COMPAGNIE NATIONALE DES EXPERTS JUDICIAIRES DE LA CHIMIE

CNEJC

CHIMIE & COMPAGNIES

№18 - JANVIER 2025

RECUEIL TECHNICO-JURIDIQUE DES EXPERTS CHIMISTES AU SERVICE DES ANALYSES EXPERTALES MULTISECTORIELLES

ÉDITO

« L'humilité est la grandeur et la force de l'expert de justice »

L'expert de justice est une personne possédant les qualités et les faiblesses humaines. Dans la mesure du possible, l'expert, conscient de ses faiblesses, doit les atténuer pour atteindre la sérénité et l'humilité souhaitables à sa fonction.
La capacité humaine à respecter ces règles basiques doit s'étendre à la vie courante, au-delà de l'expertise proprement dite. Cette femme ou cet homme trouvera ainsi le respect pour lui-même et la confiance de son entourage.
Les règles de bonne conduite morale constituent la base de notre déontologie.
Ces règles, définies par l'article 237 du Code de procédure civile, précisent que le technicien désigné doit accomplir sa mission avec objectivité et impartialité.

Les principales règles de déontologie peuvent se résumer ainsi :
- l'expert judiciaire doit être une personne expérimentée dans un art, une science, une technique ou un métier. Il est au service de la justice.
- Avant d'accepter une mission, l'expert consulté doit s'assurer qu'il dispose des compétences techniques nécessaires.
- Il doit remplir sa mission avec impartialité et loyauté, en faisant abstraction de toute opinion ou idée préconçue ; et doit assurer le strict respect du principe du contradictoire.
- Il doit conserver une indépendance absolue, ne cédant à aucune pression ou influence de quelque nature que ce soit. Cette indépendance implique que l'expert fasse état de toutes les relations qu'il a pu avoir avec les parties directement ou indirectement concernées par la mission.
- Il est astreint, tout au long de l'expertise, au respect des valeurs de probité, de conscience, d'honneur, de loyauté, de modération et de courtoisie.
- Enfin, l'expert judiciaire sollicité en tant qu'expert privé, doit faire en sorte qu'aucune ambiguïté n'existe sur le fait que son avis ne constitue pas une expertise de justice.
L'expert qui enfreint une ou plusieurs des règles de déontologie doit s'attendre à des sanctions.

Simon CHOUMER, VP
Expert judiciaire en génie chimique

SOMMAIRE

LES NEWS

P2. Retour sur...

P4. Paroles de présidents - Fabrice Mazaud

P6. L'actualité de la compagnie

P7. 2 Membres de la CNEJC - André Alran & Patrice Saint-Hérant

JUSTICE & ORGANISATION

P9. Charte

SCIENCES & TECHNIQUES

P13. Fiche technique d'analyse

P14. Micropolluants et contamination des milieux naturels

P19. Le mystère de la glace

COMITÉ DE RÉDACTION

Alexandre Fleurentin, alexandre.fleurentin@metallocorner.fr - Stephane Pirnay, expertoxca@gmail.com - Jean Pédelaborde, jean.pedelaborde@gmail.com - Simon Choumer, schoumer@9online.fr

Toutes les informations compilées dans ce recueil sont fournies à titre informatif et n'engagent en aucun cas pénalement et civilement la Compagnie Nationale des Experts Judiciaire de la Chimie ainsi que les membres du comité de rédaction.

RETOUR SUR ... L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE NOTRE COMPAGNIE

Le 3 juin 2024, à la Maison des Polytechniciens, nous avons eu notre Assemblée Générale au cours de laquelle ont été abordés les points majeurs concernant le fonctionnement de notre Compagnie, les actions de l'année passée comme nos matinales, la publication de notre revue ainsi que les perspectives futures et notamment notre colloque de 2025 célébrant le centenaire de notre Compagnie.

Cette session a permis aux membres de faire le point sur les activités et les projets en cours, renforçant ainsi l'engagement de chacun dans les objectifs communs.
L'Assemblée Générale a aussi été l'occasion pour le Président de souligner l'importance de la formation continue dans les domaines de l'expertise judiciaire et de l'environnement, contexte dans lequel les experts sont amenés à intervenir.



1 er rang de gauche à droite : *Sonia Arrouas président honoraire du TC d'Évry, Corinne Lepage ancien ministre de l'environnement, Sylvie Schlanger procureure générale à la CA de Paris, Béatrice Fouchard-Tessier responsable du contrôle des expertises au TC de Paris*
2ème rang de gauche à droite : *Simon Choumer, vice-président de la CNEJC, Stephane PIRNAY président de la CNEJC*

Après une courte pause, les participants ont été invités à débuter les sessions de formation.
La première intervention a été réalisée par le Dr Stephane Pirnay, président du CNEJC, qui a introduit le programme en une brève allocution posant les bases des thèmes qui allaient être explorés durant l'après-midi.

Intervention de Mme la Ministre Corinne Lepage : Expertise et Environnement

Mme Corinne Lepage, avocate et ancienne ministre, est intervenue sur le thème « Expertise & Environnement ». Elle a présenté son exposé pendant trente minutes suivies de multiples questions des membres avec des débats passionnants.
En tant qu'avocate et personnalité reconnue dans le domaine de l'environnement, Mme Lepage a mis en lumière les enjeux actuels de l'expertise environnementale, notamment en ce qui concerne la responsabilité des experts dans l'évaluation et la gestion des risques écologiques. Elle a abordé les aspects juridiques et techniques nécessaires pour comprendre et gérer les problématiques environnementales complexes, en s'appuyant sur des exemples concrets et récents.
Les questions des participants ont permis d'approfondir certains points spécifiques de la présentation, tels que l'évaluation des dommages environnementaux et la prise en compte des nouvelles législations environnementales dans le cadre de l'expertise judiciaire.

RETOUR SUR ... L'ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE NOTRE COMPAGNIE

Table Ronde sur le thème « Loi et Environnement »

Pendant une heure, la table ronde a réuni plusieurs personnalités du monde judiciaire pour discuter des relations entre la loi et l'environnement. Les intervenantes éminentes magistrates étaient :

- Mme Béatrice Fouchard-Tessier, 1ère vice-présidente adjointe du Tribunal judiciaire de Paris et responsable du service du contrôle des expertises,
- Mme Sylvie SCHLANGER, avocate générale cheffe du pôle des affaires civiles à la Cour d'appel de Paris,
- Mme Sonia ARROUAS, ancienne présidente du Tribunal de commerce d'Évry et présidente de la Conférence Générale des Juges Consulaires de France (2021-2023).

Ces magistrates ont abordé les différents aspects de l'application de la loi en matière environnementale et les défis auxquels les juridictions sont confrontées dans le traitement des affaires écologiques. L'objectif de cette table ronde était d'approfondir la compréhension des interactions entre les lois existantes et les exigences croissantes en matière de protection de l'environnement, dans un contexte où les juges et les experts doivent coopérer étroitement. Elles ont également évoqué la complexité de l'élaboration de jugements dans des cas environnementaux, notamment en raison des évolutions rapides des connaissances scientifiques et des exigences légales. Les discussions avec l'auditoire ont permis d'éclaircir certains enjeux pratiques, comme l'impact de la législation européenne sur les décisions locales et les spécificités de la jurisprudence environnementale.

Dernière session : L'Expertise du vin

La dernière présentation de la journée a été donnée par Michel Dumoulin, expert judiciaire et membre de la CNEJC, qui a exposé brillamment le sujet de « L'expertise du vin ». Pendant cette session, Michel Dumoulin a partagé son savoir sur l'expertise viticole, un domaine particulier de l'expertise judiciaire qui comprend l'évaluation de la qualité, de l'origine et de la valeur des vins. Cette présentation a permis d'illustrer comment l'expertise chimique s'applique à des secteurs spécifiques, en mettant l'accent sur la précision de l'analyses chimiques des produits inhérents à la production du vin. L'importance de la connaissance des terroirs et des critères de production qui entrent en jeu dans l'analyse chimique des vins. Les échanges avec les participants ont permis de discuter des défis et des nuances propres à ce domaine, notamment face aux enjeux commerciaux et aux fraudes potentielles dans l'industrie viticole.

