



INSTITUT NATIONAL DE L'ENVIRONNEMENT INDUSTRIEL ET DES RISQUES

Synthèse des travaux 2002 de l'INERIS

*Laboratoire Central de Surveillance de la
Qualité de l'Air*

Martine RAMEL

Direction des Risques Chroniques

mai 2003

TABLE DES MATIERES

1. ETUDE DES PERFORMANCES DES INSTRUMENTS DE MESURE.....	2
2. ETUDE DES INSTRUMENTS DE NOUVELLES GENERATIONS	3
3. MISSION PERMANENTE D'APPUI TECHNIQUE AUX POUVOIRS PUBLICS ET AUX AASQA.....	5
4. HARMONISATION DES METHODES DE MESURE DE COMPOSES SPECIFIQUES	8
5. ETUDE DES EXPOSITIONS	14
6. TRAVAUX INFORMATIQUES	14
7. MODELISATION.....	16

SYNTHESE DES TRAVAUX LCSQA 2002 DE L'INERIS

Le programme LCSQA 2002 de l'INERIS, mené en étroite collaboration avec l'EMD et le LNE, s'inscrit dans la poursuite des actions entreprises au cours des années précédentes, avec comme principaux objectifs d'une part d'apporter une assistance directe aux AASQA et de fournir des documents de synthèse et de préconisations techniques à leur intention, et d'autre part d'assurer des travaux de soutien et d'accompagnement aux pouvoirs publics (MEDD et ADEME) nécessaires à la mise en œuvre et à l'application des Directives européennes de surveillance de la qualité de l'air sur le territoire national.

Ainsi, les travaux en 2002 au sein du Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air se sont articulés autour des principales thématiques avec un équilibre entre une activité d'appui direct aux associations de surveillance, et une activité plus prospective concernant les nouveaux instruments et les nouveaux polluants.

Des efforts importants ont été initiés et seront poursuivis pour assurer le transfert des acquis auprès des associations : guides méthodologiques DOAS et modélisation, protocole de mesure des HAP, site WEB, bases de données.

1. ETUDE DES PERFORMANCES DES INSTRUMENTS DE MESURE

En 2002, l'évaluation de deux analyseurs d'ammoniac, commercialisés par Environnement S.A. (AC32M-NH₃) et Mégatec (TEI 17C) a été terminée et diffusée. En l'absence de référentiel spécifique pour l'ammoniac, on a comparé les résultats obtenus avec les spécifications des analyseurs d'oxydes d'azote. Ces dernières sont largement respectées, à l'exception du temps de réponse de l'appareil AC32M-NH₃ lié au fonctionnement du four de conversion NH₃ ⇒ NO.

Depuis début 2002, les travaux d'évaluation sont réalisés sur la base du nouveau référentiel proposé au niveau européen (WG 12 du TC 264 du CEN), et incluent, en particulier des tests sur site, et les calculs d'incertitudes permettant de répondre aux nouvelles exigences communautaires.

Face à une forte demande des AASQA, concernant la mesure des oxydes d'azote (commercialisation d'appareils de nouvelles générations), quatre analyseurs d'oxydes d'azote ont été étudiés en 2002 : Megatec (TEI 42C), Environnement S.A (AC32M), SERES (2000G2), Envitec (API 200A). Les essais en laboratoire sont terminés et en cours d'exploitation, les tests sur site ont démarré début 2003.

Des essais de pré-évaluation de l'analyseur automatique des BTX par spectrophotométrie UV, développé par l'Ecole de Mines de St Etienne et commercialisé par SERES (SERES BTX 2000G), ont été effectués, en laboratoire, en complément aux tests sur site réalisés par l'EMD. Ces essais ont porté sur le seuil de détection et la linéarité de l'appareil. Compte tenu des résultats relativement décevants pour une utilisation en réseau de surveillance de l'air ambiant (seuil de détection de l'ordre de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le benzène et d'environ $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour toluène et xylène), les essais complets d'évaluation sont actuellement différés, en accord avec le MEDD et l'ADEME.

Par ailleurs, un bilan des essais de réception réalisés par les AASQA depuis plusieurs années s'est traduit par l'élaboration de nouvelles recommandations métrologiques pour ces contrôles, dans le cadre des projets actuels des futures normes européennes.

Enfin, suite à des difficultés rencontrées en réseau, des essais de comportement des analyseurs d'oxydes d'azote lors des régimes transitoires ont été effectués sur un appareil AIPARIF. Ces problèmes, identifiés lors des essais d'évaluation antérieures, conduisaient à surestimer les concentrations en NO_2 . Les améliorations apportées par le constructeur, sur le site de mesure, entraînaient un écrêtement des réponses. Différentes configurations d'électroniques ayant pu être testées sur banc d'essai, une solution satisfaisante a pu être apportée.

Les difficultés rencontrées à l'occasion de cette opération, montrent, par ailleurs, que la crédibilité du système d'évaluation ne peut être assurée qu'avec une traçabilité de la totalité des modifications effectuées par les constructeurs après les évaluations.

2. ETUDE DES INSTRUMENTS DE NOUVELLES GENERATIONS

Turbomatrix

Plusieurs AASQA se sont équipées récemment de chaînes d'analyse de composés organiques volatils (COV toxiques et/ou précurseurs d'ozone) « Perkin Elmer », qui comprennent un préconcentrateur-thermodésorbiteur automatique et un passeur de tubes d'adsorbants, suivis d'un chromatographe en phase gazeuse à colonnes capillaires et détecteurs FID, ECD ou spectromètre de masse.

Le préconcentrateur est également capable de réaliser des prélèvements en direct ou mode on-line. Ce mode de fonctionnement a été largement étudié et validé par l'Ecole des Mines de Douai. En revanche, le mode désorption de tubes, sur cette nouvelle configuration, n'ayant pas fait l'objet d'évaluation, une étude de la récupération des composés organiques volatils piégés sur tube a été réalisée, en prenant le fonctionnement en mode on-line comme référence. Nous avons travaillé, dans un premier temps, avec un appareil prêté par la société Perkin Elmer, sur un mélange gazeux comprenant 34 COV entre 2 et 10 atomes de carbone, dans une gamme de concentrations individuelles allant de 1,3 à 10 ppbv. La répétabilité et la linéarité ont été examinées en mode on-line et sur des prélèvements sur tubes. Ces résultats nous ont donné accès aux taux de récupération des différents composés sur les tubes, par rapport au mode on-line.

