

Bilan et perspectives des deux écoles techniques sur l'analyse des gaz

Dalila Mohrath¹, Christophe Garin², Jean-Marc Bonnefond³, Robert Falcimagne⁴, Patricia Laville⁵, Patrick Mielle⁶, Christophe Montaurier⁷, Frédérique Malipier⁸, Patricia Manzano⁸, Inès Maranon⁹

Résumé. L'analyse des gaz est utilisée notamment pour des recherches concernant l'atmosphère, le sol, les plantes, les animaux, l'humain et les composés volatils dans les aliments. L'analyse des gaz présente une pluralité de domaines d'application, d'espèces gazeuses à analyser, de gammes de concentrations ainsi que de techniques de mesure.

C'est à l'occasion des Journées de la Mesure et de la Métrologie de 2006 que le besoin d'une école thématique portant sur la mesure et la métrologie appliquées à l'analyse des gaz a été exprimé. Deux écoles ont été organisées pour répondre aux besoins, la deuxième (2011) ayant bénéficié des enseignements tirés de la première (2009) suite à l'évaluation approfondie qui en avait été faite. Les deux écoles étaient structurées en une alternance de séquences théoriques (informations sur les thématiques abordées à l'Inra nécessitant la quantification d'espèces gazeuses) et de séquences plus pratiques (mise en application sur deux techniques d'analyse et les appareils associés). Les échanges de pratiques étaient organisés sous forme de tables rondes, ou de façon plus informelle autour de posters présentant le travail de chacun des participants. Les écoles avaient aussi pour objectif de favoriser l'homogénéisation des connaissances de base et de consolider le réseau des ingénieurs et techniciens concernés. Ainsi, une cartographie multicritère a été élaborée afin de servir de base à la mise en place de réseaux thématiques. Ces deux écoles ont eu un impact très positif auprès des participants et appellent une continuité et des compléments spécifiques. Une action spécifique a d'ores et déjà été réalisée : elle consistait en une formation sur l'estimation des incertitudes de mesures lors de l'analyse des gaz, intégrant une mise en application sur des dispositifs propres à l'Inra. Cette action pilote a été réalisée sur le Centre PACA et devrait être déployée sur d'autres centres. Cependant, afin de contacter à l'avenir tous les agents concernés par l'analyse de gaz à l'Inra, il faut améliorer au préalable, le ciblage de ces personnes via l'identification des communautés de pratiques et de métiers.

Mots clés : école technique ; analyse des gaz ; CPG ; chromatographie



¹ UMR EMMAH INRA Domaine Saint-Paul - Site Agroparc 228 route de l'Aérodrome CS40509 84914 AVIGNON CEDEX 9, Tel.: 04.32.72.22.18 (dalila.mohrath@avignon.inra.fr)

² Délégation à la Qualité INRA 147 rue de l'Université 75338 PARIS CEDEX 07,

³ UR EPHYSE INRA Domaine de la Grande Ferrade 71 avenue Edouard Bourlaux BP 81 33883 VILLENAVE D'ORNON CEDEX

⁴ UR LUREP INRA Site de Crouel 234 avenue du Brézet 63100 CLERMONT-FERRAND

⁵ UMR EGC INRA 78850 THIVERVAL-GRIGNON

⁶ UMR CSGA INRA 17 rue Sully BP 86510 21065 DIJON

⁷ UMR UNH INRA Site de Theix 63122 SAINT-GENES-CHAMPANELLE

⁸ UAR FPN INRA Site de la Géraudière rue de la Géraudière BP 71627 44316 NANTES CEDEX 3

⁹ UAR FPN INRA 147 rue de l'Université 75338 PARIS CEDEX 07.

Introduction

L'analyse des gaz dans la recherche agronomique intervient dans plusieurs domaines tels que l'environnement, l'alimentation humaine, la santé animale, la santé des plantes, ou bien encore la microbiologie. Les mesures des concentrations de gaz concernent en effet le sol, l'atmosphère, les plantes, les animaux et l'homme. Il apparaissait opportun de réunir les acteurs concernés par l'analyse des gaz, afin de faire un état des lieux des différentes problématiques, ainsi que les techniques retenues par chaque équipe pour l'identification et la mesure des gaz suivis.

1. Genèse et phases préliminaires

L'école technique « Analyse des gaz » fait suite aux besoins exprimés lors des Journées de la Mesure et de la Métrologie (J2M) de 2006, où se rencontrent les acteurs de la mesure physique et de la métrologie. L'analyse de ces besoins a conduit à mener une action ciblée concernant l'ensemble des pratiques autour de l'analyse des gaz. Une proposition d'organisation d'une école spécifique à l'analyse des gaz a été soumise à la Formation Permanente Nationale (FPN) et à la Délégation à la qualité, qui l'ont validée et soutenue pour une première réalisation en 2009.

1.1. Enquête préalable

Afin d'étudier la faisabilité du projet, une enquête préalable a été réalisée auprès de plus de 500 agents via des listes de diffusion (Qualité, J2M, Cahier des Techniques). Cependant peu de personnes ont répondu à cette enquête : seulement 27 agents concernés de près par l'analyse des gaz à l'Inra, alors que nous évaluons, actuellement, à plus du double le nombre d'agents concernés. Malgré un taux de 50% de réponse à cette enquête, ceci soulève deux questions :

- tous les agents concernés ont-ils reçu l'information via les listes de diffusion utilisées comme vecteur de l'information ?
- certains agents ne se sont-ils pas sentis concernés par l'enquête ?