Moment de convivialité : apéritif et dîner

Après les sessions de formation, la journée s'est conclue par un moment de convivialité avec un apéritif suivi d'un dîner. Ce moment de détente a permis aux participants de poursuivre les échanges de manière informelle, de créer des liens, de partager des expériences et d'approfondir les discussions abordées durant les sessions de la journée.

Cette journée de formation et d'échanges aura contribué à renforcer les compétences des participants dans le domaine de l'expertise judiciaire, tout en enrichissant leur compréhension des défis écologiques et des responsabilités associées

Benoît PIRO.

PAROLES DE PRÉSIDENT

Fabrice MAZAUD, Président de la CEACAP

"Le doute est l'école de la vérité", Francis Bacon

L'expert n'est qu'un auxiliaire de justice, un simple collaborateur occasionnel de la justice.
Pourtant, les réponses apportées par l'expert sont très souvent associées à une présomption de véracité : la confiance accordée à l'expert est sans doute souvent disproportionnée au regard du caractère incertain de sa parole s'il n'a pas pris soin de s'appuyer sur les seuls faits et pièces du dossier.

L'expert est toujours considéré comme un homme de savoir dans son domaine de compétence, ce qui est parfois vrai, mais il peut aussi se tromper si, par péché d'orgueil, il se laisse aveugler par ses propres connaissances ou par son expérience.
Il peut aussi se tromper indépendamment de tout péché d'orgueil : il doit l'accepter.

C'est là un risque majeur pour un expert désigné dans le contexte d'une expertise judiciaire et la seule attitude pour s'en prémunir, c'est d'exercer sa capacité à douter.

Accepter l'exercice raisonné du doute, une «vérité expertale» qui ne se conjugue que rarement au singulier, mais aussi en tenant compte d'un avis qu'il faut finalement donner au mieux de sa connaissance du dossier en réponse aux questions qui ont été posées, c'est ce à quoi l'expert doit s'attacher.

Le doute doit accompagner l'expert tout au long de sa mission.
Il doit le faire avec humilité, en évitant absolument de se laisser abuser par ses connaissances et par son expérience qui constituent en fait, pour l'expert, le principal et véritable danger.

Le doute comme méthode, indispensable à la pertinence et à la justesse technique du résultat.
Si le doute doit nous habiter en permanence, l'exercice de l'expertise judiciaire consiste à mettre en œuvre les moyens adaptés pour le lever, ou à tout le moins pour le rendre raisonnable.
Les architectes en général, et donc les architectes experts de justice en particulier, sont des généralistes de la construction : c'est un avantage puisque cela leur permet d'avoir une compréhension globale des désordres qui sont l'objet même de l'expertise et donc une vision élargie des problèmes posés, mais c'est aussi un inconvénient puisqu'ils ne disposent pas des compétences scientifiques indispensables leur permettant, sur certains sujets très spécifiques, de purger le débat technique.

Ils doivent donc alors absolument s'entourer de spécialistes ingénieurs structuristes, thermiciens, géomètres, géotechniciens, … et chimistes, pour mener à bien les missions qui leurs sont confiées.
Le profane que je suis est frappé par l'étendue et la variété des domaines de la chimie, qu'elle soit analytique, inorganique, organique ou physique.
Ses domaines d'application le sont encore plus : la toxicologie, l'environnement, les normes et les règlementations, la chimie industrielle et des procédés, la chimie des matériaux, les biotechnologies, etc.

Dans de nombreuses expertises en matière de bâtiment, l'intervention d'un ingénieur chimiste est non seulement nécessaire, mais parfois absolument indispensable : les experts architectes seraient bien inspirés de s'en souvenir.

On doit citer ici le texte issu du magnifique essai de Diderot « Pensées sur l'interprétation de la nature » qui traite du concept de philosophie expérimentale, présentant les différences entre les empiriques et les rationnels : « [Parmi

les "philosophes"] les uns ont, ce me semble, beaucoup d'instruments et peu d'idées ; les autres ont beaucoup d'idées et n'ont point d'instruments. L'intérêt de la vérité demanderait que ceux qui réfléchissent daignassent enfin s'associer à ceux qui se remuent, afin que le spéculatif fût dispensé de se donner du mouvement ; que le manœuvre eût un but dans les mouvements infinis qu'il se donne ; que tous nos efforts se trouvassent réunis et dirigés en même temps contre la résistance de la nature ; et que, dans cette espèce de ligue philosophique, chacun fît le rôle qui lui convient ».

Si les architectes experts ont en effet parfois quelques idées, il ne fait aucun doute qu'ils manquent souvent d'instruments : dans ce contexte, il serait utile que les efforts de nos compagnies respectives « se trouvassent réunis et dirigés en même temps » au service d'une utopique « vérité expertale » dont nous mesurons humblement toutes et tous les limites, mais aussi au service de la pédagogie. Démontrer et exposer, plutôt que savoir et dire. C'est l'objectif commun que nous devrions nous fixer.



L'ACTUALITÉ DE NOTRE COMPAGNIE

Benoît PIRO, professeur de chimie appliquée à l'Université Paris-Cité et expert chimiste près la cour d'appel de Paris.

Ce deuxième semestre 2024 est principalement marqué par l'organisation du 100ème anniversaire de la Compagnie, qui se tiendra le 25 mars 2025 dans les locaux de la faculté de pharmacie de Paris. Cet évènement exceptionnel rassemblera non seulement tous les experts de la Compagnie, des experts venus d'autres compagnies, mais aussi des magistrats, avocats et personnalités du monde politique, judiciaire et expertal, pour des discussions de fond sur les pratiques d'aujourd'hui et de demain, mais aussi pour nous permettre d'échanger nos expériences du quotidien, dans un lieu historique remarquable. Nous comptons sur votre participation, n'oubliez pas de vous inscrire à réception de nos invitations.

Le semestre a aussi été marqué par l'organisation de deux matinales, évènements désormais bien installés, auxquelles vous pouvez participer tant en présentiel qu'à distance. C'est ainsi qu'ont été abordés des sujets aussi divers que la métallurgie au service des équipements sportifs, les technologies d'impression 3D de pièces en polymères, la balistique judiciaire ou les techniques de caractérisation physico-chimique en soutien à l'expertise. Ces matinales sont aussi l'occasion d'échanges très pratiques autour d'études de cas.

Comme vous le savez, les nouveaux experts doivent désormais suivre une formation initiale à l'expertise judiciaire avant de prétendre à l'inscription sur une liste de cour d'appel. La Compagnie mène ainsi une réflexion pour ouvrir ses Matinales à des candidats experts et contribuer à leur formation initiale, formation dont ils pourront justifier dans leur dossier de candidature. Transition toute trouvée pour rappeler qu'a été organisée le 12 décembre 2024 au Palais de Justice de Paris, comme chaque année, l'accueil des nouveaux experts inscrits auprès de la Cour d'Appel de Paris, réunion au cours de laquelle les nouveaux experts prêtent serment. C'est une occasion unique que la Compagnie saisit pour mieux se faire connaître et accueuillir les nouveaux experts judiciaires..



2 MEMBRES DE LA CNEJC

ANDRÉ ALRAN

Expert près la Cour d'Appel de TOULOUSE,
et la Cour Administrative d'Appel de TOULOUSE,
Spécialités: Utilités et fluides industriels – Pollutions Air Eau Sols - Gestion des déchets.