Les répétabilités, qu'il s'agisse des temps de rétention ou des surfaces des pics chromatographiques, sont bonnes dans l'ensemble, bien que nous ayons eu à retraiter la majorité des chromatogrammes. En effet, l'attribution automatique des pics par le logiciel ne se faisait pas correctement, malgré des temps de rétention stables et des fenêtres d'intégration élargies. Ce phénomène ne semble pas se reproduire sur le nouvel appareil que nous avons acquis en remplacement de l'appareil prêté.

Les linéarités sont également correctes, mais nous n'avons examiné que 4 concentrations dans un domaine limité (de 1,3 à 10 ppbv).

En revanche, si les répétabilités sont, en général, à peine moins bonnes sur les tubes qu'en mode on-line, la récupération des composés prélevés sur les tubes n'est pas complète. Le calcul des concentrations des prélèvements sur tubes, à partir d'une calibration réalisée en mode on-line, est source d'une erreur de 20 à 30 % pour les composés les plus lourds.

De plus, certains tubes présentent des anomalies au niveau des dimensions, ou du piégeage des composés les plus légers : le contrôle qualité des tubes à réception est donc très important.

DOAS

Les travaux du LCSQA sur les DOAS sont orientés, d'une part vers l'appui technique aux AASQA pour la mise en œuvre et l'utilisation des appareils acquis, et d'autre part vers des études spécifiques en vue de déterminer les potentialités du DOAS pour répondre à des situations particulières (trafic, aéroport...).

Ainsi, en 2002 :

- la réception de l'appareil SANOVA de AIRAQ a donné des résultats très satisfaisants, tant en linéarité, qu'en sensibilité,
- les travaux visant à mettre à disposition des AASQA des moyens de calibrage opérationnels se sont poursuivis et aboutiront courant 2003.
- les deux campagnes prévues en 2002 ont connu un déroulement tardif et feront l'objet de rapports spécifiques au cours du premier semestre 2003 : Etude des variations du trafic routier à l'occasion de la réouverture du tunnel du Mont Blanc et Campagne de mesures en zone aéroportuaire sur l'aéroport de Lyon-Saint Exupéry.

L'INERIS participe activement aux travaux du CEN sur les appareils de mesure à long trajet optique (FTIR, DOAS et LIDAR). Les activités de ce groupe de travail (TC 264 WG 18) sont actuellement focalisées sur les analyseurs FTIR, malgré notre demande. Pour ce qui concerne le calibrage, le GT propose l'utilisation de spectres de référence, ce qui simplifie le travail des opérateurs mais nous paraît très critiquable en terme de qualité de la mesure.

LIDAR

Le LIDAR est reconnu comme outil de recherche pour la compréhension de la qualité de l'air et support de modélisation. Les différents programmes de recherche qui utilisent des données issues de lidars nationaux ou internationaux (ESCOMPTE, PRIMEQUAL, PNCA, 6^e PCRD, ILRC...) en témoignent. L'année 2002 a été consacrée à faire le point sur les différents retours d'expériences en France et à l'étranger et à présenter l'état de la veille scientifique dans ce domaine.

Microcapteurs

Les capteurs de gaz ont connu, ces dernières années, des améliorations de sensibilité qui permettent d'envisager l'emploi de ces technologies pour la mesure de certains polluants atmosphériques. La forte sollicitation des AASQA de la part des fournisseurs, et la demande de nombreuses d'entre elles nous ont encouragé à lancer des travaux sur ce sujet depuis 3 ans, avec comme objectif de déterminer l'apport de cette technologie en tant qu'appareils complémentaires aux analyseurs en continu classiques pour la localisation d'une source ponctuelle de pollution, la recherche d'un nouvel emplacement pour une station fixe ou la mesure de l'exposition des personnes grâce à une multiplication des points de mesure.

A la suite des premiers travaux d'enquête et d'études documentaires, des essais en laboratoire sur les microcapteurs d'ozone qui paraissent les plus avancés ont été réalisés et ont permis d'aboutir, en 2002, à des essais de longue durée sur le terrain (5 mois), en collaboration avec plusieurs AASQA (13 sites d'expérimentation pour 7 AASQA). Globalement les résultats se sont avérés plutôt encourageants en terme de taux de disponibilité et de visualisation de l'évolution des concentrations. Ces essais ont permis de confirmer les qualités intrinsèques des capteurs mis en œuvre en laboratoire, mais aussi d'identifier des difficultés de vieillissement et de calibration qui doivent être approfondies par le fabricant avant d'envisager une étape de commercialisation.

Etudes des interférents sur la mesure d'ozone

Les AASQA sont confrontées, de façon récurrente, à des pics d'ozone mesurés par les analyseurs, inexplicables par les situations photochimiques. Une analyse approfondie de ces épisodes pendant deux ans, couplée à une étude bibliographique a permis d'avancer différentes pistes d'explications : intrusion d'ozone stratosphérique, transport d'ozone formé ailleurs ou photochimie locale très rapide, présence d'un interférent. Le phénomène d'interférence semble sur tous les cas traités le plus fréquent, la cause probable étant soit des particules fines, soit du mercure ou des COV spécifiques, mais toujours en fortes concentrations. On a ainsi pu confirmer que l'invalidation de ces données, surtout lorsque le phénomène est très bref, est raisonnable, mais il convient à chaque fois d'effectuer une étude rapide pour tenter d'attribuer le pic et de rechercher l'éventuel émetteur industriel. A cette fin, nous avons établi un guide méthodologique sous la forme d'une grille d'interprétation.

3. MISSION PERMANENTE D'APPUI TECHNIQUE AUX POUVOIRS PUBLICS ET AUX AASQA

Outil d'intercomparaison

Les directives européennes sur la qualité de l'air ambiant imposent que les mesures soient réalisées avec une incertitude donnée.

Celle-ci dépend en particulier des qualités métrologiques intrinsèques des matériels de mesure, de la qualité des procédures d'étalonnage (apport de la chaîne nationale d'étalonnage), et des conditions de mise en œuvre des matériels sur le site (installation, exploitation).

L'étude présentée ici a eu pour objet de contribuer à apporter des réponses adaptées à ces exigences en étudiant la faisabilité d'exercices de comparaison inter-stations, permettant de déterminer l'incertitude associée aux mesures, par tout acteur du système français de surveillance de la qualité de l'air.