Ceci rejoint la problématique récurrente de l'identification des compétences à l'Inra. En effet, un outil tel qu'une base de données recensant l'ensemble et la diversité des compétences des agents permettrait de cibler plus aisément les communautés de pratiques et de métiers. Néanmoins ces 27 personnes concernées par l'analyse des gaz ont exprimé des besoins en formation et, pour les 2/3 d'entre elles, le souhait de faire partie d'un réseau identifié et fonctionnel. (cf. **Tableau 1**).

Tableau 1. *Besoins en formations recensés*

Domaine de formation attendu	Agents intéressés
Les principes et les lois qui régissent les gaz	63%
Les principes des analyseurs de gaz	70%
La métrologie dans l'analyse des gaz	92%
Les techniques de prélèvement	63%

Nous avons exploité ce retour du panel de participants potentiels, incomplet mais encourageant, par Département (**Tableau 2**), par Centre ainsi que par Corps (**Tableau 3**).

Le Département Environnement et Agronomie est le Département le plus représenté (55%), suivi des Départements Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture, Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques, PHysiologie Animale et Systèmes d'Elevage, Alimentation humaine et MICrobiologie et Chaîne Alimentaire. Ces résultats nous amènent à nous poser la question de la représentativité du panel et du ciblage. En effet, le comité d'organisation avait identifié au préalable des acteurs de l'analyse des gaz appartenant aussi à d'autres Départements tels que Biologie Végétale, Génétique et Amélioration des Plantes, Santé des Plantes et Environnement, Génétique Animale. Un travail complémentaire d'identification des compétences, ou tout du moins des domaines d'activité, est à mener pour optimiser le ciblage.

L'analyse par corps montre que la majorité des acteurs de l'analyse de gaz ayant répondu à l'enquête appartient au cadre A (70%). Ces chiffres seront confirmés dans les bilans post-école (cf. 5.1).

En outre, les résultats de cette enquête préalable nous ont permis de confirmer l'intérêt d'une école technique dédiée à l'analyse des gaz et de dégager des orientations.

Tableau 2. *Nombre de réponses par Département*

Département	ALIMH	CEPIA	EA	EFPA	MICA	PHASE	TOTAL
Nombre de réponses	1	6	15	2	1	2	27

Tableau 3. *Nombre de réponses par corps*

Corps	TR	AI	IE - IR	CR	Total
Nombre d'agents	8	6	11	2	27

L'ensemble de ces chiffres est tiré du dépouillement de l'enquête réalisé par la FPN (P. Manzano et F. Malipier).

1.2. Le comité d'organisation

Un comité d'organisation a été constitué pour affiner le projet, faire des propositions, et construire un programme. Ce comité d'organisation est constitué de membres de la Formation Permanente Nationale et de la Délégation à la qualité (**Tableau 4**), et de membres dont l'activité principale concerne l'analyse des gaz (**Tableau 5**), en visant à couvrir les principaux champs d'application de l'analyse des gaz à l'Inra, chaque domaine comportant ses spécificités techniques.

Tableau 4. Membres du comité d'organisation appartenant aux services d'appui

FPN	Frédérique MALIPIER (écoles 2009 et 2011) Patricia MANZANO (2009) Inès MARANON (2011)
Délégation à la qualité	Christophe GARIN (2009, 2011)

Tableau 5. Membres du comité d'organisation impliqués dans l'analyse des gaz

Domaine d'application	NOM (session d'intervention)	Département, Centre
Gaz dans le sol et à la surface de sol nu	Dalila MOHRATH (2009,2011)	EA, Avignon
Gaz émis à la surface du sol	Patricia LAVILLE (2009)	EA, Versailles-Grignon
Flux de gaz en prairie	Robert FALCIMAGNE (2009, 2011)	EFPA, Clermont-Theix
Gaz émis au dessus des couverts végétaux	Jean-Marc BONNEFOND (2009, 2011)	EA, Bordeaux
Gaz émis par l'homme	Christophe MONTAURIER (2009, 2011)	Alim-H, Clermont-Theix
Composés volatils	Patrick MIELLE (2011)	CEPIA, Dijon

1.3. Le soutien des Départements

Ce projet fédérant des agents de nombreux Départements nécessitait un appui de ceux-ci. Nous les avons sollicités, et cinq Départements sur les 11 sollicités ont répondu favorablement à la réalisation de ce projet et ont estimé important que les personnes spécialistes de la mesure des gaz à l'Inra puissent se rencontrer et initier la création d'un réseau. Deux Départements ont soutenu les deux sessions (2009 et 2011). De plus, cette action ayant eu lieu sur la région PACA, le Centre Inra PACA a aussi soutenu cette école (**Tableau 6**).

