

Cher(e) collègue, les prochaines journées pédagogiques auront lieu les

**Lundi 2 et mardi 3 décembre 2024**

**A Sorbonne Université, Campus Pierre et Marie Curie (Jussieu)  
Amphithéâtre n° 25**

**Thème des journées pédagogiques**

**" Comment caractériser au MEB une grande diversité de matériaux "**

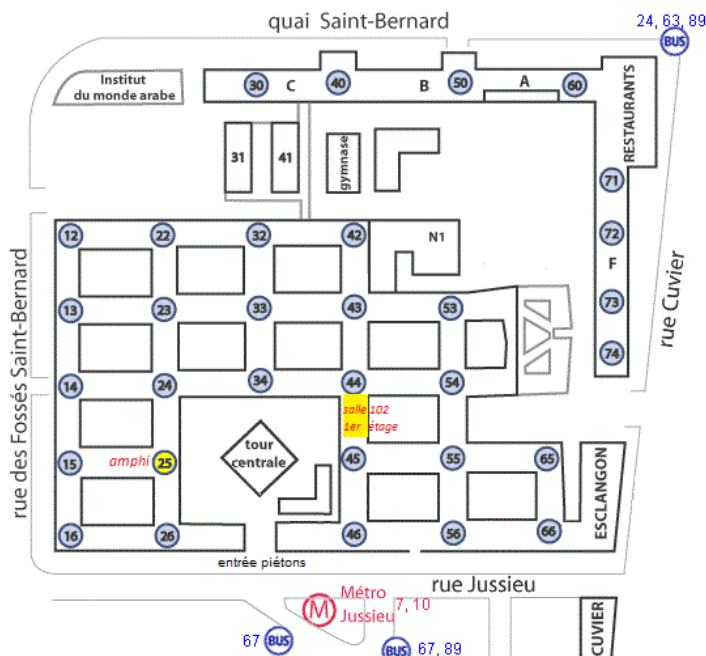
L'accès à ces journées est libre pour les membres à **jour de leur cotisation 2024** mais après **inscription OBLIGATOIRE\***

\* Le bulletin d'inscription, en 2<sup>ème</sup> page de cette annonce, est à envoyer par mail à :

[postmaster@gn-meba.org](mailto:postmaster@gn-meba.org)

**avant le 25 Novembre**, délai de rigueur pour une bonne organisation de la pause du lundi.

L'inscription vous permettra d'avoir un badge qui vous sera demandé pour accéder aux événements, dont la pause constructeurs.



*Note : nous ne garantissons pas la fermeture de l'amphi : il sera donc prudent de ne pas y laisser d'objets de valeur pendant les pauses.*

Accès:

- Métro, lignes 7 et 10 (station Jussieu)
- Bus 89 et 67 (station Jussieu)
- Bus 24 et 63 (station Université Pierre et Marie Curie)

Les détails et les dernières modifications sont à consulter sur notre site web, régulièrement mis à jour