Un état des lieux a permis d'identifier deux démarches complémentaires :

- la détermination globale de l'incertitude par le biais d'une comparaison entre plusieurs intervenants (intercomparaison),
- la détermination des incertitudes individuelles des différents éléments de la chaîne de mesure.

Un programme expérimental a démarré, visant à tester ces deux approches :

- Une étude de faisabilité, réalisée durant l'automne 2002, indique que la boucle INERIS, développée pour les mesures à l'émission, peut être mise en œuvre pour des intercomparaisons appliquées à l'air ambiant, en vue de la détermination de l'incertitude globale (norme ISO 5725), mais aussi de la détermination des incertitudes individuelles (démarche ISO 14956), a priori seule approche applicable à l'ensemble du parc français.
- Un exercice d'intercomparaison, réunissant un nombre important de participants, placés sur un même site (technique de « voisinage ») à été initié et sera réalisé en collaboration avec l'ASPA, dans le cadre du programme de recherche Interreg III.
- Enfin, une première action de comparaison « station + camion » est en cours, avec l'appui d'Atmo Picardie.

Normalisation

A partir de 2002, l'ensemble des travaux des différents experts de l'INERIS au sein des commissions de normalisation française et européenne, et aux groupes de travail constitués en vue de l'élaboration et de la mise en œuvre des directives européennes est intégré dans un programme spécifique afin d'en avoir une meilleure visibilité. Ce programme comprend non seulement la participation aux groupes de travail, l'animation de certains d'entre eux, et la diffusion de l'information à l'ensemble des partenaires concernés, mais aussi l'organisation d'essais d'intercomparaisons ou la participation à ces essais, menés dans le cadre des travaux normatifs.

En 2002, ces travaux ont concerné :

- la commission AFNOR X 43 D (Air ambiant) et certains GT spécifiques,
- les groupes de travail européens du CEN TC 264,
- l'association des laboratoires européens de référence AQUILA.

Nous retiendrons, ci-après, les faits marquant sur les sujets qui ne sont pas traités par ailleurs dans des programmes spécifiques.

- La mise en enquête des quatre projets de normes au programme du WG 12 qui ont pour objectif de décrire les méthodes de référence pour la mesure de SO₂, NO_x, O₃ et CO. Les exigences qui doivent être respectées pour que l'incertitude totale de mesure soit compatible avec les valeurs spécifiées dans la directive européenne concernent les caractéristiques métrologiques des appareils, les modalités de détermination de ces caractéristiques, ainsi que la nature et la fréquence des opérations de contrôle et de maintenance des appareils durant leur exploitation.

- L'avancement du groupe de travail « Certification » (TC 264 WG 22) qui a pour objectif de poser les bases d'un futur système européen de certification des analyseurs qui sont mis en œuvre pour la mesure de la qualité de l'air et des effluents gazeux. Il s'agit de fixer les exigences minimales concernant :
 - les performances métrologiques des analyseurs,
 - les conditions dans lesquelles ces performances doivent être vérifiées,
 - la qualification de l'organisme en charge de la réalisation des essais,
 - les moyens mis en œuvre par les constructeurs pour maîtriser la production et garantir que les matériels commercialisés sont conformes au modèle testé,
 - l'organisme en charge de la gestion et du suivi des dossiers (représentativité, indépendance).
- La création de l'association « AQUILA » qui regroupe les laboratoires européens de référence dans le domaine de la qualité de l'air. AQUILA a été créée à l'instigation du JRC Ispra, et tire sa légitimité de la Directive 96/62/CE qui prévoit dans son article 3 que chaque Etat membre désigne les organismes chargés de la mise en œuvre de la directive ; le LCSQA a été nommé à ce titre par le MEDD. On retrouve dans les membres, outre l'INERIS, le LNE et l'EMD, des labos comme le NERI, IVL, RIVM, NPL, AEA, LUA etc...

Sécurité lors de l'exploitation des réseaux de surveillance

L'objectif du LCSQA sur le thème de la sécurité, est d'étudier les risques liés à l'ensemble des opérations effectuées par les AASQA, à partir de la réglementation en cours, et de leur apporter un appui technique dans ce domaine.

En 2001, un guide pratique des recommandations, consignes et procédures existantes avait été élaboré, afin de répondre aux différentes situations à risque que rencontrent les AASQA dans l'exercice de leurs missions. A partir de ces éléments, les priorités d'actions à réaliser, en 2002, dans le cadre du présent programme avaient été dégagées :

- Organisation de formations spécifiques imposées par le code du travail : Après examen des besoins, il a été proposé de centraliser leur réalisation à l'INERIS, afin de monter des formations spécifiques aux missions des AASQA, de faciliter une mise en commun des acquis, et de réduire les coûts individuels par une optimisation du nombre de personnes par formation (10 à 12 personnes étaient présentes pour chaque séance de formation).
- Evaluation des coûts de mise en application des consignes de sécurité inventoriées dans le *guide de recommandations*. Cet aspect technico-économique a été traité, pour des applications spécifiques aux AASQA, et au cas par cas pour ce qui concerne l'adaptation des véhicules au transport des cylindres, la protection des travailleurs isolés, le stockage des cylindres dans les lieux publics, et les opérations en hauteur (maintenance des lignes d'échantillonnage).

Les actions menées en 2001 et 2002 renforcent la nécessité d'effectuer une harmonisation nationale relative à la sécurité dans l'exploitation des AASQA. En effet, elle permettra d'optimiser les actions ou les choix en matière d'hygiène et de sécurité et d'aboutir ainsi à une cohérence globale des moyens mis en œuvre et des procédures ou recommandations entreprises.

Synthèse des travaux de l'INERIS dans le domaine de la qualité de l'air intérieur

Nous avons proposé de rédiger des notes de synthèse de travaux de l'INERIS réalisés en dehors du LCSQA sur des thèmes intéressant les AASQA (activités d'appui technique au MEDD ou travaux de recherche). Compte tenu de l'intérêt grandissant de la problématique de la qualité de l'air intérieur, nous avons, en 2002, réalisé une synthèse de l'ensemble des travaux effectués par l'INERIS sur ce thème, afin d'apporter aux AASQA des éléments d'informations et des retours d'expériences utiles dans le cadre de leurs propres missions.