Tableau 6. Soutien des Départements

Départements	Session(s) soutenue(s)
ALIMentation Humaine	2011
Caractérisation et Élaboration des Produits Issus de l'Agriculture	2009
Environnement et Agronomie	2009, 2011
Ecologie des Forêts, Prairies et milieux Aquatiques	2009, 2011
PHysiologie Animale et Système d'Élevage	2011
Centre Inra PACA	2011

1.4. Les réunions préparatoires

Les réunions préparatoires à la réalisation de ces écoles ont permis de réfléchir aux applications et besoins et ont confirmé que l'analyse des gaz dans les projets de recherche à l'Inra recouvre une grande variabilité. Elle concerne :

- les espèces gazeuses à analyser (O₂, CO₂, N₂, N₂O, NO, CO, CH₄, H₂, H₂S, Kr, Ar,...) ;
- les gammes de concentration visées pour une même espèce (ex: CO₂: 0 à 5 % dans le sol / 0 à 2000 ppm dans l'atmosphère) ;
- les méthodes de prélèvement et d'injection ;
- les types d'analyseurs (chromatographie, spectrométrie ...) ;
- les types de détecteurs pour un même analyseur ;
- les précautions inhérentes au milieu et/ou à l'analyseur ;
- et lieux de prélèvement (biosphère : sous-sol, sol, racine, feuille, atmosphère, eau (gaz dissouts) ; atmosphères « contrôlées » : serre, chambre respiratoire, local animalier, incubateur, cellophane, fermenteur).

Cette grande variabilité de techniques et d'applications requièrent une technicité importante et spécifique dans chacun des domaines.

De plus, l'analyse des gaz connaît des actualisations de ses méthodes et de ses techniques, au rythme, notamment, de l'évolution des technologies (spectroscopie à diode laser quantique et spectroscopie photo-acoustique ...) dont il faut tenir compte.

2. Contexte et enjeux

Dans la configuration actuelle de la répartition des compétences en analyse des gaz au sein de l'Inra, et au vu du constat de pluralité des domaines concernés par l'analyse des gaz, il apparaissait nécessaire d'identifier ces compétences, d'initier un fonctionnement en réseau thématique de partage des savoir-faire. L'école des techniques sur l'analyse des gaz répond donc à un double besoin :

- partager l'état de l'art : reprendre les bases pour harmoniser les connaissances et donner du sens à la mesure ; faire un tour d'horizon des techniques d'analyses existantes et de leurs principes respectifs,

Mohrath et al.

- mutualiser les savoirs et les pratiques au sein d'un réseau où les agents ont des problématiques communes.

Un des enjeux importants des mesures étant de pouvoir comparer les résultats, il apparaissait opportun d'aborder des comparaisons d'analyses entre laboratoires Inra (voire hors Inra) par les biais :

- de l'harmonisation des méthodes de mesure,
- de l'acquisition et l'affichage d'une approche métrologique des mesures de concentration des gaz,
- de la formation aux bonnes pratiques d'utilisation des « gaz étalons ».

Et tout cela, en référence aux normes en vigueur.

Un des objectifs des ces apports pédagogiques était d'obtenir une homogénéité du niveau de connaissances des participants.

Enfin, au vue de la pluralité des domaines mise en évidence et du temps nécessaire pour traiter chacun d'eux, des choix ont été faits sur la base des résultats de l'enquête préalable : le contenu des sessions pédagogiques s'est donc focalisé sur deux techniques de dosage des gaz (chromatographie en phase gazeuse et spectrométrie par Infrarouge), et sur les deux espèces gazeuses les plus dosées : O₂ et CO₂.

Cette école des techniques sur l'analyse des gaz devait enfin prendre en compte la diversité du public, composé de mesureurs physiques et physico-chimiques, mais aussi de décideurs et de toute personne concernée par l'analyse des gaz (du technicien au directeur de recherche).

3. Objectifs pédagogiques et attendus

L'école des techniques « Analyse des gaz » a été conçue pour permettre aux participants de se rencontrer, de se former, de s'informer, d'échanger et de partager. Afin d'atteindre ces objectifs, elle s'est articulée autour de différentes séquences :

- les enjeux actuels de l'analyse des gaz, pour situer l'analyse des gaz dans le contexte général et à l'Inra,
- des apports théoriques, pour acquérir et partager des bases communes sur :
 - i- l'analyse des gaz (lois des gaz, propriétés, unités et conversions, techniques/gaz, principes des appareils...),
 - ii- la métrologie et l'analyse des gaz dans la recherche (caractérisation, incertitude, définitions, normes en vigueur),
- des ateliers pratiques sur appareils d'analyse pour relier la théorie à la pratique,
- des interventions et des témoignages sur des applications en recherche, au sein de l'Inra et hors Inra, pour des apports pragmatiques, une information sur les travaux en cours et l'ouverture vers d'éventuelles collaborations.

4. Le contenu et les apports de la formation

Afin de respecter les conditions d'efficacité d'une action de formation, et de conserver une dimension humaine de l'évènement, le nombre de participants a été volontairement limité à 40. C'est pourquoi nous avons organisé deux écoles, pour répondre au besoin de l'ensemble des participants (70 environ).

La première école a eu lieu sur 3 jours, du 22 au 25 septembre 2009. Pour tenir compte des retours à froid des participants de la première session, reprochant la densité du contenu et le manque de temps pour pouvoir échanger, nous avons été amenés à adapter la durée de l'école en rajoutant une journée, ce qui a permis d'avoir plus de souplesse dans une école au contenu dense. Nous avons donc organisé la seconde école sur 4 jours, du 12 au 16 septembre 2011.