<https://www.gn-meba.org>

**Très cordialement,  
Le Conseil du GN-MEBA**

**" Comment caractériser au MEB une grande diversité de matériaux "**

**Programme**

	Matériaux / Domaine	Titre	Conférencier	Laboratoire / Société
<b>Lundi 2 décembre 2024</b>				
9h-9h30	<i>Accueil des participants</i>			
9h30-10h30	Introduction aux matériaux et aux techniques d'observation et d'analyses	Les matériaux ( <a href="#">résumé</a> )	Christian Mathieu	Unité de Catalyse et Chimie du Solide, CNRS, Université de Lille et d'Artois
10h30-11h	Céramiques	Etude microstructurale de différentes céramiques par MEB ( <a href="#">résumé</a> )	Marie-Eline Couturier	Société Française de Céramique Les Ulis
11h-11h30	Biologie	Préparation et observation des échantillons biologiques « mous » par microscopie électronique ( <a href="#">résumé</a> )	Alexis Canette	Institut de Biologie Paris-Seine, CNRS, Sorbonne Université
11h30-12h	Béton / Ciment	Apport de la microscopie électronique à balayage à l'étude des ciments et de leur hydratation ( <a href="#">résumé</a> )	Laurent Izoret	Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie CNRS, Sorbonne Université
12h-13h30	<i>Pause - repas</i>			
13h30-14h	Assemblée générale			
14h-14h30	Batteries	Le MEB, un outil essentiel pour le développement de nouvelles batteries ( <a href="#">résumé</a> )	Arash Jamali	Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides, CNRS, Université de Picardie Jules Verne
14h30-15h	Composites	Caractérisation des composites oxyde/oxyde à IONERA ( <a href="#">résumé</a> )	Antoine Débarre	ONERA, Châtillon
15h-15h30	Nucléaire	Caractérisation des matériaux nucléaires ( <a href="#">résumé</a> )	Emmanuelle Brackx	CEA Marcoule
15h30-16h	<i>Pause</i>			
16h-16h30	Cosmétiques	Les matériaux de la cosmétique caractérisés par MEB ( <a href="#">résumé</a> )	Philippe Hallégot	Conseil GN MEBA
16h30-17h	Verres	Les applications de la microscopie électronique à balayage à l'étude des verres ( <a href="#">résumé</a> )	Nadia Pellerin	Université d'Orléans
17h-17h30	Polymères	Caractérisation des polymères par MEB ( <a href="#">résumé</a> )	Alain Jadin	CERTECH Belgique
17h30-18h	Isolants	L'imagerie au MEB des matériaux isolants ( <a href="#">résumé</a> )	Raynald Gauvin	Université Mc Gill, Montréal

### Programme (suite)

	Matériaux / Domaine	Titre	Conférencier	Laboratoire / Société
<b>Mardi 3 décembre 2024</b>				
9h-9h30	Minéraux et Roches	Caractérisation des matériaux d'origine géologique : Roches et Minéraux ( <a href="#">résumé</a> )	Omar Boudouma	Institut des Sciences de la Terre de Paris, CNRS, Sorbonne Université
9h30-10h	Météorites / Astéroïdes	La microscopie électronique à balayage appliquée aux échantillons extraterrestres ( <a href="#">résumé</a> )	Alice Aléon	Institut d'Astrophysique Spatiale CNRS, Université Paris-Saclay
10h-10h30	Métaux / Alliages métalliques	L'apport de la microscopie électronique à balayage en métallurgie ( <a href="#">résumé</a> )	Sylvain Depinoy	Centre des Matériaux Mines Paris, CNRS, Université PSL
10h30-13h45	<b>Pause constructeurs &amp; buffet</b>			
14h-14h30	Patrimoine	Sonder les matériaux anciens grâce au MEB	Marie Godet	Centre de Recherche et de Restauration des Musées de France
14h30-15h	Bâties anciens	Altération des matériaux du patrimoine : apport de la microscopie électronique ( <a href="#">résumé</a> )	Anne Chabas	Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, UPEC
15h-15h30	Semi-conducteurs	Le MEB et l'analyse de construction de dispositifs semiconducteurs de puissance, jeux de contrastes	Imène Estève & P. Martinez	Sorbonne Université & STMicroelectronics

### RENCONTRES TECHNIQUES

**Pause-café et buffet offerts aux adhérents du GN-MEBA par les constructeurs ou leurs représentants et le GN-MEBA (vous devrez porter votre badge visiblement).**

Comme chaque année, les constructeurs présenteront aux adhérents du GN-MEBA, à jour de leur cotisation, leurs produits et nouveautés, lors des rencontres techniques à partir de 10h30.

Comme l'an passé, ces rencontres auront lieu au Centre International de Conférences de Jussieu, Tour 44, 1<sup>er</sup> étage, salle 102



Vous serez accueillis par une pause-café puis par un buffet froid servi à partir de 12 h.