Cette synthèse concerne plus particulièrement :

- La participation de l'INERIS à l'Observatoire de l'air intérieur piloté par le CSTB, et plus particulièrement la détermination des concentrations intérieures en biocides.
- Des études d'exposition et d'évaluation de risque sanitaire dans certains micro-environnement, en particulier dans les écoles et à proximité de pressings.
- Des travaux de veille scientifique : la coordination du réseau RSEIN, la participation au colloque international « INDOOR AIR », et une synthèse de nos propres travaux de veille scientifique.

Etude des tubes à diffusion utilisés pour la mesure des COV, dans la chambre d'exposition de l'INERIS

Une première série d'essais réalisés dans la chambre d'exposition de l'INERIS et au NPL, a mis en évidence une diminution de la vitesse de prélèvement pour le benzène, dans certaines conditions. En accord avec le GT « échantillonnage passif », un essai complémentaire a été entrepris, dans des conditions expérimentales se rapprochant au mieux de celles utilisées au sein des AASQA (mélange BTX, faibles concentrations).

Cet essai a consisté à exposer des tubes axiaux de type Radiello Perkin Elmer (RPE) et des tubes radiaux de type RADIELLO à un mélange de B.T.X représentatif des teneurs rencontrées en air ambiant (concentration en benzène de 5 µg/m³).

Une perte de débit de prélèvement du benzène par les tubes à diffusion de type RADIELLO a de nouveau été observée mais de façon moins marquée que lors des précédents essais. Ce résultat peut avoir deux causes possibles : les concentrations en BTX de cet essai étaient plus faibles, ou les utilisations successives d'un même lot de tubes amoindrissent la perte de vitesse de prélèvement.

4. HARMONISATION DES METHODES DE MESURE DE COMPOSES SPECIFIQUES

L'objectif des travaux dans ce domaine est de proposer aux AASQA des méthodologies de prélèvement et d'analyse validées communes à l'ensemble du territoire, pour la surveillance des polluants concernés par une obligation de surveillance dans le cadre de l'application de la directive 96/62/CE du 27 septembre 1996, mais aussi d'autres polluants considérés soit comme toxiques soit comme précurseurs de la pollution photochimique et faisant l'objet de préoccupations spécifiques. Dans ce cadre les équipes INERIS du LCSQA se sont plus particulièrement consacrées aux HAP, au mercure, aux pesticides et aux particules.

Sur chacun de ces sujets, les experts de l'INERIS représentent la France au sein des groupes de travail européens.

Les HAP

La Directive 96/62/CE prévoit la surveillance des HAP dans l'air ambiant. Une troisième version de la directive fille concernant l'arsenic, le cadmium, le nickel le mercure et les HAP est actuellement en circulation dans les pays membres. Dans ce contexte, les travaux du LCSQA ont comme principal objectif de proposer aux AASQA une stratégie de prélèvement et d'analyse fiable, facile de mise en œuvre et conforme aux protocoles normalisés en cours d'élaboration au sein du TC 264 WG 21 du CEN. Ainsi, les travaux 2002 ont permis de poursuivre l'appui technique à la phase pilote du programme de surveillance des HAP piloté par l'ADEME, de le compléter avec des campagnes de mesures spécifiques des HAP et des HAP oxygénés dans des zones non couvertes par la phase pilote, et de représenter la France au groupe CEN de normalisation.

- La phase pilote, démarrée entre octobre 2001 et janvier 2002, se déroule sur une année à raison d'un prélèvement de 24 heures tous les 6 jours, avec une très bonne périodicité dans l'envoi des résultats de la part des AASQA participantes (9 AASQA et 7 laboratoires). Grâce aux travaux réalisés à l'INERIS pendant les 4 dernières années, et toujours en lien avec les travaux réalisés au niveau européen, nous avons pu proposer aux AASQA un protocole de prélèvement et d'analyse des HAP dans l'air ambiant, détaillé et adapté à leurs contraintes.

En ce qui concerne les résultats obtenus à ce jour, sur deux sites seulement, la moyenne annuelle se situe autour ou au-dessus de la future valeur cible de 1 ng/m³. Néanmoins les résultats ne couvrant pas une année entière, et correspondant essentiellement à la période estivale, les moyennes annuelles pourraient être plus élevées. En effet les valeurs partielles déjà exploitées montrent que les moyennes hivernales sont beaucoup plus élevées, et dépassent la valeur cible dans 75 % des cas.

- Les campagnes de prélèvement réalisées en dehors de la phase pilote ont comme objectif la caractérisation des zones supposées présenter de fortes concentrations en HAP (hot spot) et des zones de fond. En 2002, quatre campagnes d'une semaine ont été menées sur deux sites industriels (en collaboration avec LIG'AIR et ATMO Auvergne), un site de fond (avec ORAMIP) et un site trafic (avec Air APS).

On a observé des valeurs de B(a)P relativement faibles sur tous les sites à l'exception du site industriel d'ATMO Auvergne, où l'on dépasse la valeur cible de la future directive fille européenne, et qui présente, d'une façon générale, des niveaux de concentrations beaucoup plus élevés que sur les autres points étudiés.

Pour les HAP les plus volatils, excepté le site industriel d'ATMO Auvergne, c'est le site urbain qui présente les niveaux les plus élevés suivi du site trafic, du site industriel de LIG'AIR et du site de fond. Pour ce qui concerne les HAP particuliers, on a observé les valeurs les plus élevées pour le site industriel d'ATMO Auvergne suivi du site industriel de LIG'AIR, du site trafic avec les concentrations les plus faibles pour le site de fond.

En ce qui concerne la répartition gaz/particule des HAP et HAP oxygénés, nous avons confirmé l'influence de la température ambiante, avec une variation moins forte pour les HAP oxygénés que pour les HAP classiques.

- Le groupe CEN de normalisation, relatif aux HAP dans l'air ambiant a été créé courant 2002 : CEN TC 264 WG 21 « Measurement method for B(a)P ». Une campagne d'inter-comparaison des méthodes d'extraction et d'analyse utilisées dans les différents laboratoires européens a eu lieu avec la participation de L'INERIS. Les résultats n'ont pas encore été traités complètement mais ils ne montrent pas de différences significatives entre les différentes méthodes d'extraction.

Les essais sur le terrain se dérouleront en 2003 et concerneront, l'Allemagne, l'Autriche, l'Espagne, la France, la Grande Bretagne et les Pays Bas.