Expert de justice en utilités industrielles (air, eau, vapeur), pollution (air, eau, sols), déchets industriels et ménagers, restauration des sites de traitement des déchets, André est expert près la Cour d'appel de Toulouse et le tribunal administratif de Toulouse depuis 2014.
Des études d'ingénieur en génie des procédés chimiques INSA (1987) et en automatisme ENSEEIHT (1988) l'ont conduit à faire de la recherche en IA appliquée aux procédés industriels pour la Royal Society (Ecosse). En 1990, André rentre chez RAISIO Group (Finlande) pour se voir confier le déploiement des activités de chimie de spécialités pour l'industrie des papiers en Europe du Sud (France, Espagne, Italie, UK, etc.) avec la création de sites industriels et des croissances externes par acquisitions.

En 1998, André intègre la société Roussel UCLAF en région lyonnaise, société qui deviendra SANOFI. A la Direction de projet, il participe à des investissements majeurs de principes actifs pour l'industrie pharmaceutique.

En 2005, à la direction des projets, il gère le projet de l'Oncopole à Toulouse pour le groupe Sanofi.
En 2008, avec des responsabilités en central chez Sanofi, il contribue au déploiement de la fonction achat.

En 2014, il crée ALRAN & Co, entreprise experte en Ingénierie Achat. Les succès dû à sa réelle expertise technique en génie des procédés sont immédiatement au rendez-vous.

Les activités d'André pour des sites industriels à risques et à fort impacts environnementaux et son enthousiasme à partager ses compétences lui permettent d'accompagner les juridictions dans la juste compréhension de sujets techniques complexes, et ce, tout en permettant aux parties demanderesses et défenderesses de mieux comprendre leurs problématiques techniques dans le respect du contradictoire.



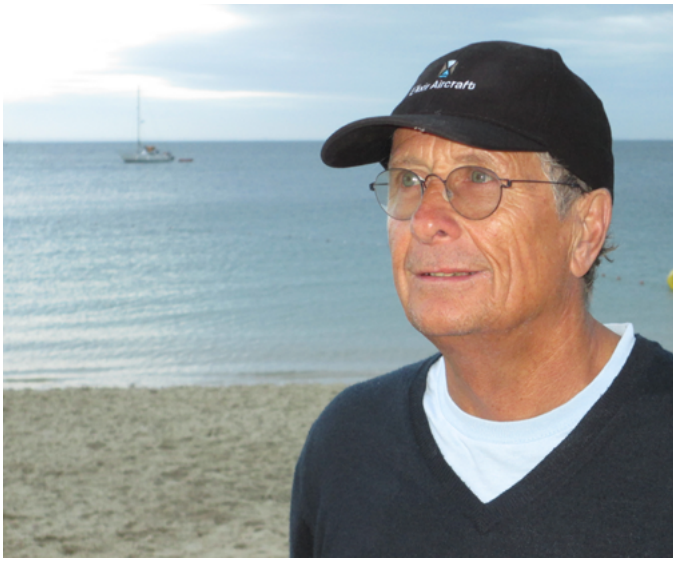
2 MEMBRES DE LA CNEJC

PATRICE SAINTHERANT

Après 10 ans à des postes opérationnels dans l'industrie pétrolière, comme ingénieur process, chef de production sur une unité de liquéfaction de gaz au Moyen Orient et « Offshore Installation Manager » d'une plateforme de compression de gaz naturel en Mer du Nord, Patrice Sainthérant s'est tourné vers l'industrie du sucre et de l'éthanol ou il a exercé des fonctions de Directeur d'usine et de Directeur du Développement International pour différentes grandes sociétés sucrières et amidonnières européennes.
Ces activités l'ont conduit à exercer des responsabilités managériales dans les pays d'Europe de l'est et en Afrique australe et à assurer des postes de développement et de direction dans les secteurs de la chimie du sucre et de l'amidon, de la production d'éthanol carburant et plus généralement de la chimie verte.

Il a fondé, en 2009, sa propre structure de conseils, STH Expert, qui héberge en autres, ses activités d'expertise judiciaire sous les rubriques : Agroalimentaire ; Pétrole, gaz et hydrocarbures ; Chimie ; Procédés de fabrication industrielle et pollution.

Patrice est diplômé de l'Ecole Nationale de Chimie de Paris et de l'Ecole Nationale du Pétrole et des Moteurs (Institut Français du Pétrole). Il est par ailleurs vice-président de la Compagnie des Experts Judiciaires près la Cour d'Appel d'Amiens et trésorier de la Compagnie Nationale des Experts Judiciaires de la Chimie.



CHARTE
POUR UNE BONNE PRATIQUE DE L'EXPERTISE JUDICIAIRE

Le comité de lecture de Chimie & Compagnies pense qu'il est important que la charte, signée le 31 mai 2023 par les présidents des cours administratives d'appel de Paris et Versailles et des tribunaux administratifs de leur ressort (Cergy-Pontoise, Melun, Montreuil, Orléans, Paris, Versailles, Nouvelle-Calédonie, Polynésie française, Wallis-et-Futuna), ainsi que par le président de la compagnie des experts près les cours de Paris et Versailles, en présence de plusieurs membres de la compagnie, soit très largement partagée.

Cette charte est destinée à définir les recommandations et bons usages que les juridictions et la compagnie des experts s'engagent à mettre en œuvre et à faire partager en matière d'expertise.

La charte est le fruit d'une réflexion menée par un groupe de travail réuni à l'initiative du vice-président du Conseil d'Etat.

Elle concrétise une volonté, partagée par le Conseil national des compagnies d'experts de justice, de diffuser les bonnes pratiques en matière d'expertise devant les juridictions administratives.

Après avoir publié la partie concernant les relations entre la juridiction et la Compagnie, nous nous intéresserons dans notre recueil N°17 aux relations entre la juridiction et l'expert.

Bonne lecture !

VI. LE RAPPORT D'EXPERTISE :

1. LA RÉDACTION DU RAPPORT :

L'expert rédige son rapport dans le souci de sa compréhension pour la juridiction qui l'a désigné et de son exploitation ultérieure. Après avoir rappelé les termes de la mission qui lui a été confiée et rendu compte du déroulement des opérations d'expertise, des pièces consultées, des constatations opérées et des observations des parties, le rapport est essentiellement consacré aux réponses aux questions posées, de préférence en suivant l'ordre et la présentation retenus par la juridiction, en y intégrant la réponse aux observations des parties. Dans le cas des expertises complexes, une synthèse récapitulative est opportune. Les pièces annexées sont précisément inventoriées.

Le rapport doit se suffire à lui-même. Il est essentiel qu'il synthétise les éléments contenus dans les éventuelles notes aux parties rédigées au fil des opérations d'expertise et notamment la note de synthèse, sans se borner à les agréger.

L'expert veille, pour ceux qui ne sont pas d'un usage commun, à bien expliciter les notions, les termes techniques et les sigles qu'il utilise.
Les conclusions du sapiteur doivent être intégrées au rapport déposé par l'expert. Dans le cas d'un collège d'experts, ceux-ci doivent établir un rapport commun.

2. LA CONCILIATION DES PARTIES (ART. R. 621-7-2 DU CJA) :

Si les parties ont acté leur conciliation au cours des opérations d'expertise dans des conditions telles qu'elles renoncent effectivement à toute action contentieuse, et à défaut pour la décision qui a défini sa mission de le prévoir explicitement, l'expert se rapproche de la juridiction pour que soit précisé le contenu attendu de son rapport, selon notamment que l'accord élaboré par les parties règle ou non le montant et l'attribution de la charge des frais d'expertise.

3. LE DÉPÔT DU RAPPORT (ART. R. 621-9 DU CJA) :

L'expert dépose son rapport auprès du greffe de la juridiction, selon les modalités prévues par cet article.

4. LE CONTRÔLE DU RAPPORT :

La juridiction procède, à la réception du rapport, à un premier examen de celui-ci, afin notamment de s'assurer que l'expert a répondu à l'ensemble des questions qui lui ont été posées.

L'expert peut être ainsi sollicité pour compléter son rapport dans le cas où les réponses apportées révèleraient un manque, un doute ou une ambiguïté. Si le complément à apporter s'avère trop important, la juridiction refuse le dépôt du rapport initial et demande à l'expert la remise d'un nouveau rapport.