Ces deux écoles se sont déroulées en résidentiel pour favoriser les échanges et la dynamique de groupe, à Arles, du fait de la proximité des locaux de l'IRA (Institut de Régulation et d'Automation, qui intervient en formation et expertise ainsi qu'en recherche et développement) où ont eu lieu les travaux pratiques.

Nous avons proposé des sessions de formation théorique et pratique afin de relier les deux.

4.1. Les apports théoriques

Tout d'abord, la théorie sur l'analyse des gaz a permis d'apporter les connaissances pour mettre au même niveau les participants. La formation a porté sur les concepts et les méthodes de mesure des gaz en reprenant le vocabulaire et les notions de base (lois des gaz, propriétés, unités et conversions) ainsi que les principes des analyseurs de gaz. Cette session a été assurée par J.L. Cécile et H. Boulet de l'IRA d'Arles.



Formation théorique en séance plénière

Ensuite, la formation à la métrologie des gaz dans la recherche a permis de définir les termes spécifiques à cette discipline en lien avec les normes actuelles dans le domaine de l'analyse des gaz, et d'approcher par le calcul l'estimation des incertitudes de mesure. Cette session a été assurée par D. Benhamou du CT2M. Elle s'est déroulée en petits groupes afin de pouvoir réaliser et corriger les TD.

Cette séquence a permis de rentrer de plain pied dans le vocabulaire spécifique dédié à la métrologie et d'aborder les notions qui déterminent la qualité d'une mesure. Cette approche

a été très appréciée par les participants, car elle a permis d'explicitier plus concrètement l'estimation d'incertitude. Cependant, les participants ont souhaité avoir à l'avenir, une approche plus approfondie et plus axée sur leurs systèmes de mesures respectifs plutôt que sur un cas virtuel. Ce souhait rejoint une demande récurrente qui concerne la difficulté à mettre en application l'estimation d'incertitude sur les situations concrètes au laboratoire (chaîne de mesure complexe, prototype, ...). La table ronde intitulée « métrologie : du rêve à la réalité » a permis aux participants de traiter, entre autres, de cette problématique (cf. 4.4.3.).

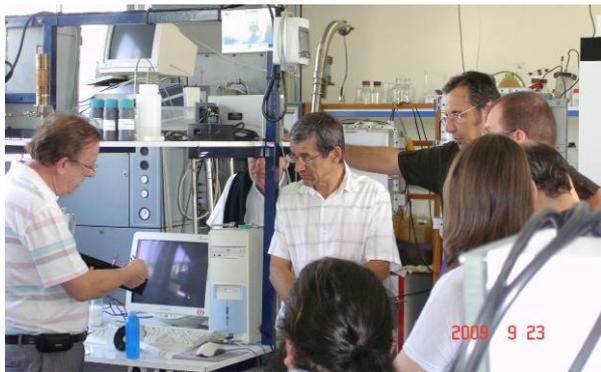


Formation théorique en métrologie et TD en petit groupe

4.2. Les travaux pratiques

La formation pratique, quant à elle, s'est déroulée dans les locaux de l'IRA, Institut de Régulation et d'Automation, qui œuvre dans la formation depuis plus de 40 ans. L'IRA possède des laboratoires et des analyseurs dédiés à ce genre de formations. Celles-ci sont programmées tout au long de l'année et s'adressent aussi bien à des sociétés privées qu'à des organismes publics. Afin de permettre une participation et une formation optimale autour de l'instrument de mesure, les travaux pratiques se sont déroulés en sous-groupes. Une dizaine de personnes a pu ainsi se consacrer à la chromatographie en phase gazeuse et ensuite à la spectrométrie par infrarouge. Ces travaux pratiques ont été assurés par H. Boulet et J.-C. Groussin de l'IRA d'Arles. Le retour de ces ateliers a été très positif dans le sens où les participants sont très en demande de pratique. Cependant, malgré une organisation en sous-groupes (10 personnes), celle-ci ne leur a pas permis de manipuler les appareils autant qu'ils l'auraient souhaité. Ceci nécessite donc la mise en place à l'avenir de formations sous un autre format, où un appareil de mesure serait dédié à un binome par exemple.

Un complément a néanmoins été apporté au travers d'échanges très concrets sur les pratiques respectives des participants lors de la table ronde traitant des « Contraintes environnementales et influences sur la mesure » (cf. 4.4.2.).



Travaux pratiques sur appareils de mesure à l'IRA d'Arles

La formation pratique a été complétée par une réflexion sur la problématique de la qualité de l'échantillonnage et des prélèvements. Elle a été illustrée par une application à l'analyse des composés olfactifs (P. Mielle, Inra Dijon).