*Les personnes intéressées pourront bénéficier de la présence des constructeurs dans ces locaux jusqu'à 13h45, heure à laquelle la salle devra impérativement être libérée et les adhérents devront rejoindre l'amphithéâtre pour la reprise dès 14h.*



## **Résumés des conférences des journées pédagogiques du GNMEBA de décembre 2024**

**Christian Mathieu / Unité de Catalyse et Chimie du Solide, CNRS, Université de Lille et d'Artois**

**Titre : Les matériaux**

**Résumé :**

Les matériaux ont joué un rôle majeur dans la société humaine. Au fur et à mesure des découvertes de nouveaux matériaux, l'homme a fait évoluer ses outils, ses constructions, ses modes de vie et ses besoins. Dans le cadre de cette conférence, les différentes familles de matériaux et leur caractérisation seront présentées. Les enjeux des nouveaux matériaux seront aussi discutés.

**Marie-Eline Couturier / Société Française de Céramiques (Les Ulis)**

**Titre : Étude microstructurale de différentes céramiques par MEB**

**Résumé :**

L'obtention de céramiques passe par la transformation physico-chimique irréversible à haute température des matières premières qui les constituent. C'est cette transformation qui donne ses propriétés à chaque type de céramiques et qui définit leur microstructure.

Cette présentation illustrera la microstructure de différentes céramiques, tant traditionnelles que techniques, et abordera la préparation et l'analyse de matériaux durs et non conducteurs.

**Alexis Canette / Institut de Biologie Paris-Seine, CNRS, Sorbonne Université**

**Titre : Préparation et observation des échantillons biologiques « mous » par Microscopie Électronique**

**Résumé :**

La description à l'échelle microscopique est une approche fondamentale en biologie. Le vivant présentant une grande variabilité de taille et de complexité, son observation nécessite de combiner différentes techniques d'imagerie. Elles fournissent des gammes de grandissements et des informations diverses et complémentaires (contrastes, fluorescence, composition chimique, etc.).

Parmi ces techniques, la microscopie électronique (ME) offre la meilleure résolution pour révéler l'organisation ultrastructurale et pour localiser des événements aux échelles tissulaires, cellulaires, sub-cellulaires et macromoléculaires.

Les échantillons biologiques représentent néanmoins un défi en ME de par leur nature : ils sont hydratés, labiles, de taille et fragilité variées, composés d'atomes « légers », etc. Une préparation préliminaire adaptée est donc nécessaire, mais reste très souvent imparfaite (élimination des processus dynamiques, génération d'artéfacts).

Au travers d'exemples d'études menées sur la plateforme, cet exposé donnera un aperçu des techniques de préparation (conventionnelles et cryométhodes, avec leurs limites et les nouveautés), et présentera des modalités d'utilisation en plein essor en ME à Balayage (certaines pouvant se substituer à la ME en Transmission).

**Laurent Lizoret / Institut de Minéralogie, de Physique des Matériaux et de Cosmochimie, CNRS, Sorbonne Université**

**Titre : Apport de la microscopie électronique à balayage à l'étude des ciments et de leur hydratation**

**Résumé :**

Après une introduction sur l'histoire de la découverte du ciment, les différents aspects de l'étude du clinker (brut de cuisson), des ciments et de leur hydratation seront abordés. Les ciments sont des poudres minérales anhydres constitués de clinker (brut de cuisson d'un mélange calcaire/argile) et de différents matériaux plus ou moins réactifs à l'eau. On distingue donc l'étude des produits anhydres de celle de leur hydratation, celle-ci étant par essence multi-échelle (du nm au mm). On abordera trois applications principales : i) la durabilité à long terme des matrices cimentaires, ii) l'auto-cicatrisation des bétons par biominéralisation et enfin iii) les dernières avancées concernant un ciment alternatif à base de polymorphes de carbonate de calcium.