VII. LA RÉMUNÉRATION DE L'EXPERT :

Il est rappelé qu'en application des dispositions de l'article R. 621-14 du CJA, « l'expert ou le sapiteur ne peut, en aucun cas, et sous quelque prétexte que ce soit, réclamer aux parties ou à l'une d'entre elles une somme quelconque en sus des allocations provisionnelles prévues à l'article R. 621-12, des honoraires, frais et débours liquidés par le président du tribunal ou de la cour ».

1. L'ALLOCATION PROVISIONNELLE (ART. R. 621-12 ET R. 621-12-1 DU CJA) :

La juridiction peut ordonner le versement d'une allocation provisionnelle :

- au début des opérations d'expertise pour donner une garantie à l'expert ou au sapiteur quant au paiement effectif de ses honoraires et des frais qu'il doit engager, lorsqu'il apparaît légitime qu'il recherche une telle garantie[3];
- au cours des opérations d'expertise, lorsque l'expert a déjà engagé ou doit engager des frais substantiels ou a lui-même déjà accompli un travail substantiel ou lorsque le sapiteur a satisfait à l'ensemble de ses diligences, sachant que la taxation des frais et honoraires de ce dernier ne pourra intervenir qu'après le dépôt du rapport final de l'expert (cf. VII.3) ;
- à l'issue des opérations d'expertise ordonnées par jugement ou arrêt avant dire droit, pour permettre de rémunérer l'expert, sans attendre le jugement ou l'arrêt final.

En cas de non-paiement de l'allocation provisionnelle par la partie débitrice dans le mois qui suit la notification de la décision la mettant à sa charge, il appartient à l'expert de saisir la juridiction pour la mise en œuvre de la procédure prévue par l'article R. 621-12-1 du CJA.

2. LA TAXATION DES FRAIS ET HONORAIRES (ART. R. 621-11 DU CJA) :

L'expert s'engage à fixer ses honoraires avec tact et mesure, s'agissant de la rémunération d'une collaboration au service public de la justice. La juridiction assure le contrôle du montant des honoraires ainsi demandés, selon la difficulté des opérations que l'expert a menées, l'importance, l'utilité, l'effectivité et la nature de son travail.

Dans le cas de désignation d'un collège d'experts, la répartition des frais et honoraires entre chacun d'entre eux est précisée.

Le remboursement des frais est assuré dans les conditions définies ci-après.

Les frais ne sont ni des coûts ni des pertes. Ils constituent des dépenses effectivement et spécifiquement exposées pour les besoins de l'exécution de la mission, et qui, par conséquent, ne l'auraient pas été dans d'autres circonstances. Sont donc exclus le remboursement d'une quote-part de frais de structure, d'amortissement de matériels, de téléphonie, d'internet ou encore de coûts salariaux notamment de secrétariat, ainsi que le remboursement du coût lié à la perte de bénéfices subie par l'expert du fait d'avoir renoncé à la réalisation de prestations plus lucratives pour se consacrer à sa mission.

En principe, les frais doivent être dûment justifiés par des factures en bonne et due forme.

Les frais de « mise au net du rapport », selon les termes de l'article R. 621-11 du CJA, soit la dactylographie et la mise en page, sont réputés couverts par le montant des honoraires. Cela n'interdit pas, toutefois, la prise en charge de tels frais lorsqu'ils sont justifiés par des factures.

Les frais de reprographie, non justifiés par des factures, ne peuvent être remboursés qu'à hauteur du coût marginal de la copie (de l'ordre de 0,05 euros pour une page noir et blanc et 0,25 euros pour une page couleur). Les frais d'utilisation de l'application Opalexe sont, bien entendu, remboursés.

Le temps de déplacement est déclaré au titre du nombre d'heures effectué mais il n'est rémunéré qu'à hauteur de la moitié d'une vacation ; l'utilisation d'un véhicule personnel est indemnisée sur la base du barème kilométrique forfaitaire permettant l'évaluation des frais de déplacement relatifs à l'utilisation d'un véhicule par les bénéficiaires de traitements et salaires optant pour le régime des frais réels déductibles (3° de l'art. 83 du code général des impôts).

[3] *Une telle garantie n'est, en tout état de cause, pas nécessaire lorsque la personne qui a demandé le prononcé d'une* expertise *est bénéficiaire de l'aide juridictionnelle.*
Les frais ne doivent être remboursés que dans la mesure de leur nécessité. Le remboursement de frais excessifs doit donc être refusé et la juridiction doit, par conséquent, apprécier la part de leur montant qui est justifiée par les diligences

accomplies par l'expert et celle qui résulte de pures convenances personnelles (catégorie de l'hôtellerie ou de la restauration ou classe de transport aérien par exemple).
Dans le cas où la juridiction envisage de fixer la rémunération de l'expert ou du sapiteur à un montant inférieur au montant demandé, l'expert est invité à présenter ses observations sur les réfactions ainsi envisagées (dernier alinéa de l'art. R. 621-11 du CJA).

3. LA TAXATION DES FRAIS ET HONORAIRES DU SAPITEUR (ART. R. 621-11 DU CJA) :

L'expert communique à la juridiction, sous son couvert, l'état des frais et honoraires établi par le sapiteur. Il en va de même pour une demande d'allocation provisionnelle.

L'ordonnance de taxation établie par la juridiction fait apparaître distinctement le montant des frais et honoraires dû à l'expert et celui dû au sapiteur.

4. LE PAIEMENT DE L'EXPERT PAR LA PARTIE CONCERNÉE :

La juridiction ne dispose pas de pouvoir coercitif pour contraindre la partie chargée du paiement des frais d'expertise de s'en acquitter. Il lui appartient néanmoins d'accompagner l'expert dans les difficultés qu'il pourrait rencontrer, d'abord en intervenant auprès de la partie récalcitrante, particulièrement s'il s'agit d'une personne publique, puis, le cas échéant, en lui rappelant les outils dont il dispose pour recouvrer de manière forcée ses honoraires, notamment auprès d'une personne privée. La décision du juge mettant à la charge d'une partie les frais de l'expertise constituant un titre exécutoire – que cette décision émane du président de la juridiction ou du juge chargé des opérations d'expertise, si l'expertise a été ordonnée en référé, ou qu'elle émane d'un jugement se prononçant sur le fond du litige –, l'expert peut demander à un commissaire de justice d'en poursuivre le recouvrement forcé, en application de l'article L. 111-2 du code des procédures civiles d'exécution. Dans le cas où les diligences effectivement accomplies par l'expert, et en particulier le recours à un commissaire de justice, s'avèrent infructueuses, la juridiction orientera l'expert vers les services de la direction de la prospective et des finances (DPF), au sein du secrétariat général du Conseil d'Etat, qui assurera le paiement des frais d'expertise, en application de la jurisprudence Aragon (CE, Sect., 26 février 1971, n° 77459).

5. LA PRISE EN CHARGE AU TITRE DE L'AIDE JURIDICTIONNELLE

Les frais d'expertise sont pris en charge par l'Etat lorsqu'ils incomberaient, si elle n'avait pas cette aide, à une partie qui bénéficie de l'aide juridictionnelle (art. 24 de la loi n° 91-647 du 10 juillet 1991 et art. R. 761-1 du CJA). Afin que l'expert et, le cas échéant, le sapiteur soient rémunérés, le greffe ou le service des expertises de la juridiction adresse au service administratif régional (SAR) de la Cour d'appel une demande de paiement comprenant le mémoire ou état de frais de l'expert, l'ordonnance de taxation de l'expertise, un RIB ou RIP de l'expert et la décision accordant l'aide juridictionnelle.

