



CCTP 2026-06-2
CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERE

Jouvence EA-GC-IRMS analyse isotopique

CNRS UMR 6230 – *CEISAM : Chimie Et Interdisciplinarité, Synthèse, Analyse, Modélisation*
Faculté des Sciences et Techniques, bâtiment 22
2 Rue de la Houssinière, BP 92208
44322 NANTES CEDEX 3

Cadre du projet

Le CEISAM (Chimie interdisciplinaire : synthèse, analyse, modélisation, UMR CNRS 6230, Nantes-Université, France) est un laboratoire de premier plan spécialisé en chimie moléculaire. De plus, l'équipe MIMM (*Magnétic resonance, Isotopomics, Metabolomics, Monitoring*) possède une expertise de longue date dans l'analyse des isotopes stables.

Au début des années 1980, la célèbre méthode SNIF-NMR (*Site-Specific Natural Isotope Fractionation-Nuclear Magnetic Resonance*) a été développée au sein de ce groupe, permettant la mesure de la distribution intramoléculaire du ^2H . Les progrès continus de la RMN et de la spectrométrie de masse isotopique (IRMS) ont depuis permis de déterminer les mesures site-spécifiques du ^{13}C , positionnant le laboratoire comme le leader dans l'analyse des isotopes stables en abondance naturelle.

En 2021, la Plateforme Isotopique des Pays de la Loire (PLI) a été lancée par les autorités régionales en collaboration avec la Commission européenne, dans le cadre du programme "Infrastructure de recherche ligérienne". Cette plateforme est une composante de Corsaire, la division métabolomique-fluxomique de Biogenouest. Elle intègre des outils analytiques complémentaires (équipements, techniques, logiciels) et une expertise en sciences de l'environnement, en authentification et en nutrition-santé au CEISAM-Nantes, ainsi que l'expertise en biologie végétale et en agronomie de l'IRHS-Angers (INRAE). Le site Nantais fait également partie de Metabohub, l'infrastructure nationale d'excellence en métabolomique et fluxomique. À l'échelle internationale, la PLI entretient des collaborations étroites avec les plateformes isotopiques de l'Institut de technologie de Tokyo (TokyoTech, Japon), du Caltech (États-Unis) et de l'Université nationale australienne (Canberra, Australie).

Les projets collaboratifs actuels couvrent l'écologie, la nutrition, les études paléoclimatiques, l'authentification de l'origine des ingrédients, la santé, le biosourcing du bitume et le recyclage des polymères.

Les analyses isotopiques par SMRI nécessitent de convertir l'échantillon en gaz simple, tel que le CO_2 lors d'analyses isotopiques du carbone-13 (^{13}C). Pour cela, deux méthodes complémentaires d'introduction et de conversion des échantillons sont nécessaires aux activités de la plateforme :

- couplage de la SMRI à un analyseur élémentaire (EA-IRMS) qui permet de réaliser la combustion directe d'échantillons solides ou liquides suivie de leur analyse en ^{13}C et ^{15}N . Ce module comprend un four de combustion/réduction ;
- couplage de la SMRI à une chromatographie en phase gazeuse (GC-IRMS) qui permet d'injecter des mélanges de composés volatiles qui sont séparés par la GC et analysés séquentiellement en ^{13}C ou ^{15}N après conversion en gaz simples. Ce module comprend un four d'oxydation et un four de réduction.

Les deux couplages doivent également pouvoir intégrer des réacteurs pour les mesures ^{18}O et ^2H .

L'appareil possédant ces deux configurations, acquis en 2007, est le plus utilisé au sein du parc de la PLI et il doit être renouvelé, car le vieillissement des interfaces GC et EA retarde la réalisation de projets de recherche.

Enfin, ce nouvel équipement permettra l'implémentation à Nantes des analyses isotopiques position-spécifiques (PSIA) par spectrométrie de masse. Il sera en effet le support de la méthode consistant à fragmenter les composés d'intérêt par pyrolyse puis à réaliser l'analyse isotopique de ces fragments. Cette approche viendra en complément des analyses par RMN qui nécessitent de disposer de grandes quantités d'échantillons et d'analytes de haute pureté.

Sommaire

I Caractéristiques des équipements de base demandés	4
I.1 Couplage avec un Analyseur Élémentaire	4
I.2 Couplage avec un Chromatographe en Phase Gazeuse et combustion-Pyrolyse	4
I.3 Pilotage, ordinateur et logiciel	5
I.4 Formations	5
I.5 Garantie	5
II Prestations supplémentaires éventuelles (PSE)	6
Liste des PSE obligatoires :	6
II.1 Options sur la configuration EA-IRMS	6
II.2 Options sur la configuration GC-IRMS	6
Liste des PSE facultatives :	6
II.3 Autres options sur la configuration GC-IRMS	6
II.4 Option sur les extensions de garantie	6
II.5 Options sur les contrats de maintenance	6
II.6 Option sur une collaboration de développement analytique	7
III Variante	7
IV Livraison, installation et admission de la prestation	7
III.1 Livraison et installation	7
III.2 Admission de la prestation	8

I Caractéristiques des équipements de base demandés

Descriptif général

Les équipements concernés par cette jouvence devront être compatibles et être facilement configurables avec l'un ou l'autre des spectromètres IRMS disponibles sur la plateforme : Thermo Delta V Advantage acquis en 2007, Elementar Isoprime100 acquis en 2011 ou Elementar Precision acquis en 2021.