Le Mercure

Le programme 2002 s'est inscrit dans la continuité du programme 2001, avec la fin des actions engagées sur le terrain et la réalisation de campagnes de mesure de Mercure, à la demande des AASQA. Un éclairage particulier a été apporté, en complétant ces mesures par des analyses des autres métaux de manière à appréhender de manière globale la pollution en métaux des sites étudiés et d'identifier la nécessité d'un suivi d'éléments autres que ceux réglementés. Dans ce contexte, une étude bibliographique a été réalisée afin de réunir une base de connaissance en terme de sources d'émission, de niveaux ambiants rencontrés et de toxicité pour ce qui concerne les métaux non réglementés rencontrés les plus fréquemment.

Parmi les principaux acquis de ce programme, outre les enseignements métrologiques, il convient de retenir, en terme de surveillance au niveau national, les principaux éléments de synthèse suivants :

- Un récapitulatif des concentrations et des profils relevés a été effectué afin de préciser les gammes de concentrations en fonction de la typologie des sites.
- Les sites ruraux se situent dans tous les cas à des niveaux très bas, très largement inférieurs à la valeur seuil de 50 ng/m³ qui était proposée dans les premiers projets de directive-fille suite au position paper sur le Mercure.
- Dans l'optique d'apporter une contribution française aux bases de données existantes (de type EMEP), quelques sites ruraux pourraient faire l'objet de mesures du Mercure dans l'air ambiant fixes ou périodiques.
- Les campagnes à proximité des sites industriels ne permettent pas de justifier la mise en place d'un suivi généralisé à l'ensemble des AASQA. Il pourrait, en revanche, être opportun de suivre les concentrations au voisinage de certaines installations particulièrement émettrices.
- Les concentrations observées pour les autres métaux ne permettent pas de dégager la nécessité d'un suivi de nouveaux métaux, compte tenu des données toxicologiques disponibles. Seul le chrome pourrait faire l'objet d'une réflexion complémentaire compte tenu des niveaux mesurés (25 µg/m³ en moyenne) et du caractère cancérigène du CrVI. Pour autant il importerait, dans ce cas, de distinguer les différentes formes atmosphériques du chrome (CrIII et CrVI).

Les pesticides

De nombreuses AASQA souhaitant mener des travaux spécifiques sur les pesticides (études dans le cadre des PRQA, surveillance ponctuelles...), afin de coordonner et d'apporter un appui à ces nombreuses initiatives locales, le LCSQA a entrepris des travaux en lien avec un groupe d'apprentissage piloté par l'ADEME. Ces travaux ont concerné en 2002, des campagnes de mesures conjointement avec les AASQA, une opération d'intercomparaison des laboratoires d'analyses et des essais méthodologiques.

- Les résultats de la campagne de mesures réalisée en Champagne-Ardenne en site urbain et en site rural à l'automne 2001 et exploités en 2002 montrent, pour l'ensemble des composés, des niveaux de concentrations faibles, inférieurs au ng/m^3 , légèrement supérieures en site urbain qu'en site rural. A l'exception de l'endosulfan β , uniquement présent à Reims, ce sont les mêmes 11 composés qui ont été retrouvés sur les deux sites de mesure, dans des proportions différentes, avec le lindane comme principal constituant du fond ambiant (concentration maximale de $0,7 \text{ ng/m}^3$). Des échantillons d'eaux de pluie recueillis sur les mêmes sites n'ont donné lieu à aucune détection de substance phytosanitaire appartenant à la liste de référence.
- Deux campagnes de mesures, d'une semaine chacune, ont été réalisées en Bourgogne en collaboration avec Atmos'air et Lig'air, après la période de traitements herbicides, et lors de la période de traitements insecticides et fongicides de la vigne et des grandes cultures. Trois sites ont fait l'objet d'une surveillance simultanée.
- Une campagne conjointe INERIS/CEMAGREF/AIR LANGUEDOC-ROUSSILLON a été réalisée à Montpellier afin de caractériser l'élément source d'une pollution atmosphérique issue des pratiques agricoles de lutttes phytosanitaires. Dans le cas présent, il s'agit de pulvérisation de pesticides sur la vigne. Les travaux en 2002, suite à une première campagne de mesures en 2001, se sont attachés à préciser les quantités déposées sur le sol et le feuillage de la culture visée, et celles émises dans l'atmosphère.
- Des campagnes de prélèvements d'eaux de pluies menées conjointement avec Atmo Champagne-Ardenne, puis Oramip, ont enfin été effectuées.
- Une intercomparaison a été menée auprès de 12 laboratoires susceptibles de réaliser les analyses de pesticides pour les AASQAs répartis sur le territoire national, et portant sur 27 composés de la liste « INERIS ». L'expérimentation a porté sur une dizaine d'échantillons à différentes concentrations. Il ressort d'un premier traitement statistique des données que quelques laboratoires se distinguent par leurs très bons résultats, d'autres présentent des limites de détection insuffisantes, d'autres encore montrent des difficultés analytiques pour quelques composés. La présence d'impuretés atmosphériques semble avoir gêné quelques laboratoires. Dans l'ensemble, les laboratoires participants disposent d'équipements analytiques permettant d'obtenir une détection satisfaisante sinon optimale. Il n'en est pas de même concernant les équipements mis en œuvre pour l'extraction des mousses où les différences peuvent être notables.

- Des essais méthodologiques ont concerné différents points qui méritaient d'être approfondis :
 - Le piégeage du glyphosate : les essais ont permis de retenir le tube Orbo 47, après avoir ôté la laine de quartz, en tant que support de piégeage dédié au glyphosate et à son métabolite principal (AMPA). Le prélèvement sera effectué via une pompe de type individuelle à faible débit.
 - L'utilisation du dichlorométhane seul, afin d'améliorer l'extraction de certains composés. Les essais, réalisés sur mousses dopées puis extraites à l'ASE, montrent que le dichlorométhane n'est pas le meilleur solvant pour certaines molécules, mais qu'il fournit le meilleur compromis, en moyenne, sur l'ensemble des composés de la liste INERIS.
 - La comparaison des taux de récupération par extraction à l'ASE par rapport au soxhlet sur des mousses dopées. Les résultats sont suffisamment satisfaisants pour retenir la technique ASE pour la suite de nos travaux, compte tenu des gains de temps qu'elle représente.
 - Des essais de perçage et de répartition des composés sur les supports de collecte ont été effectués dans le but de préciser la validité des prélèvements faits sur le terrain. Il en ressort que quelques composés, parmi les plus volatils, sont très mal retenus sur les supports. Pour les autres, les taux de récupération sont compris entre 65 % et 100 %. La répartition entre phase gazeuse et phase particulaire de chaque composé a été déterminée.
- Un protocole de référence sur les prélèvements haut débit effectués à l'aide d'un Digital DA80 a été rédigé dans le cadre du groupe d'apprentissage « pesticides » à l'intention des AASQAs qui souhaitent lancer des campagnes de mesures de pesticides. Elaboré selon la trame du document EPA TO4A, il est basé sur les méthodologies employées et validées par l'INERIS, et intègre les variantes mises en œuvre par certaines AASQAs ayant acquis une expérience dans ce domaine. Cette première version mérite d'être complétée notamment en ce qui concerne la partie analytique moins à destination des AASQAs que des laboratoires d'analyse.