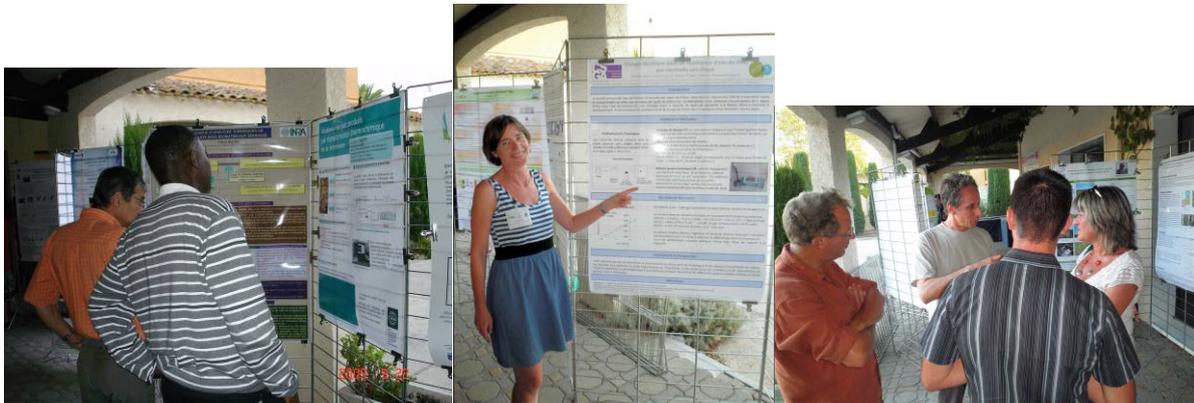
4.3. Les apports d'informations scientifiques et techniques

De nombreux participants étaient en demande d'informations de plusieurs ordres, et nous avons pu leur proposer durant cette école technique un panel assez vaste et complet pour enrichir leurs connaissances dans différents domaines. Pour cela nous avons fait appel aux participants eux-mêmes et aux organisateurs, et ce, dans un double objectif : trouver la compétence auprès des acteurs eux-mêmes et valoriser leur expertise auprès des collègues. Pour les domaines manquants, nous avons fait appel à des intervenants extérieurs.

4.3.1. Thématiques scientifiques

Les participants à l'école technique ont donc pu s'informer sur les thématiques scientifiques utilisant l'analyse des gaz à l'Inra, ainsi que sur les techniques de mesure employées et mises en œuvre. Ceci a été illustré au travers des séances posters, car chaque participant était invité à venir présenter son travail sur l'analyse des gaz et partager son expertise avec les autres. Cette information a été complétée par des témoignages d'applications à l'Inra, en séance plénière :

- pourquoi l'analyse des gaz à l'Inra ? (J.M. Bonnefond et P. Laville) ;
- analyse des gaz en milieux liquides (G. Vilain, Paris) ;
- analyse des gaz près des racines des plantes (J.J. Drevon, Montpellier) ;
- analyse des gaz au-dessus des couverts végétaux (J.M. Bonnefond, Bordeaux) ;
- analyse des gaz dans les bâtiments d'élevage (M. Hassouna, Rennes) ;
- analyse des gaz dans les digesteurs (C. Dumas, Narbonne) ;
- analyse des gaz dans les chambres calorimétriques (C. Montaurier, Clermont Ferrand).



Séances Posters

4.3.2. Innovation et recherche

Les participants ont pu s'informer sur les innovations et les nouvelles technologies en matière d'analyse de gaz au travers de deux exposés et lors de discussions avec les intervenants extérieurs. Ceux-ci ont d'ailleurs souhaité participer à l'école technique dans son ensemble, afin de mieux connaître l'Inra et envisager de futures collaborations :

- présentation de l'ECOTRON et de ses applications ouvertes à l'extérieur (O. Ravel et C. Piel, CNRS Montpellier)
- présentation de la technologie du spectromètre à diode laser quantique récemment développée et disponible à la vente, avec une application à la mesure d'émission de méthane sur un sol composté (projet ANR Cleanwast D. Mohrath, Inra Avignon) (L. Joly, CNRS Reims).

4.3.3. Mesures en réseau

Les participants ont pu avoir un aperçu détaillé de l'organisation d'analyses de gaz en réseau, au travers de l'exposé sur le Réseau régional de mesure de la qualité de l'air en PACA (A. Bernabeu, Airfobep PACA).

4.3.4. Marché actuel

Les participants ont eu l'opportunité de s'informer directement auprès des fournisseurs et des industriels de l'état du marché dans l'analyse des gaz et des produits commerciaux connexes. En effet, la présence de technico-commerciaux de 3 entreprises du domaine de l'analyse de gaz étaient présents et ont animé des stands industriels, avec démonstration de matériel :

- Messer (gaz vecteurs et gaz étalons) ;
- M&C TechGroup (technologie de prélèvement et conditionnement de gaz) ;
- TSI (équipements de contrôle et d'analyse environnementaux).
-

4.4. Le partage et les échanges

Le partage et les échanges d'expérience se sont déroulés tout au long du séminaire par des discussions informelles, par intérêt et affinité technique, mais aussi de façon organisée autour de tables rondes sur certains thèmes choisis par le comité d'organisation. Ces tables rondes ont été organisées en sous-groupes (12 personnes environ) pour favoriser l'expression de chacun et l'échange.

4.4.1. Table ronde « Cartographie multicritère » (deuxième session de l'école seulement)

Le principe de cette cartographie était une représentation visuelle des techniques utilisées par chacun des participants, associée à un niveau d'expertise globale de la personne. Une fois la représentation visuelle achevée, des groupes se sont formés spontanément sur la base des informations de la cartographie : soit par méthodes d'analyse, soit par gaz ou par lieu de prélèvement.