VIII. LES SUITES DE L'EXPERTISE :

Si elle juge utile de convoquer une séance, en application de l'article R. 621-10 du CJA, pour demander à l'expert de fournir des explications en présence des parties, la juridiction le fait dans un délai raisonnable à la suite du dépôt du rapport, cette procédure ne pouvant, en effet, s'avérerutile qu'à la condition que l'expert dispose encore de la mémoire du dossier.
Par ailleurs, la juridiction veille à communiquer à l'expert une copie du jugement ou de l'arrêt rendu, à la suite de son expertise, ce jugement étant de nature à constituer, pour l'expert, un retour très instructif sur son travail, non seulement lorsque l'expertise a été ordonnée par jugement avant dire droit, le jugement au fond déterminant, au surplus, la charge des dépens, mais également dans le cas où il a été statué au fond après qu'une expertise a été ordonnée en référé.

A Paris, le 31 mai 2023

FICHE TECHNIQUE D'ANALYSE

COLORIMÉTRIE ANALYTIQUE

Benoît PIRO, professeur de chimie appliquée à l'Université Paris-Cité et expert chimiste près la cours d'appel de Paris.

Principe	Par colorimétrie, on entend mesurer une couleur, à la fois sa longueur d'onde et son intensité. Nous nous limiterons ici à la colorimétrie utilisée en analyse biomédicale. Nous l'avons probablement toutes et tous utilisée à l'occasion de la pandémie virale récente. La colorimétrie quantitative est basée sur la loi de Beer-Lambert et revient à mesurer l'absorbance A d'une substance en fonction du coefficient d'extinction molaire ε, du trajet optique de la lumière l et de la concentration C de l'espèce responsable de la couleur : $A = \varepsilon \times C \times l$ A est et s'exprime sans unité, ε est le coefficient d'extinction molaire, donné en $L.mol^{-1}.cm^{-1}$. C est la concentration de l'espèce étudiée responsable de la couleur, en $mol.L^{-1}$. l est le trajet optique (distance que parcourt la lumière dans le milieu coloré), donné en cm. L'application principale, en laboratoire d'analyses biomédicales, repose sur l'utilisation d'une enzyme (souvent la HRP, Horse Radish Peroxidase ou peroxydase du Raifort) capable de catalyser l'oxydation d'une molécule incolore « Red » en une molécule oxydée colorée « Ox », par le peroxyde d'hydrogène H_2O_2. Prenons par exemple la reconnaissance d'une hormone de croissance (GH2) par un anticorps spécifique marqué par la HRP (Ac-HRP). Pour une seule molécule de GH2 détectée, l'HRP va produire un très grand nombre (n) de molécules oxydées : c'est l'amplification. GH2 + Ac-HRP = [GH2/Ac-HRP] (étape de reconnaissance) [GH2/Ac-HRP] + n H_2O_2 + n Red = [GH2/Ac-HRP] + n Ox + n H_2O_2 (amplification) Puisque C = [Ox], alors l'absorbance est d'autant plus forte qu'il y a de GH2 détectée. On peut établir une courbe de calibration A = f([GH2]). C'est une méthode quantitative. Une prochaine fiche technique pourra s'intéresser à l'électrochimiluminescence, technique elle-aussi très utilisée en analyse biomédicale et plus sensible que la colorimétrie traditionnelle.
Objet(s) de l'identification	Amplification d'une reconnaissance moléculaire.
Exemples d'application	Analyse chimique, biologique et biochimique
Champs observé	Tests ELISA ou assimilés
Zone analysée	Test en laboratoire, voire tests sur le terrain / au chevet du patient

RETOUR AU SOMMAIRE

SCIENCES ET TECHNIQUES

MICROPOLLUANTS : FOCUS SUR CES MOLECULES QUI CONTAMINENT NOS MILIEUX NATURELS

Pauline CHEDOZEAU, Dr Stephane PIRNAY , Président CNEJC
EXPERTOX – www.expertox.eu



INTRODUCTION

Microplastiques, perturbateurs endocriniens (PE), résidus de pesticides et de médicaments … sont devenus des préoccupations environnementales majeures en raison de l'utilisation croissante de produits issus de l'industrie chimique par nos sociétés. Depuis 1970, la production mondiale de cette industrie a été multipliée par cinq, et par trois dans les pays développés. [1] Cette croissance rapide dépasse celle d'autres facteurs du changement global, tels que les émissions de CO2 ou d'éléments azotés, et ne montre aucun signe de ralentissement. À titre d'exemple, le nombre de molécules répertoriées dans le registre international des produits chimiques (CAS) est passé de 20 millions en 2000 à 180 millions en 2020. Parmi celles-ci, plusieurs dizaines de milliers sont utilisées commercialement et peuvent se retrouver dans différents compartiments de l'environnement. [2]

Certains de ces composés chimiques sont dispersés dans l'environnement dès leur production, mais surtout lors de leur utilisation. En raison de leurs caractéristiques physico-chimiques et de leurs sources d'émission, ils sont principalement présents dans l'eau, les sédiments, les organismes vivants, l'atmosphère et les sols. Une fois introduits dans les milieux aquatiques, ils peuvent être transférés le long de la chaîne alimentaire par divers processus, exposant ainsi les organismes aquatiques, leurs prédateurs et finalement l'Homme. De plus, les effets néfastes sur la biodiversité sont observables dès de faibles concentrations (inférieures au µg/L) : ces composés se nomment **micropolluants**.[3]

Le plan micropolluant (2016 – 2020) définit les micropolluants comme « des substances indésirables détectables dans l'environnement à très faible concentration. Leur présence est en partie due à l'activité humaine et peut engendrer des effets négatifs sur les organismes vivants en raison de leur toxicité, de leur persistance et leur bioaccumulation ». [4]

La nature des micropolluants est diverse : **métaux lourds, substances organiques** (phtalates, bisphénols, PCB…), **pesticides ou métabolites de pesticides, biocides, perturbateurs endocriniens, résidus de médicaments.**

Ainsi, l'augmentation de leur présence dans l'environne-

ment et leurs effets fait des espèces polluantes un enjeu majeur de la santé publique et de l'environnement.

PRODUCTION

Présence dans l'environnement signifie production, et la production des micropolluants est en partie due à l'activité humaine. Les micropolluants de l'eau englobent une grande variété de substances, qu'elles soient minérales ou organiques, avec des propriétés chimiques diverses. Ils sont issus de divers produits employés dans les secteurs agricole, industriel, urbain. [5]

L'activité urbaine conduit à la contamination des eaux usées. Les effluents hospitaliers contiennent notamment des résidus de médicaments tels que les antibiotiques et anticancéreux. Les eaux usées domestiques peuvent contenir divers produits d'entretien, cosmétiques voire pesticides utilisés pour traiter les animaux domestiques, comme les produits antiparasitaires.
L'activité agricole engendre la pollution des sols, en particulier par les pesticides et contribue à la pollution des eaux par ruissellement et infiltration. Cet effet s'applique aussi aux produits de jardinage qui, lors de pluies, peuvent ruisseler et contaminer les cours d'eau.
L'activité industrielle produit des eaux usées contenant divers polluants liés aux activités telles que la fabrication de plastiques, de détergents, l'utilisation de solvants (peinture), de produits pétroliers et de métaux.

Ces pollutions convergent vers les fleuves, mers et océans et se retrouvent dans nos aliments et eaux potables.
Les micropolluants présents dans les milieux aquatiques peuvent avoir une action toxique sur les organismes vivants, même à de faibles concentrations.

IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT ET LA SANTE

Certains micropolluants ne sont pas forcément toxiques aux concentrations dans lesquelles on les trouve dans les milieux aquatiques. Cependant, ils peuvent être « dangereux » pour la vie aquatique voir pour l'Homme. Pour être plus clair, évoquons un cas concret.
Une des caractéristiques des micropolluants est leur persistance dans l'environnement conduisant à leur **bioaccumulation**. Par exemple, les pesticides sont lipophiles. Ainsi, les poissons gras situés en bout de chaîne alimentaire, tel que le thon et le saumon, accumulent une quantité significative de ces substances. Plus l'organisme est en contact avec la source de pollution, plus la concentration en micropolluants peut devenir importante. C'est à ce stade qu'un « danger » peut être présent pour les animaux, mais également pour l'Homme à la suite de leur consommation.