Le budget est d'un montant maximal de 190 000 euros Hors Taxes.

Nb : pour l'expression des mesures isotopiques la notation des unités est exprimée en mUr (milliUrey) qui est équivalent au delta pour mille (‰)

I.1 Couplage avec un Analyseur Élémentaire

Ce module inclura en particulier un analyseur élémentaire pour la combustion et la pyrolyse d'échantillons organiques, solides et liquides. Un système de séparation des gaz sera placé en sortie de réacteurs. Un détecteur de conductivité thermique (TCD) pour visualiser les pics et les quantifier sera connecté à ce système.

Un passeur automatique d'échantillons solides d'au moins 30 positions sera placé sur l'analyseur élémentaire.

L'analyseur élémentaire pour la détermination simultanée de C et N comprendra un système de combustion/réduction des échantillons en vue de leur transformation en gaz CO₂ et N₂ pour les mesures isotopiques. L'eau de la combustion sera éliminée par un piège hygroscopique.

Le système doit permettre une dilution du CO₂ de l'échantillon. Les précisions demandées avec cette interface pour la mesure des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$ seront respectivement d'au moins 0,1 et 0,2 mUr pour des séquences de 5 à 10 mesures.

L'analyseur élémentaire pour la détermination simultanée de O et H comprendra un système de pyrolyse des échantillons en vue de leur transformation en gaz CO et H₂ pour les mesures isotopiques. Les précisions demandées avec cette interface pour la mesure des $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$, seront respectivement d'au moins 0,4 et 3 mUr, pour des séquences de 5 à 10 mesures.

I.2 Couplage avec un Chromatographe en Phase Gazeuse et combustion-Pyrolyse

Cette interface inclura en particulier un chromatographe en phase gazeuse avec injecteur split/splitless, un régulateur de débit de gaz vecteur et un détecteur à ionisation de flamme (FID) ; le tout adapté pour l'utilisation de colonnes capillaires.

L'interface comprendra également un système paramétrable pour diriger les composés en sortie de colonne vers le FID ou vers l'IRMS. La commande se faisant dans la méthode d'analyse via le logiciel d'acquisition.

Pour la mesure des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, l'interface comprendra en aval de la colonne, un réacteur permettant l'oxydation et la réduction pour transformer les composés en CO₂ et N₂. Le passage entre les configurations de mesures de CO₂ en N₂ ne doit nécessiter qu'un seul équipement additionnel : un piège froid en ligne qui élimine quantitativement le CO₂.

L'eau de la combustion sera enlevée par un séparateur de phase non cryogénique ou membrane Nafion.

Les précisions demandées avec cette interface pour la mesure des $\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{15}\text{N}$, seront respectivement d'au moins 0,2 et 0,5 mUr pour des séquences de 5 mesures,

I.3 Pilotage, ordinateur et logiciel

L'équipement comprendra les éléments suivants.

- Un ordinateur et un système d'exploitation adapté pour faire fonctionner le ou les logiciels de pilotage des différentes configurations de façon fluide et ergonomique.
- Processeur Intel Core i7-12700 ou équivalent
- 32 Go Ram minimum
- Un disque dur SSD de 512 Go minimum, 1To souhaitable
- Un système d'exploitation Windows 11
- Une carte réseau avec connecteur RJ45 libre permettant une connexion Ethernet au réseau du laboratoire.

Les caractéristiques techniques de l'ordinateur seront précisées, notamment concernant le processeur et la mémoire.

I.4 Formations

- Lors de l'installation sera prévue une formation sur site pour 4 personnes.
- Une formation complémentaire sera proposée pour utilisateurs expérimentés après plusieurs mois d'utilisation. Elle sera d'au moins 3 jours et pour 2 personnes au moins.

I.5 Garantie et SAV

La période de garantie est au moins égale à 1 an pièces, main d'œuvre et déplacements compris à compter de la réception définitive de l'équipement. Elle doit couvrir l'ensemble des équipements installés par le titulaire. Elle couvrira toute panne qui n'est pas liée à une erreur de manipulation.

La garantie doit comprendre la mise à jour des logiciels, la mise à jour des systèmes informatiques et interfaçages en cas de panne. Le délai d'intervention en cas de panne ne doit pas dépasser 72h.

Une assistance téléphonique doit également être assurée pendant la période de garantie.

Les candidats doivent transmettre la liste des pièces détachées et la durée de disponibilité propre à chacune des pièces.

Les conditions d'intervention du SAV seront détaillées, délai, éventuelle possibilité de pré-diagnostic à distance, coût du déplacement à Nantes hors garantie et taux horaire d'intervention d'un ingénieur SAV (montants en vigueur).