Les résultats ont été présentés lors de la réunion de débriefing avec la Formation Permanente et la Délégation à la qualité, et à cette occasion le tableau récapitulatif a été présenté à l'aide d'une analyse en composantes principales, plus aisément interprétable, à laquelle ont été intégrés des nuages de mots-clés (tag cloud), de taille proportionnelle à l'importance du paramètre exprimé (nombre d'utilisateurs, nature du gaz, gamme de concentrations, lieu de prélèvement, ...).

Les principaux composés suivis ont été mis en évidence : gaz carbonique, vapeur d'eau et méthane, arrivant loin devant les autres gaz, y compris sulfurés et composés volatils. La gamme la plus couramment utilisée est le ppm (partie par million), bien que toutes les gammes soient utilisées, du pourcent au ppb (partie par milliard).

Le type d'analyseurs (*in situ*, ou au laboratoire) le plus utilisé est l'absorption infrarouge, suivi par la chromatographie en phase gazeuse (GC), les autres techniques étant moins usitées (spectromètre laser, spectromètre de masse, chimiluminescence, analyseur paramagnétique). Quant au milieu dans lequel s'effectue le prélèvement, on retrouve une grande diversité, allant du sol à la plante, l'atmosphère, et un peu l'animal (incluant l'humain), l'interface sol - air, l'aliment et le digesteur - fermenteur. On voit donc la complexité de synthétiser tous ces paramètres, d'où l'intérêt d'une représentation visuelle facilement interprétable. Il serait utile que ce concept continue d'être développé, avec une consolidation des données de l'ensemble des participants aux deux écoles. Ceci irait dans le sens de l'actualisation des savoirs et savoir-faire techniques dans chaque domaine d'application.

Les données pourraient encore être affinées, par exemple en détaillant les relations et liens entre les différents domaines identifiés, comme la nature du gaz et sa gamme de concentrations, les techniques d'analyse et la gamme de concentrations. Enfin, des métadonnées pourraient être insérées à cette base et mises à la disposition de la communauté par un interfaçage avec un outil collaboratif comme Silverpeas.



Séance de cartographie thématique

Chaque acteur de la mesure de gaz est conscient de l'influence de tous ces paramètres, et aucun n'était démuné vis à vis des solutions à apporter. Les idées échangées ont renforcé la volonté d'améliorer un peu plus ces réponses, notamment par le partage de l'expertise de chacun dans son domaine. Les discussions et les échanges d'adresses se sont poursuivis hors table ronde en ce sens.

4.4.3. Table ronde « Métrologie : du rêve à la réalité »

Cette table ronde a été animée par R. Falcimagne (Inra), N. Bouillon et D. Benhamou (CT2M).

Comment traduire en actes concrets et efficaces les apports théoriques diffusés lors des réunions ou stages « Qualité » en général et « Métrologie » en particulier ?

En matière d'analyse de gaz, tout commence, ou plutôt devrait commencer, par la mise en œuvre de contrôles métrologiques à la réception d'équipements neufs afin de vérifier les dires et certificats émis par les fournisseurs.

Sur les différents Centres, les dispositions relatives à la métrologie des balances et des pipettes sont maintenant bien en place et connues de la majorité des utilisateurs. Ce n'est pas le cas pour ce qui a trait à l'analyse de gaz car ceci demande du matériel très spécifique (pour les contrôles des débits par exemple) qui est coûteux et difficile à utiliser.

De nombreuses questions se posent sur ces aspects métrologiques et les difficultés rencontrées sont nombreuses. Parmi ces difficultés, les participants ont souhaité mettre l'accent sur les aspects liés aux étalonnages. Il a été abordé la durée de vie des étalons, leurs conditions de stockage ainsi que la fréquence de ces étalonnages.

Pour ce qui est de la durée de vie des étalons, la validité des certificats d'étalonnage est en général de un an mais il semble possible d'obtenir des validités de deux voire trois ans.

En ce qui concerne le stockage des gaz étalons, les règles classiques de sécurité appliquées aux gaz industriels restent, bien évidemment, valables mais il convient de les manipuler régulièrement afin d'éviter une stratification dans les emballages et conserver les proportions de mélange mentionnées sur le certificat initial.

Le débat sur la fréquence des étalonnages a été particulièrement nourri. Il a été souligné la nécessité de prendre en compte la criticité de la mesure dans le processus étudié, l'écart maximal toléré (EMT) ainsi que la dérive observée des appareils qui peuvent modifier la fréquence définie au départ. Il a également été souligné la nécessité d'intégrer les coûts liés à la fourniture de ces mélanges étalons dans les budgets prévisionnels lors du montage des projets de recherche.

Pour terminer, il a été évoqué la question de la mutualisation et du partage des étalons ce qui a semblé difficile à mettre en œuvre à l'ensemble des participants, compte tenu de la grande diversité des gaz mesurés comme des gammes de concentrations visées.

4.4.4. Table ronde « Création d'un réseau d'utilisateurs et comparaisons inter-laboratoires »

Cette table ronde a été animée par J.M. Bonnefond et D. Mohrath (Inra).