Les particules

Les travaux 2002 de l'INERIS dans le domaine des particules font suite aux campagnes de comparaison de l'analyseur en continu TEOM et de l'échantillonneur manuel Partisol en collaboration avec AIRPARIF, en lien avec le programme pilote.

Deux autres sites ont été instrumentés en Normandie (Quillebeuf et le Havre), avec AIRNORMAND, sur chacun d'entre eux, la composition chimique de l'aérosol atmosphérique a été étudiée. Le site de Quillebeuf, fortement influencé par le complexe pétrochimique de Port-Jérôme, est marqué par des concentrations importantes en particules. Ces épisodes de pollution sont caractérisés par la présence de nitrates et d'ammonium et dans une moindre mesure de sulfates. Ces composés se concentrent sur la fraction fine de l'aérosol. Le carbone élémentaire (EC) et le carbone organique (OC) sont également des éléments majeurs de l'aérosol et parmi les composés métalliques, on note la présence de plomb, nickel, manganèse et vanadium. Le site du Havre est surtout marqué par la présence de sulfates associée à l'ammonium, avec des concentrations en nitrates plus faibles que sur le site de Quillebeuf. L'intercomparaison entre le TEOM et le Partisol sur ces deux sites a permis de montrer l'influence du nitrate d'ammonium sur la mesure du TEOM.

Les travaux d'intercomparaison entre le TEOM et la mesure gravimétrique de référence ont été poursuivis sur le site de Gennevilliers, en y associant un suivi en continu des concentrations en nitrate particulaire et l'implantation d'un TEOM équipé du système FDMS (Filter Dynamics Measurement System), développé dans le but de quantifier les fractions volatile et non volatile de l'aérosol. Ces essais confirment une nouvelle fois la sous-estimation des concentrations mesurées par un TEOM classique (température fixée à 50°C). En outre, les mesures réalisées avec l'analyseur de nitrate particulaire ont permis de montrer une bonne corrélation entre l'écart observé entre un TEOM 50°C et un TEOM FDMS et la présence du nitrate dans l'air ambiant.

Les premiers résultats obtenus avec le TEOM FDMS montrent une très bonne équivalence avec la méthode de mesure gravimétrique de référence (Partisol). Ces essais se poursuivront en 2003 afin de valider le système FDMS sur une plus longue période, permettant d'intégrer des épisodes de pollution particulaire, caractérisés par des concentrations élevées en nitrate d'ammonium.

Spéciation des métaux

Suite à une première étude bibliographique de l'EMD, le présent programme, mené conjointement par l'EMD et l'INERIS, en collaboration avec des laboratoires universitaires, a comme objectif de tester la faisabilité des principales techniques de spéciation physico-chimique des métaux dans l'air ambiant, et d'en évaluer la pertinence et la complémentarité pour les métaux visés par la réglementation, en particulier le Plomb (Pb), le Cadmium (Cd), et l'Arsenic (As).

Quatre techniques analytiques complémentaires, ont été mises en œuvre par différents laboratoires, en parallèle, sur des prélèvements atmosphériques réalisés sur des sites à proximité d'émetteurs industriels de Pb, de Zn, de Cd et d'As :

- l'ICP-MS (EMD), permet une analyse quantitative globale des métaux,
- la microsonde RAMAN (LASIR-USTL à Lille), permet une caractérisation des différentes espèces moléculaires présentes sur le filtre (spéciation chimique directe),
- la microsonde nucléaire couplée à l'analyse PIXE (CENBG à Bordeaux), permet une analyse élémentaire quantitative de quelques particules d'un échantillon,
- la microscopie électronique à balayage automatisée, couplée à la microanalyse X - ESEM-EDS- (INERIS), permet une analyse de la composition chimique et de la taille de milliers de particules élémentaires d'un échantillon.

L'ensemble de l'étude montre, qu'en complément d'une analyse élémentaire globale par ICP-MS, il est possible d'identifier les principales formes physico-chimiques du plomb, du zinc et du cadmium, à l'échelle des particules individuelles, en utilisant les techniques de micro-analyse citées ci-dessus.

Pour ce qui concerne l'ESEM-EDS mise au point à l'INERIS, les premiers résultats obtenus en 2002 sur des prélèvements réalisés soit par filtration soit par impaction, ont permis d'obtenir des informations précieuses en termes de répartitions granulométriques des métaux concernés, en particulier :

- Près de 50 % des particules analysées contiennent des métaux lourds (Pb, Zn et Cd), et près des 9/10 de ces particules ont une taille comprise entre 0,5 et 2µm, avec des distributions à tendance plus submicronique que micronique.
- Sur la quantité de particules analysées, une faible proportion contient du cadmium, très majoritairement associé au plomb.

5. ETUDE DES EXPOSITIONS

Comparaisons métrologiques entre préleveurs portatifs et préleveurs classiques

Différents outils métrologiques spécifiques se sont développés, dernièrement, afin de quantifier l'exposition personnelle aux polluants environnementaux. L'objectif des travaux proposés en 2002, dans ce domaine, était de comparer les mesures issues d'un échantillonneur portable (ChemPassTM) et différents échantillonneurs utilisés dans les stations de surveillance de la qualité de l'air, afin d'établir un lien entre expositions personnelles et immissions mesurées par les AASQA. Le ChemPassTM, est un échantillonneur personnel développé par le département des sciences de l'environnement de Harvard pour la mesure des concentrations particulaires. En outre, il a été retenu pour le projet GENOTOX'ER qui vise à réaliser une évaluation quantitative du risque cancérigène lié aux particules atmosphériques pour des populations urbaines.