**Arash Jamali / Laboratoire de Réactivité et Chimie des Solides, CNRS, Université de Picardie Jules Verne**

**Titre : Le MEB, un outil essentiel pour le développement de nouvelles batteries**

**Résumé :**

Les batteries jouent un rôle essentiel dans la technologie moderne, alimentant des dispositifs allant des appareils électroniques grand public aux véhicules électriques, et soutenant les systèmes d'énergie renouvelable. Pour répondre à la demande croissante en solutions de stockage d'énergie, il est impératif de développer des matériaux et systèmes de batteries qui soient non seulement plus efficaces, mais aussi accessibles, écologiques et plus sûrs pour les utilisateurs. Cette évolution nécessite des techniques de caractérisation avancées, capables d'étudier et de révéler les comportements complexes de ces matériaux de nouvelle génération. La Microscopie Électronique à Balayage (MEB) demeure un outil essentiel et bien établi pour l'analyse des matériaux de batteries conventionnels, mais les récents progrès, en particulier le MEB in situ et opérando, ont permis de nouvelles perspectives sur les comportements en temps réel des matériaux et systèmes de stockage d'énergie émergents. Cette présentation traitera de notre expérience avec l'analyse MEB in situ et opérando, détaillant le processus d'adaptation et de personnalisation des accessoires pour observer les batteries en fonctionnement. Elle mettra également en avant l'importance des techniques basées sur le MEB dans l'avancement de la compréhension et du développement de batteries plus sûres et plus fiables.

**Antoine Debarre / ONERA, Châtillon**

**Titre : Caractérisation des composites oxyde/oxyde à l'ONERA**

**Résumé :**

Ces dernières années les matériaux composites ont pris une place de plus importante dans l'industrie. C'est le cas des composites à matrice organique renforcés par des fibres de carbone ou de verre qui sont utilisés notamment dans les transports (automobile, naval, ou encore aéronautique) pour réaliser des pièces légères et insensibles à la corrosion. Des matériaux plus haute température avec des matrices réfractaires sont aujourd'hui considérés pour des applications thermostructurales.

C'est entre autres le cas des composites dits oxyde/oxyde constitués d'une matrice céramique (alumine, silice, ...) renforcée par des fibres de même nature. Pour pallier au comportement fragile des céramiques monolithiques, un taux de porosité très important (~ 40% vol.) est introduit dans la matrice de ces matériaux. Cette fine porosité permet le développement de la fissuration au sein de la matrice sans rompre les fibres et apporte donc une tolérance à l'endommagement.

L'ONERA travaille sur l'élaboration et la caractérisation de ces matériaux. Un intérêt particulier est porté sur le comportement mécanique de la température ambiante, jusqu'à très haute température. La nature multi-échelle de ces matériaux rend la microscopie électronique essentielle pour la compréhension du comportement. Cela passe notamment par l'observation post-mortem des éprouvettes mais aussi par la réalisation d'essais micromécaniques in-situ.

**Emmanuelle Brackx / CEA Marcoule**

**Titre : Caractérisation des matériaux nucléaires**

**Résumé :**

Les matériaux nucléaires se présentent sous plusieurs morphologies et spéciations : à l'état de solide divisé avec différents oxydes ou fluorures d'uranium pour la fabrication du combustible et pour son retraitement ; à l'état de solide, sous formes céramiques (oxydes ou carbures), telle que les pastilles de combustible conditionnées dans des gaines, ou encore inséré dans des matrices vitreuses pour le conditionnement des déchets.

En fonction de la génération de réacteur nucléaire, différents systèmes combustible / gaine peuvent être envisagés avec des assemblages constitués d'éléments lourds et d'éléments légers tels que : (UO<sub>2</sub>/Zircaloy), (UO<sub>2</sub>, PuO<sub>2</sub>/Zircaloy), ((U,Pu)C, SiC/SiC), ((UO<sub>2</sub>), SiC/SiC).

L'optimisation du comportement des matériaux en service ou en situation accidentelle à des fins de durée de vie et sûreté et sécurité du réacteur repose sur des études et infrastructures d'essais en lien avec les conditions d'exploitation et également sur des études de scénarios d'accident grave pouvant mener à la fonte du combustible à 2000 °C avec la gaine et les éléments de structure du réacteur (barre de contrôle B<sub>4</sub>C, cuve de refroidissement en acier, enceinte du réacteur en béton).