La mise en place des écoles techniques " Analyse des Gaz " a montré que bien souvent les personnels sont isolés dans leur laboratoire et confrontés à des problèmes de méthode ou de métrologie auxquels ils doivent répondre seuls. Mais elle a aussi mis en évidence que beaucoup de personnes travaillent avec les mêmes analyseurs, sur les mêmes gaz et utilisent les mêmes techniques. La création d'un réseau d'utilisateurs d'analyseurs de gaz semble donc répondre à un besoin clairement exprimé par les participants afin d'apporter une plus-value pour la qualité de la mesure à l'Inra. Toutefois, même si les participants pourraient y trouver de grands intérêts (partage et discussion de protocoles, entraide, conseils, démarche métrologique, formation, gaz étalons à mettre à disposition, liste des fournisseurs et des laboratoires accrédités COFRAC, etc.), un réseau unique et général « analyse des gaz » ne semblerait pas répondre totalement à leurs attentes.

Alors, qu'elle doit être la forme de ce réseau ? Comment faire pour qu'il soit réellement viable et efficace ?

Des retours d'expérience montrent que des réseaux d'utilisateurs et de comparaisons interlaboratoires existent et fonctionnent avec succès. Ils sont de formes variables : locaux et de taille réduite (comme à Dijon), ou globaux et de plus grande taille mais contractualisés au sein de programmes de recherche internationaux (par exemple le réseau gaz étalon CarboEurope IP). La taille du réseau ne semble donc pas être un facteur de réussite. Les réseaux qui fonctionnent ont la caractéristique commune de ne regrouper que des personnes utilisant les mêmes techniques et/ou analysant les mêmes gaz. D'autre part, une des raisons de leur succès et de leur viabilité semble être qu'ils sont animés par des comités structurés, reconnus et soutenus et ne reposent donc pas uniquement sur la volonté et la motivation de quelques uns à les faire fonctionner.

Pour assurer au réseau Inra "Analyse des gaz" un réel succès, il faut donc tirer parti de ces diverses expériences. La forme adéquate qui se dégage serait une animation généraliste de ce grand réseau par un comité identifié, pour traiter en particulier des aspects communs de formation, de métrologie, combinée à des actions plus ciblées à géométrie variable selon le besoin (thématique, gaz, appareils de mesure, etc.), pour répondre, au plus près, aux attentes des utilisateurs et suivre l'actualité aussi bien technique et scientifique que réglementaire.

5. Bilan

Ce bilan est issu des analyses des évaluations à froid réalisées quelques mois après chaque école, et organisées par la FPN. Ces analyses ont été transmises à chacun des Départements qui ont soutenu financièrement cette action. En moyenne, 75% des participants des deux écoles ont répondu au questionnaire d'évaluation.

5.1. Le profil des participants

Au total, 67 agents ont pu bénéficier de l'ensemble de la formation prodiguée lors de ces écoles techniques sur l'analyse des gaz. 50% de ces agents sont issus du département Environnement et Agronomie (**Tableau 7**), ce qui confirme la tendance de l'enquête préalable.

Tableau 7. Nombre de participants selon les Départements

DEPARTEMENT	GA	ALIMH	CEPIA	EA	EFPA	PHASE	SPE	MICA	HORS INRA	TOTAL
2009	1	0	6	19	2	3	0	1	6	38
2011	1	2	1	13	5	3	1	0	3	29
TOTAL	2	2	7	32	7	6	1	1	9	67
Pourcentage	3%	3%	10,5%	48%	10%	9%	1,5%	1,5%	13,5%	100%

Cette action de formation a été ouverte aux autres EPST, tout en privilégiant les candidatures des agents Inra. 13,5 % des participants proviennent d'autres EPST, et pour la majorité d'entre eux, d'UMR auxquelles l'Inra est partenaire (**Tableau 8**).

Tableau 8. Participants hors Inra

ANNEE	IRD	uB-Filiale Welience	CNRS	CIRAD	IRSTEA (ex CEMAGREF)	TOTAL
2009	1	0	2	1	2	6
2011	1	1	1	0	0	3
TOTAL	2	1	3	1	2	9

La répartition par corps des participants est majoritairement représentée par le cadre A à 68% (**Tableau 9**).

Tableau 9. Répartition selon le corps

CORPS	ADJ	TR	AI	IE+IR	CR+DR	Doc+post Doc	Total
2009	1	10	9	12	3	3	38
2011	1	9	6	6	5	2	28
TOTAL	2	19	15	18	8	5	67
Pourcentage	3%	28%	22,5%	27%	12%	7,5%	100%

5.2. Le bilan qualitatif

L'école des techniques sur l'analyse des gaz avait pour objectifs de permettre aux participants de :

- se former aux concepts et méthodes de mesure des gaz ;
- s'informer sur les innovations, nouvelles technologies et les appareils dans le domaine de la mesure des gaz ;
- créer un réseau donnant lieu à des échanges, de l'entraide et des collaborations internes à l'Inra, ainsi qu'en externe ;
- partager les méthodes de travail et l'expertise.

5.2.1. Perception générale

La perception générale de ces écoles est très positive. Le contenu proposé a répondu aux attentes et aux besoins de 90% des personnes ayant répondu à l'enquête (7% ne se sont pas retrouvés dans le contenu proposé et 3% ne se prononcent pas).

Pour les agents satisfaits, cette école a même été au delà de leurs espérances comme ils l'expriment au travers de leurs réponses aux autres interrogations du questionnaire : *«Très intéressant, enrichissant, instructif. A donné de bonnes bases sur les techniques de mesure des gaz, notamment en CPG. Et a permis de voir et d'échanger sur ce qui se fait ailleurs (autres Unités et Départements Inra) dans le domaine...»*

Ce taux exceptionnel de 90% de satisfaits traduit vraiment la qualité de cette formation et son intérêt, en particulier pour les personnes qui débutaient dans la mesure des gaz.