Les essais ont été réalisés sur le site AIRPARIF de Gennevilliers, au cours de deux campagnes d'échantillonnage en hiver et en été. Les intercomparaisons ont porté sur les concentrations gravimétriques pour les fractions PM₁₀ et PM_{2.5} et sur les concentrations en HAP, mesurées sur une période d'échantillonnage de 48 heures.

L'analyse statistique des données a montré une relation linéaire et une très bonne corrélation entre les différents échantillonneurs, avec toutefois une surestimation systématique des concentrations pour le ChemPassTM, aussi bien pour les mesures pondérales que pour celles des HAP.

L'hypothèse la plus sérieuse que nous retenons, est celle d'un défaut de conception du ChemPassTM, résultant peut-être d'un problème de géométrie de l'orifice d'entrée de l'impacteur et/ou d'un débit de filtration mal approprié, modifiant ainsi le seuil de coupure des deux impacteurs PM₁₀ et PM_{2.5}.

Le ChemPassTM, dans sa conception, reste un outil très bien adapté pour le suivi de l'exposition personnelle. Cependant, si l'exploitation des données gravimétriques (à condition de corriger les défauts évoqués précédemment) est parfaitement acceptable, il s'avère que son utilisation, pour faire de la spéciation présente certaines limites en atmosphère faiblement polluée, comme semble l'indiquer le résultat des mesures sur les HAP.

6. TRAVAUX INFORMATIQUES

Assistance pour l'équipement informatique des AASQA

L'équipe Informatique et Instrumentation pour l'Environnement de l'INERIS assure un soutien technique permanent sur l'ensemble de la chaîne d'acquisition et de transmission des données de la qualité de l'air. A ce titre, l'implication des experts de l'INERIS s'est poursuivie auprès des différents acteurs : AASQA, MEDD, ADEME, constructeurs, CPIA. En 2002, l'INERIS s'est plus particulièrement chargé de l'évolution du Langage de Commande de la version 3.0 à la version 3.1 et de la réalisation de différents travaux pour répondre aux demandes des AASQA et de l'ADEME :

- Tests de la station d'acquisition de la société FDE-SASI,
- Tests sur l'interface Météo de la société TLC services,
- Tableau de synthèse des tests du protocole JBUS d'analyseur,

- Paramétrage des balises de radioactivité SAPHYMO et BERTHOLD,
- Elaboration de la procédure pour le paramétrage de modems.

Site WEB

Depuis fin 2001, l'INERIS a la responsabilité de la maintenance et de l'administration du site Web du LCSQA, qui comprend, en particulier, toutes les opérations de gestion des sauvegardes du site, de gestion des accès sur le site, et la modification de la version logicielle du serveur Web Apache.

En 2002, l'INERIS a plus particulièrement réalisé les opérations suivantes : Création des rapports d'étude de l'année 2001 du LCSQA au format PDF, création des résumés associés à chaque rapport d'étude, création des projets de convention 2003.

Le site Web dédié aux AASQA, et accessible uniquement par mot de passe, a eu environ 450 connexions depuis son ouverture, fin décembre 2001. A l'aide d'un outil d'analyse de fréquentation de site Web, l'INERIS a réalisé une analyse fine des différentes connexions :

- Caractéristiques des connexions,
- Zones fréquentées,
- Fichiers les plus téléchargés,
- Profil des utilisateurs et des visites.

SIG

L'utilisation des Systèmes d'Information Géographique se développe de manière importante au sein des réseaux de mesure de la qualité de l'air, non seulement comme un outil de présentation et d'illustration des mesures de polluants, mais surtout comme un outil d'aide à la décision pour le travail quotidien des réseaux (détermination de la position géographique des sites de mesures) et pour les prises de décision par les autorités compétentes lors de dépassement des seuils de pollution.

Dans ce cadre, les travaux du LCSQA concernent principalement les actions ci-après :

- L'animation du groupe de travail SIG, avec comme principal objectif d'améliorer l'harmonisation des méthodes de travail. L'INERIS recherche, centralise et rediffuse les informations liées à l'utilisation de l'outil SIG auprès de l'ensemble des AASQA.
- L'élaboration de la dernière version du guide méthodologique d'utilisation de l'outil SIG,
- La diffusion de la version définitive de la charte graphique réalisée afin de permettre aux AASQA d'utiliser les mêmes pictogrammes pour représenter les mêmes types d'informations. Cette charte est maintenant téléchargeable en version Noir & Blanc et Couleur à partir du site Internet du LCSQA.
- Le développement d'applications spécifiques dans l'objectif de faire réaliser aux utilisateurs un gain de temps lorsqu'ils effectuent leurs travaux quotidiens avec leur logiciel SIG. Ces applications qui consistent à automatiser les opérations les plus courantes s'appuient sur des méthodes harmonisées au niveau national et décrites dans le guide méthodologique. Elles concernent, actuellement, le logiciel SIG Map-Info mais seront étendues, à terme, à l'outil SIG Arcview. L'INERIS a diffusé durant l'année 2002 les applications ci-dessous qui sont accessibles à l'ensemble des AASQA via le site Web du LCSQA dans la zone dédiée au SIG :

- Cercle Atmo (nouvelle version des deux outils diffusés en 2001),
- Création d'un maillage,
- Calcul de la distance entre un point et la route la plus proche,
- Recherche parmi plusieurs polygones, inclus dans une maille, celui qui a la superficie la plus grande,
- Calcul du prorata d'une valeur affectée à une polyligne en fonction de la longueur parcourue dans une série de mailles.

7. MODELISATION

Les travaux dans le domaine de la modélisation se sont largement diversifiés, en fonction des domaines d'application des différents outils de calculs offerts aux réseaux, et concernent actuellement, au sein du LCSQA, toutes les approches numériques permettant d'améliorer l'exploitation des données issues des mesures, et leur présentation cartographique, la mise en œuvre des directives européennes en terme de couverture du territoire ou la prévision. Les différentes études sur ce thème concernent soit des travaux d'appui technique aux différents acteurs (par outils) soit des études spécifiques (par objectifs).

Assistance en modélisation

Notre mission d'assistance aux AASQA en modélisation s'est poursuivie en collaboration avec l'Ecole des Mines de Douai.