II Prestations supplémentaires éventuelles (PSE)

Toutes les PSE sont *obligatoires* et ou *facultatives*. Le fournisseur doit donc *obligatoirement* donner un chiffrage de chaque prestation supplémentaire éventuelle obligatoire, mais le laboratoire se laisse la liberté de lever ou non les options au moment de la notification du marché.

Liste des PSE obligatoires :

II.1 Options sur la configuration EA-IRMS

- **PSE 1** : méthode ou interface pour diluer le gaz échantillon et adapter sa hauteur de pic à celle du pic de gaz référence
- **PSE 2** : un ou des plateaux pour l'analyse de plus de 32 échantillons

II.2 Options sur la configuration GC-IRMS

- **PSE 3** : Pour les mesures $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$, l'interface comprendra, en aval de la colonne, un système permettant la conversion thermique des composés en CO et H₂ en vue de leur mesure isotopique.
Les précisions demandées avec cette interface pour la mesure des $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$, seront respectivement d'au moins 0,8 et 2.5 mUr pour des séquences de 5 mesures.

Liste des PSE facultatives :

II.3 Autres options sur la configuration GC-IRMS

- **PSE 4** : Passeur d'échantillon élaboré avec possibilité d'utiliser plusieurs solvants de rinçage, de paramétrer l'injection automatique avec réglage de volume, prise d'air après l'aspiration de liquide, et avec possibilités de modules adaptables tel que SPME (Solid Phase Micro Extraction).
- **PSE 5** : concernant le piège cryogénique du CO₂ lors des analyses $\delta^{15}\text{N}$ du gaz N₂, la position de la boucle de piégeage pourra se programmer via le logiciel. C'est-à-dire la position à température ambiante et la position dans le liquide cryogénique seront paramétrables dans une séquence d'analyse pour remettre la boucle à température ambiante entre chaque échantillon.

II.4 Option sur Pilotage, ordinateur et logiciel

- **PSE 6** : concernant le logiciel de traitement des données, il pourra être installé sur au moins 2 autres postes informatiques, en plus de celui de pilotage.

II.5 Option sur les extensions de garantie

- **PSE 7** : Le candidat formulera une proposition chiffrée pour une extension de la durée de garantie pour atteindre une durée totale de garantie de 2 ans au minimum.

II.6 Options sur les contrats de maintenance

- **PSE 8** : Le candidat formulera une proposition chiffrée de contrats de maintenance d'une durée de 1, 2 et 3 ans après la période de garantie initiale.

II.7 Option sur une collaboration de développement analytique

PSE 9 : Dans le contexte de cette jouvence, une collaboration entre le candidat et le CEISAM sera un plus. L'objectif sera de développer conjointement et de mettre en œuvre la GC-Pyr-GC-C-IRMS pour des mesures de PSIA ^{13}C . Seront considérés la fourniture de petits accessoires à intégrer au système et l'aide au paramétrage pour cette nouvelle méthode. Cette collaboration doit permettre de communiquer ensemble sur ce nouveau développement (publications, communications scientifiques, communication grand public)

III Variante

La proposition d'une offre variante est autorisée, elle est facultative.

Le candidat pourra proposer une variante avec un ensemble complet incluant un IRMS neuf.

Il fera une description détaillée des différents modules.

IV Livraison, installation et admission de la prestation

III.1 Livraison et installation

- Le fournisseur assure sous son entière responsabilité, le transport, l'installation et la mise en service de l'ensemble du matériel sur le site.
- Les coûts de douane, d'expédition, de transport, d'assurance de transport et les taxes sont à la charge du fournisseur.
- Le délai maximal de livraison est de 3 mois à compter de la date de notification du marché.
- Le matériel est livré, à une date qui aura été convenue entre les parties, à l'adresse suivante entre 9h et 12h ou entre 14h et 16h :

CNRS UMR 6230 – CEISAM : *Chimie Et Interdisciplinarité, Synthèse, Analyse, Modélisation*
Faculté des Sciences et Techniques, bâtiment 22
2 Rue de la Houssinière, BP 92208
44322 NANTES CEDEX 3

- Le délai d'installation et de mise en service maximal est de 1 mois à compter de la date de livraison.



III.2 Admission de la prestation

Les opérations de vérifications nécessaires à l'admission des prestations se font selon les modalités décrites ci-dessous :

- Tests sur des standards et vérifications des spécifications annoncées par le constructeur pour chaque configuration d'analyse.

Après la déclaration de fin d'installation du matériel par le fournisseur, celui-ci procède, dans les 15 jours calendaires suivants, aux tests pour prononcer la réception de l'instrument, objet du marché d'acquisition.

Ces tests, d'une durée maximale de 30 jours calendaires, ont pour but de vérifier la bonne adéquation du matériel livré avec : d'une part les spécifications annoncées par le fournisseur lors de sa réponse au présent cahier des charges, et d'autre part, les exigences de l'unité CNRS.

A l'issue de cette vérification d'aptitude, suivie de la vérification de service régulier, la réception de la prestation, objet du présent marché, pourra être prononcée.