Les organismes contaminés peuvent subir divers effets, tels que des modifications génétiques, augmentation de la mortalité, atteinte du système nerveux, troubles gastriques…

CADRE REGLEMENTAIRE

La réglementation de l'eau est complexe et stricte.
La **directive cadre de l'eau** (DCE) et plusieurs autres directives communautaires édifient le contexte législatif européen dans le domaine de l'eau. Une directive est un acte juridique européen établi par le Conseil de l'Union européenne en collaboration avec le Parlement européen, ou par le Conseil seul dans certaines situations. Elle impose aux États destinataires un objectif commun et un délai pour l'atteindre. Les moyens utilisés pour y parvenir sont quant à eux déterminés nationalement. [6]
Plusieurs directives réfinissent les micropolluants soumis à une règlementation, les seuils maximaux autorisés… Pour les eaux de surface par exemple, les directives suivantes sont utiles :

Directive 2000/60/CE [7] : établit des règles pour mettre fin à la détérioration de l'état des masses d'eau de l'Union européenne (UE) et parvenir au « bon état » des rivières, lacs et eaux souterraines en Europe. Pour cela, elle requiert une diminution progressive des émissions de substances prioritaires, celles qui représentent un danger notable pour les écosystèmes aquatiques. De plus, elle stipule l'élimination des substances qualifiées de "dangereuses prioritaires", à savoir celles qui sont persistantes, bioaccumulables et toxiques (PBT).
L'objectif général était d'atteindre, en 2015, le bon état des différents milieux (eaux superficielles - douces et côtières - et eaux souterraines) sur l'ensemble du territoire européen
Directive 2006/118/CE [8] : protection des eaux souterraines contre la pollution et la détérioration. Elle interdit ou limite l'émission de certaines substances vers les aquifères (= nappes).

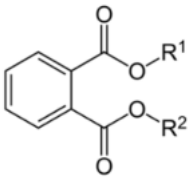
Directive 2013/39/UE [9] : modifie les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE qui établissent des normes de qualité environnementale (NQE) dans le domaine de l'eau. Ces directives ont été intégrées dans le droit français par le biais de deux arrêtés datant du 25 janvier 2010. L'un de ces arrêtés concerne les méthodes et les critères utilisés pour évaluer l'état écologique, l'état chimique et le potentiel écologique des eaux de surface. L'autre arrêté établit le programme de surveillance de l'état des eaux. Par ailleurs, un autre arrêté datant du 17 décembre 2008 transpose la directive relative à la protection des eaux souterraines.

En croisant les différentes directives sur l'eau, on peut recenser **45 substances désignées comme des micro-polluants.** Parmi celles-ci, 41 substances représentent une menace pour l'état chimique des eaux. Il s'agit des 20 substances prioritaires et des 13 substances dangereuses prioritaires établies par la Directive-Cadre sur l'Eau (DCE), auxquelles s'ajoutent 8 polluants provenant de la liste 1 de la directive 2006/11.

FOCUS SUR DEUX FAMILLES DE MICROPOLLUANTS

LES PHTALATES

Les phtalates sont des composés chimiques caractérisés par la présence d'un anneau benzénique et de deux groupes carboxylates, formant une structure diester. Ils sont principalement utilisés dans des applications industrielles. Parmi les composés les plus fréquemment utilisés, on trouve le BBP (phtalate de benzylbutyle), le DBP (phtalate de dibutyle), le DEP (phtalate de diéthyle) et le DEHP (phtalate de di-2-éthylhexyle).



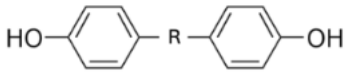
Formule générale des phtalates

Depuis quelques années, diverses agences gouvernementales, des groupes environnementaux ainsi que le public en général expriment une inquiétude croissante concernant la présence répandue des phtalates dans les produits de consommation. Ces phtalates sont retrouvés dans une variété de produits courants, tels que les adhésifs, les revêtements de sol en vinyle, les huiles lubrifiantes, les condensateurs électriques, les détergents, les solvants, les produits pharmaceutiques, les fils et câbles électriques ainsi que les produits cosmétiques, notamment les parfums, les déodorants, les lotions après-rasage, les shampooings, les aérosols capillaires et les vernis à ongles.

Les principales voies d'exposition aux phtalates chez l'homme incluent le contact direct avec l'air, l'eau, les aliments et les objets portés à la bouche. La libération des phtalates dans ces divers milieux est rendue possible par le faible lien covalent entre ces composés et les polymères. L'ingestion d'aliments emballés avec des matériaux contenant des phtalates reste une source significative d'exposition pour la population générale. [10] Selon une étude publiée en 2003, il est estimé que 12 % de la population générale en Allemagne dépasserait la dose journalière tolérable recommandée par la Communauté européenne pour le DEHP (37 mg/kg de poids corporel par jour).[11]
Les phtalates présentent différents niveaux de toxicité. Parmi eux, le DEHP se distingue par son potentiel de toxicité plus élevé par rapport aux autres phtalates : effet sur le système endocrinien, la reproduction, le foie. [12]

LES BISPHÉNOLS

Les bisphénols sont une classe de composés chimiques organiques comportant deux groupes phénol. En général, ces groupes sont reliés par un pont méthyle, ce qui fait de la molécule un dérivé du diphénylméthane. Toutefois, il existe des exceptions, telles que les bisphénols S, P et M, qui ne suivent pas cette structure.



Formule générale des bisphénols

Les bisphénols sont utilisés pour la production de polymères et de résines, servant à la fabrication de matériaux plastiques (alimentaires et non-alimentaires). Ils ont la capacité de migrer du contenant vers le contenu. Si le contenu correspond à des denrées alimentaires ou des boissons, les bisphénols sont alors susceptibles d'être

ingérés par le corps humain. De ce fait, une attention particulière doit être portée à la toxicité et à l'impact sur l'environnement de cette famille de molécules. [13]

De nombreux bisphénols peuvent affecter la fertilité et perturber le système hormonal chez les humains et les animaux. Ils peuvent également causer des allergies cutanées. Une étude menée par l'ANSES a démontré à la suite de l'expertise d'une série de bisphénols, que la structure commune qu'ils partagent leur confère des propriétés oestrogéniques. Les bisphénols peuvent donc impacter la régulation du cycle menstruel, le développement pubertaire et le métabolisme des graisses et du cholestérol. [14]

Le bisphénol A, composé le plus connu et utilisé, est également la molécule pour laquelle le plus de risques pour l'Homme et l'environnement a été révélé : toxicité pour la reproduction et la vie aquatique, irritations oculaires et respiratoires… Il a été placé sur la liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC) avec le bisphénol B et le 2,2-bis(4'-hydroxyphényl)-4-méthylpentane. Ainsi, en raison de leurs propriétés dangereuses, l'utilisation de certains bisphénols a été ou est actuellement restreinte au sein de l'UE pour protéger la santé humaine et l'environnement.

REDUCTION DES MICROPOLLUANTS : SURVEILLANCE ET SENSIBILISATION

Il existe plusieurs leviers d'action pour lutter contre les micropolluants : réduire la pollution à sa source, améliorer les outils de surveillance et renforcer les efforts de sensibilisation. Pour être efficaces, ces actions doivent être mises en œuvre de manière combinée.

Actuellement, nous disposons de méthodes et d'instruments analytiques de plus en plus avancés, capables de détecter et de quantifier des traces de polluants de plus en plus infimes. Cependant, la surveillance des micropolluants rencontre encore plusieurs difficultés pratiques.
- Grand nombre de composés à analyser. [15]
- Produits de dégradation difficilement analysables.
- Choix crucial de la méthode d'échantillonnage adoptée.
- Méthodes d'extraction et d'analyse adaptées.