Ces actions se déclinent autour des trois axes de développement de la modélisation au sein du LCSQA :

- Modélisation déterministe,
 - Modélisation statistique et prévision
 - Méthodes géostatistiques
- Sur le premier thème (modélisation déterministe), le bilan des demandes des AASQA est semblable à ce qui avait pu être observé lors des années précédentes, avec tout de même un léger recul durant le second semestre 2002.

Les attentes des associations sont ciblées sur l'expertise des programmes ou projets de modélisation en cours d'élaboration, ou mis en place. Notre rôle consiste donc à fournir un appui technique dans le choix des outils numériques et la façon de les exploiter, dans la consultation des prestataires extérieurs, mais aussi dans la conception même du programme, avec une attention particulière portée à l'optimisation des moyens.

Les principaux travaux ont concerné les points suivants :

- Programme POVA (AIR DES 2 SAVOIE) : l'INERIS, au titre du LCSQA, préside le Comité de Suivi scientifique.
- Assistance dans la définition du projet de modélisation sur la région PACA (AIRMARAIX, AIRFOBEP, QUALITAIR 06).

- INTERREG III : L'ASPA met en place un programme européen INTERREG III (partenariat français/allemand/suisse) visant à remettre à jour les cadastres d'émissions et d'immissions sur le Fossé Rhéna, avec une part importante de l'utilisation de modèles, avec notamment l'implication de laboratoires français (IPSL, LISA, CORIA), de l'Ecole Polytechnique de Lausanne (Alain Clappier) et de l'Université de Cologne (programme EURAD). L'ASPA a sollicité l'INERIS au titre du LCSQA afin d'assurer un suivi de ce programme, depuis sa mise en place (choix techniques, choix des partenaires, appréciation des propositions) jusqu'à son aboutissement (prévu pour 2004).
- Dans le domaine de la prévision statistique les AASQA poursuivent leur travaux en collaboration avec leurs partenaires scientifiques locaux. L'INERIS s'est impliqué dans la spécification et le suivi du développement d'un système logiciel, AASQUARIUM, accessible par Internet et regroupant un ensemble de modèles statistiques basés sur différentes approches et dédiés à la prévision de la qualité de l'air. Les AASQA ne disposant pas encore de modèle de prévision en leurs locaux pourront utiliser ce système qui est en cours de validation (avec le concours de COPARLY et d'AIR BREIZH).
- Une part importante des travaux d'assistance en 2002 porte sur l'usage des modèles d'interpolation et des méthodes de géostatistiques, avec, en particulier, l'animation du groupe de Travail « Moyens Mobiles » et l'évaluation de méthodes d'interpolation appliquées au domaine de la qualité de l'air.

Couverture du territoire

L'élaboration de cartes de répartition des concentrations des polluants réglementés sur des bases temporelles appropriées est un bon moyen de répondre aux objectifs de surveillance de la qualité de l'air définis dans les textes réglementaires nationaux et européens. Celles-ci sont relativement aisées à construire dans les zones de petite surface, où la densité de points de mesure est suffisante (sites urbains et péri-urbains), en appliquant par exemple des règles simples d'interpolation. En revanche, là où peu de stations de mesure sont implantées, cartographier la qualité de l'air nécessite l'usage de techniques de traitement complémentaires et plus sophistiquées. Elles regroupent des méthodes d'interpolation, des approches statistiques ou géostatistiques ou encore des approches purement déterministes.

Les deux premières catégories de méthodes reposent plus naturellement sur l'usage des données de concentrations mesurées. Les méthodes déterministes incorporent des données d'entrée (émissions, topographie, météorologie...) et calculent les concentrations par la résolution numérique d'équations aux dérivées partielles. Les approches les plus pertinentes résident de plus en plus dans les développements mixtes incluant toutes les informations disponibles (concentrations mesurées et données annexes).

Dans ce cadre, un bilan sur les méthodes de modélisation disponibles pour réaliser des cartographies de la qualité de l'air dans les zones peu couvertes par le réseau de mesure a été effectué en 2002, comprenant une analyse de ces techniques, des données nécessaires et de leur bon usage, de leurs performances et limites. Le document diffusé en 2002 constitue une version préliminaire d'un guide méthodologique dont la rédaction aboutira en 2003.

En complément de cette approche théorique, une étude propose une utilisation des méthodes de la géostatistique pour la cartographie de la pollution dans de vastes territoires peu équipés en stations de mesure fixes. A titre d'exemple, les données exploitées ont été fournies par l'association ATMO Auvergne et sont issues d'une campagne de mesure de l'ozone par échantillonnage passif réalisée dans l'Allier au cours de l'été 2001 ; une démarche strictement identique aurait pu être appliquée au NO₂. Les valeurs de concentrations sont enrichies par des données de variables auxiliaires qui caractérisent l'altitude, la population et les zones bâties et boisées de ce département.

Cette étude confirme l'importance de l'échantillonnage. Le maillage adopté est approprié et permet de caractériser la structure spatiale de l'ozone dans le département. Un échantillonnage plus resserré en certains endroits et la pose de tubes multiples serait utile pour affiner le modèle ajusté aux courtes distances et prendre éventuellement en compte l'erreur de mesure. La structure spatiale de l'ozone varie au cours des quatorze semaines de mesure, de là l'intérêt d'étendre l'échantillonnage à plusieurs semaines afin de caractériser la pollution moyenne saisonnière.

La question de l'incertitude des cartes, partiellement abordée dans ce travail, sera plus particulièrement développée en 2003.

Etat des lieux et des besoins dans les AASQA en matière de modélisation

Un groupe de travail « surveillance et modélisation » a été constitué en 2002, réunissant le MEDD, l'ADEME, le LCSQA, et une dizaine d'AASQA, avec comme objectifs :

- la définition des besoins en outils de modélisation, au sens large du terme, pour la surveillance de la qualité de l'air, en fonction des demandes réglementaires,
- le recensement des outils disponibles,
- la définition d'une stratégie d'application en fonction des objectifs visés et des coûts.

L'INERIS s'est largement impliqué dans l'animation de ce GT, et a été chargé de consigner les travaux de réflexion et d'élaborer un document de synthèse des échanges et réflexions, ainsi que des recommandations sur l'usage de la modélisation comme outil d'aide à la surveillance de la qualité de l'air.

Un bilan des actions déjà engagées par les AASQA a été établi, ainsi qu'une analyse des méthodologies adoptées en Europe.

