (350 mg) que dans le 566AT (150 mg).
- Les constantes de diffusion pour le VOC575 et le 566AT sont plus faibles que pour le dosimètre de 3M.
- L'IRSST participe depuis plusieurs années aux essais de performance par l'IHPAT pour les analyses de tubes et dosimétrie
- Notre choix de matériel porte seulement sur les dosimètres qui sont évalués par les essais de performance de l'IHPAT.
- Des dosimètres 566AT d'Assay technologie et SKC-575-002 de SKC ont été choisis.

- Le dosimètre 3500+ de la compagnie 3M et 566AT sont considérés identiques du point de vue théoriques
Assay technologie est le principal fabricant de ces deux dosimètres.
- Le dosimètre concerné par notre étude est 566AT
- L'évolution du RSST en 2021 versus 2007 et son harmonisation avec TLV de l'ACGIH implique des changements de valeurs et leur interprétation.
- Modification de l'évaluation de certaines substances tel que : n-pentane \implies pentane et ses isomères
- Analyse d'un groupe d'isomère du pentane validé sur les tubes
- Peu d'information sur les isomères au niveau des constante de diffusion sur les dosimètres passifs
- L'IRSSST propose d'analyser ces groupes sur les tubes seulement et , ces substances ne sont pas validées sur les dosimètres.

Objectif 2 : Évaluation de la performance des dosimètres



Objectifs du projet

Objectif 1

Évaluer la performance (récupération et contamination), l'ergonomie et l'applicabilité de 2 dosimètres passifs.

Objectif 2

Adapter la préparation d'échantillons (p. ex. préparation d'étalons) et l'analyse instrumentale (2-phénoxyéthanol, choix de groupe, etc.) pour améliorer la récupération des alcools en dosimétrie passive.

Objectif 3

Améliorer la sensibilité du benzène en dosimétrie passive.

Objectif 4

procéder à la validation analytique et la mise en service.

Objectif 1

Adaptation à la préparation d'échantillons – 566AT



Ouverture du dosimètre



Dépôt du dosimètre sur l'outil de pressoir



Retrait du média



Transfert de media dans le Vial 4mL



Ajout de 2mL de la solution de désorption dans le Vial



Objectif 1

Adaptation à la préparation d'échantillons (suite) – 566AT



Agitation d'échantillons , 30min



Transfert d'aliquote dans le Vial de 2mL



Analyse sur GC/FID