Le dispositif de surveillance s'articule autour de deux piliers : le suivi des milieux aquatiques naturels et le suivi des eaux destinées à la consommation humaine. La DCE définit un cadre européen concernant la surveillance des milieux aquatiques naturels. Cependant, les substances finalement recherchées ne représentent qu'une fraction des nombreuses molécules potentiellement nuisibles aux milieux naturels.
Les micropolluants et la compréhension des mécanismes de contamination de l'eau et des milieux aquatiques sont essentielles pour limiter les contaminations, poser des diagnostics précis et développer des solutions innovantes pour lutter contre ces pollutions.
Pour cela, chacun peut agir à son niveau via différentes actions :
- Adopter une routine minimaliste pour le ménage et les cosmétiques. Moins il y a de produits, moins il y a de risques de pollution et de dangers pour la santé.
- Opter pour des produits naturels ou éco-labellisés.
- Réduire voire supprimer l'utilisation de plastique dans son quotidien.
- Privilégier une consommation responsable : choisir l'agriculture durable, la mode de seconde main et/ou éthique, réduire les achats neufs, notamment ceux contenant du plastique.





RÉFÉRENCES

[1] Staub, P.-F. Conduire un diagnostic « micropolluants » sur un territoire urbain.

[2] Bernhardt, E. S., Rosi, E. J. & Gessner, M. O. Synthetic chemicals as agents of global change.
Frontiers in Ecology and the Environment 15, 84–90 (2017).

[3] dossier_presse_micropolluants.pdf. https://www.eau-seinenormandie.fr/sites/public_file/inline-files/dossier_presse_micropolluants.pdf.

[4] plan-micropolluants-2016-2021.pdf. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/plan-micropolluants-2016-2021.pdf.

[5] Les Micropolluants Dans l'eau, d'où Viennent-Ils ? Et Comment Agir ? 8 Mar. 2022, https://eau-grandsudouest.fr/usages-enjeux-eau/eau-grand-sud-ouest/micropolluants-dans-eau-ou-viennent-ils-comment-agir.

[6] Normes de qualité environnementale applicables aux eaux de surface | EUR-Lex.
https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/environmental-quality-standards-applicable-to-surface-water.html.

[7] Directive 2000/60/CE Du Parlement Européen et Du Conseil Du 23 Octobre 2000 Établissant Un Cadre Pour Une Politique Communautaire Dans Le Domaine de l'eau.

[8] Directive Européenne n°2006-11 du 15 février 2006 du Parlement européen et du Conseil concernant la pollution causée par certaines substances dangereuses déversées dans le milieu aquatique de la Communauté (version codifiée) - Légifrance.
https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000523465

[9] Directive 2013/39/UE du Parlement européen et du Conseil du 12 août 2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE en ce qui concerne les substances prioritaires pour la politique dans le domaine de l'eau - Légifrance.

[10] U.S. Department of Health and Human Services, 2003.
Second national report on human
exposure to environmental chemicals. Centers for disease control and prevention, DHHS, 251 pp.

[11] Koch, H. M., Drexler, H. & Angerer, J. An estimation of the daily intake of di(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP) and other phthalates in the general population. Int J Hyg Environ Health 206, 77–83 (2003).

[12] Lovekamp-Swan, T. & Davis, B. J. Mechanisms of phthalate ester toxicity in the female reproductive system. Environ Health Perspect 111, 139–145 (2003).

[13] Bisphénols - ECHA. https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/bisphenols.

[14] ANSES - Substances reprotoxiques et perturbateurs endocriniens (bisphénols).pdf.
https://www.anses.fr/fr/system/files/CHIM2009sa0331Ra-1.pdf.

[15] Sénat. RAPPORTS D'OFFICE PARLEMENTAIRE Micropolluants de l'eau. 9 Nov. 2023, https://www.senat.fr/rap/r23-089/r23-089_mono.html#toc4.

LE MYSTÈRE DE LA GLACE

Mongi Sakly : ingénieur, expert en génie industriel frigorifique

Les cristaux de glace ne cessent de nous surprendre et la forme la plus communément admise n'est pas la plus répandue dans les conditions réelles. L'auteur éclaire ici notre lanterne.

HISTORIQUE DE L'ÉTUDE DES CRISTAUX DE NEIGE

En 1611, Kepler publie un petit traité qui est une des premières approches scientifiques de l'étude des cristaux de neige. Il a bien sûr remarqué la symétrie hexagonale que présentent beaucoup de cristaux. Sans rien connaître de la nature d'un cristal, il entrevoit déjà un lien entre cette symétrie et l'empilement hexagonal compact de sphères.

RENÉ DESCARTES

Descartes est le premier, en 1635, à décrire précisément plusieurs formes de cristaux de neige. Il note même quelques formes rares, comme des étoiles à douze branches. Il était sans doute difficile de faire un travail plus complet à l'oeil nu.

ROBERT HOOKE

En 1665, l'invention récente du microscope permet à Hooke de réaliser des observations encore plus précises. Il publie dans Micrographia de nombreux dessins qui révèlent la complexité et la diversité des structures des cristaux de neige.

WILSON A. BENTLEY

Bentley était un fermier et un photographe Américain. Il a réalisé des milliers de photographies de cristaux de neige (figure 1). Deux mille d'entre elles sont rassemblées dans un livre publié en 1931 intitulé Snow Crystals.

UKICHIRO NAKAYA

Nakaya est le premier à s'être lancé dans une étude systématique des cristaux de neige, apportant ainsi beaucoup à la compréhension des formes qu'ils peuvent prendre. En 1936, il est le premier à produire de la neige artificielle. Il a créé des cristaux en laboratoire, ce qui lui a permis d'étudier leur formation dans des conditions bien contrôlées. Une grande partie du travail de Nakaya est rassemblée dans un livre publié en 1954 : Snow Crystals : Natural and Artificial (figure 1).

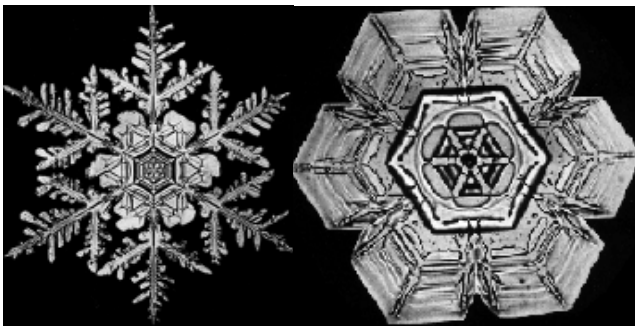


Figure 1 : photographies de cristaux de neige extraites du livre Snow Crystals 5. Wilson Bentley.

DIVERSITÉ DES CRISTAUX DE NEIGE

CLASSIFICATION DES CRISTAUX

Cette classification est basée sur les recommandations de l'International Commission on Snow and Ice (figure 2). Adoptée en 1952, cette classification recense 7 catégories principales de cristaux de neige, proposées par le japonais Nakaya : plaquettes, étoiles, colonnes aiguilles, dendrites, colonnes à capuchon et cristaux irréguliers. Aux cristaux de neige s'ajoutent trois autres formes de précipitations solides (trois dernières lignes de la figure 2).

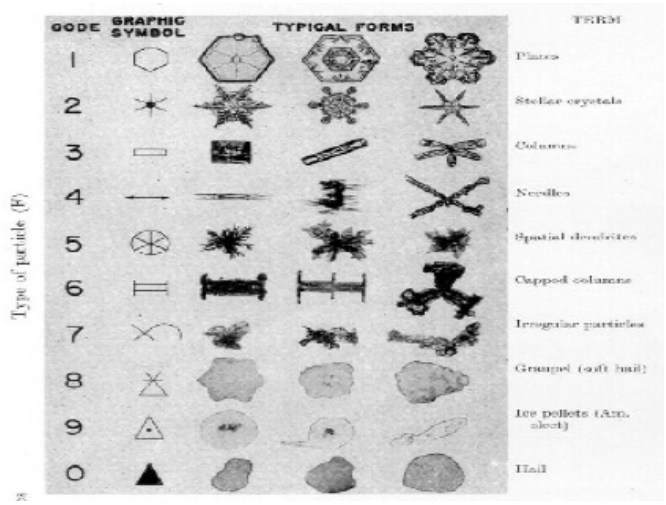


Figure 2 : classification de Nakaya de 1952.