5.2.2. Points positifs

Cette école a clairement atteint ses objectifs, grâce notamment :

- aux qualités des intervenants CT2M et IRA pour les apports théoriques et pratiques sur la mesure des gaz et la métrologie associée, dont la performance a été unanimement reconnue (*« intervention hors pair ! »*) ;
- à l'implication de spécialistes Inra et CNRS sur les pratiques actuelles, les applications et les innovations dans ce domaine ;
- l'analyse de *« cas concrets permettant de mieux cerner les problèmes liés à la mesure »* ;
- la qualité des échanges entre toutes les personnes présentes (participants, intervenants, organisateurs) ;
- la diversité des méthodes pédagogiques a aussi été appréciée ainsi que l'organisation de l'école technique : *« Journées très chargées, mais bravo pour l'organisation vraiment formidable et le contenu très riche »*.

Les principaux bénéfices de cette école sont (i) l'acquisition de connaissances théoriques sur l'analyse des gaz et la métrologie associée, (ii) la mise en application de problématiques liées à l'instrumentation, (iii) l'identification des personnes ressources et surtout (iv) l'émergence de collaborations interDépartements et interInstituts.

5.2.3. Les mises en application suite à l'école

Suite aux écoles, les participants déclarent avoir ou souhaiter :

- acheter un nouvel appareil (micro GC, diluteur massique, CPG...);
- développer les aspects métrologiques, améliorer les étalonnages des appareils ;
- développer de nouvelles analyses (sur O₂, CO₂, H₂...);
- développer les comparaisons interlaboratoires ;
- créer un réseau interorganismes sur l'analyse des gaz par CPG.

5.2.4. Les pistes d'améliorations

L'évaluation à chaud par les participants de la première école organisée a fait ressortir deux remarques) qui concernent la question du temps et du planning de cette école :

- le rythme de l'école, trop soutenu, qui devrait laisser plus de place aux échanges,
- et un regret sur la cartographie des acteurs qui n'a pas été faite lors de la première école, par manque de temps.

Ces deux points ont été pris en compte lors de la 2^e école qui a été rallongée d'une journée.

Un autre point concerne la pratique sur appareils : la majorité des participants aurait aimé avoir plus de temps pour les ateliers sur les appareils. Ce point exprime un fort besoin de formation très pratique. Il est directement lié à la réalisation de leur métier au quotidien et est une suite logique des apports théoriques dispensés lors de ces écoles.

6. Conclusion et perspectives

L'école des techniques sur l'analyse des gaz s'est déroulée en deux sessions afin de permettre à presque 70 agents concernés de se rencontrer et de se former. Elle devrait concerner davantage d'agents car la majorité des participants estime que cette école pourrait intéresser des personnes qui travaillent dans leur laboratoire et qui n'ont pu s'y inscrire. Il faut aussi ajouter les personnes qui n'ont pas reçu l'information car absentes des listes de diffusion, ainsi que celles concernées par l'analyse de gaz mais qui ne se sont pas inscrites du fait du contenu pas en adéquation avec leurs techniques (spectrométrie de masse, ...).

Cette action a répondu à un besoin fort exprimé lors de l'enquête préalable mais aussi lors de l'enquête *a posteriori*. Ce qui traduit un réel besoin d'améliorer sa pratique en continu et d'être en phase avec la politique Qualité de l'Inra, en particulier pour l'objectif de fiabilité des résultats mesurables.

Cette action a eu un impact très positif auprès des participants, et notamment auprès des agents hors Inra, qui témoignent d'une absence d'animation scientifique et technique de ce format organisé par leur structure.

Cette action mérite d'être poursuivie et prolongée par des actions spécifiques. En effet, la majorité des participants se déclarent intéressés par une reconduction de l'école technique sur l'analyse des gaz, avec un contenu d'un niveau plus avancé (perfectionnement sur une technique d'analyse spécifique), ou qui traite de thèmes non déjà abordés comme les COV, les spectromètres de masse, ... Une action complémentaire a d'ores et déjà été réalisée en réponse à une demande récurrente sur la difficulté à mettre en application l'estimation

d'incertitudes sur les situations concrètes au laboratoire (chaines de mesure complexes, prototypes, ...). Une formation sur l'estimation des incertitudes de mesures sur l'analyse des gaz, intégrant une mise en application aux dispositifs propres à l'Inra a été organisée début 2011 sur le centre Inra-PACA, soutenue par la FPN et la Délégation à la qualité. Cette formation devrait se reproduire à l'avenir dans d'autres centres Inra, intégrée au programme de formation soutenu par la Délégation à la qualité.

Enfin, l'animation du réseau des analyseurs de gaz est à organiser. Elle répond à une forte demande des participants des deux écoles et doit être soutenue. Cette communauté de pratiques pourra se démultiplier en « sous-réseaux » plus spécifiques au vue de la diversité du domaine afin de répondre, au plus près, aux attentes des utilisateurs. Quelle qu'en soit la géométrie, ce réseau permettra de conforter l'excellence des travaux, avec l'apport de la démarche qualité à l'Inra, et en mettant en place des comparaisons interlaboratoires.