On s'imagine le plus souvent que les cristaux de neige sont du type étoile ou plaquette. Pourtant, ces deux types de cristaux ne sont pas plus représentés que les autres. À la suite de ces travaux des années 1930, le japonais Nakaya a réparti les cristaux de neige dans 7 grands groupes. Ces 7 familles se subdivisent en 41 types de cristaux au total (figure 3).

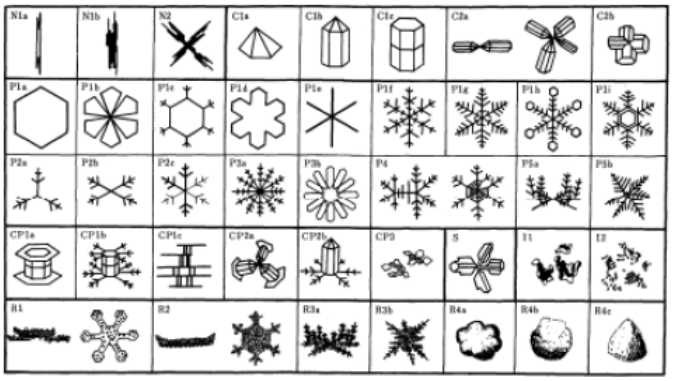


Figure 3 : les 7 familles de Nakaya se subdivisent en 41 types de cristaux.

Magono et Lee ont proposé en 1966 une amélioration de la classification de Nakaya, répertoriant 80 types de cristaux (figure 4).

PRINCIPES FONDAMENTAUX D'AMORCE DE LA CROISSANCE DES CRISTAUX DE GLACE

Le prisme hexagonal est la forme la plus simple d'un cristal de glace. Cette forme minimise l'énergie, du fait de l'agencement particulier des molécules d'eau dans la structure cristalline. En particulier, les faces planes sont énergétiquement favorables. On note déjà que ces cristaux simples peuvent appartenir à des familles différentes des classifications, selon qu'ils sont plus ou moins allongés.

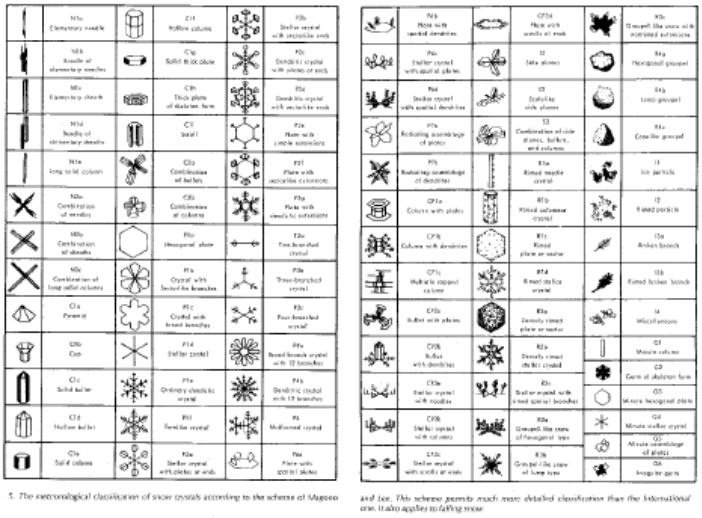


Figure 4 : classification de Magono et Lee en 1966.

ÉVOLUTION DES CRISTAUX SIMPLES

La croissance des cristaux se fait à partir d'une forme simple qui peut dans certaines conditions évoluer vers des structures complexes.
L'une des explications de ce phénomène est liée à la diffusion des molécules d'eau dans l'air pour atteindre la surface du cristal. Si l'on considère une surface de glace plane, la molécule d'eau a une tendance à pénétrer plus loin dans le milieu saturé en vapeur d'eau et atteint donc des régions où la concentration en vapeur d'eau est plus élevée que sur le reste de la surface. Ce phénomène a pour effet d'accélérer la croissance des cristaux de glace en formant une bosse au-dessus de la surface plane. Il s'agit d'une instabilité du phénomène de cristallisation où les angles du cristal de départ donnent naissance à des branches, qui à leur tour deviennent instables par le même mécanisme. La formation de cristaux dendritiques est alors favorisée. C'est pourquoi, l'évolution de la structure des cristaux de neige est aussi liée à la façon dont les molécules d'eau s'attachent à la surface. Les molé-cules s'accrochent avec une plus grande efficacité sur les angles d'un cristal. Les arêtes du prisme hexagonal de départ ont donc tendance à se développer plus vite que les faces. On

voit alors se former des cristaux pris-matiques dont les faces sont creusées.

INFLUENCE DE DIFFÉRENTS PARAMÈTRES SUR LA FORME, COMPLEXITÉ DES FORMES

Les différentes classifications montrent bien la complexité et la diversité de forme des cristaux. L'existence d'une telle quantité d'aspects est due à l'influence de plusieurs paramètres lors de la croissance des cristaux. Les plus importants sont la température et la saturation de l'air en vapeur d'eau. Dans une moindre mesure, le champ électrique joue un rôle dans la forme des cristaux.
La température et la concentration en vapeur de l'air ont une incidence sur la forme des cristaux. Elles peuvent en effet favoriser un des mécanismes de croissance et donc aboutir à la production d'une forme particulière de cristaux. Le diagramme de phases (figure 5) montre quelles structures sont favorisées pour une température et une saturation de croissance données.

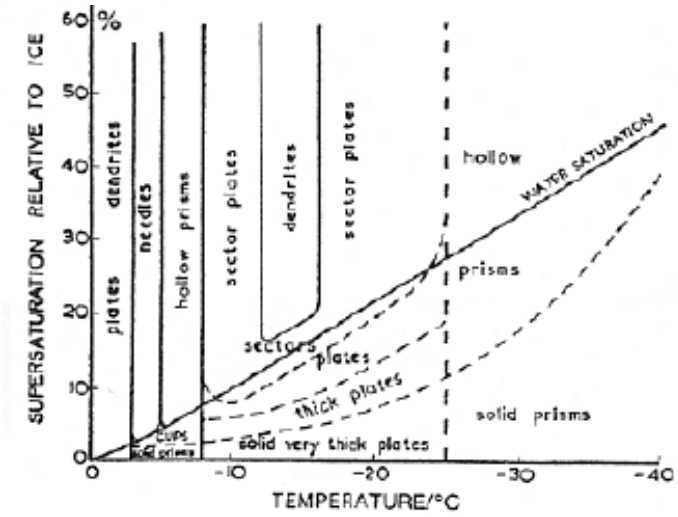


Figure 5 : diagramme de phases ; il décrit le développement des différentes formes de cristaux de glace en fonction des températures et les pressions de vapeur.

Ce diagramme décrit en fonction des températures et les pressions de vapeur, le développement de différentes formes de cristaux de glace : plates, prismes, dendritiques, etc.

CONCLUSION

Les cristaux de glace et leur mystère ne cessent de surprendre et la forme communément admise d'une manière imagée, soit en étoile n'est pas celle la plus répandue dans les conditions réelles. Nous avons vu que plusieurs paramètres gouvernent la croissance des cristaux de glace. Le diagramme de phases nous indique quels types de cristaux se forment dans des conditions données. Un cristal typique pèse 10^{-6} g et contient donc environ 1016 molécules d'eau. Supposons maintenant qu'il tombe chaque année l'équivalent en neige d'une couche d'eau liquide de 1 cm sur toute la surface de la Terre, et cela depuis trois milliards d'années. Cela représente 1029 g de neige soit environ 1035 cristaux. Il est donc fort probable qu'il n'y ait jamais eu deux cristaux de neige identiques.