Dans ce dernier thème, le matériau multiphasé à diverses échelles spatiales obtenu en simulant une fusion de cœur est appelé corium. Il fait l'objet de nombreuses études notamment pour alimenter en données de base les codes de simulation de comportement du réacteur en termes de conception et sûreté en service, ainsi que pour guider les opérations de démantèlement.

Ces études de comportement exigent la connaissance de la composition élémentaire et de la spéciation des matériaux testés. Cela permet d'optimiser la qualité de fabrication ainsi que de prévoir le comportement physicochimique des matériaux au cours de leur durée de vie en conditions nominales ou accidentelles. Ces connaissances sont permises par les moyens de caractérisation élémentaires et structuraux par MEB/EDS/STEM/EBSD, microsonde de Castaing WDS et de diffraction des rayons X et neutrons.

Cet exposé présente les développements analytiques et les techniques adaptées à ces matériaux notamment pour le dosage quantitatif des éléments légers dans des matrices lourdes, l'identification de phases multi échelles, la quantification élémentaire sur poudres ainsi que la prise en compte du comportement de ces matériaux lors des phases de préparation.

**Philippe Hallegot / Conseil GNMEBA**

**Titre : Les matériaux de la cosmétique caractérisés par MEB**

**Résumé :**

La recherche en Cosmétique fait face à la caractérisation d'une grande variété de matériaux.

Il n'y a pas en effet à proprement parlé de matériau cosmétique mais une déclinaison de matériaux allant des ingrédients incorporés aux produits cosmétiques, jusqu'au flacon contenant ces produits, en passant par les substrats biologiques auxquels sont destinés les produits.

Lorsque l'on pense cosmétique, on pense, mais pas exclusivement, aux cheveux et à la peau.

Cheveux et peau sont des substrats sur lesquels agissent les produits cosmétiques. Ces deux substrats sont bien différents l'un de l'autre, et leurs observations et analyses au MEB et techniques afférentes peuvent faire appel à des méthodes de préparation d'échantillons bien distinctes.

Quoiqu'il en soit, c'est toujours le besoin de maintenir l'intégrité du système à notre échelle d'observation et d'analyse qui prime. Le panel de techniques hybrides et corrélatives utilisées (MEB, cryo-MEB, ESEM, TEM, STEM, WET-STEM, ED, EDS, SIMS, DLS, BET) n'est que le reflet de la diversité des matériaux, des échelles d'intérêt, et de la richesse de l'innovation en Cosmétique.

**Nadia Pellerin / Université d'Orléans**

**Titre : Les applications de la microscopie électronique à balayage à l'étude des verres**

**Résumé :**

Les verres constituent une classe de matériaux très large qu'on inclut souvent dans celle des céramiques pour leurs propriétés isolantes et leurs similitudes chimiques. La famille des verres se décline encore en plusieurs groupes : les oxydes, les fluorures, les chalcogénures, les verres métalliques, caractérisés par des propriétés physico-chimiques spécifiques. Dans cette présentation, seuls des études de verres d'oxydes seront évoquées. Nous présenterons les apports et les difficultés de la microscopie électronique à balayage MEB, pour plusieurs types d'applications des verres dans des domaines variés : le verre nucléaire, le verre pharmaceutique, les applications du verre en optoélectronique, les couches minces vitreuses, les verres du patrimoine. Alors qu'un verre homogène se caractérise par une image de contraste chimique uniforme, toute altération à cette homogénéité pourra être perçue, dans les limites de résolution et de sensibilité de l'instrument, et apporter des éléments de compréhension aux problématiques et mécanismes étudiés. Ainsi des exemples seront présentés pour illustrer la caractérisation du vieillissement du verre à travers l'altération chimique et mécanique. Nous illustrerons également des études de la séparation de phase dans les verres et des phénomènes de nucléation-croissance responsables de leur coloration physique et de propriétés optiques d'intérêt.



**Alain Jadin / CERTECH, Belgique**

**Titre : Caractérisation des polymères par MEB**

**Résumé :**

Les polymères présentent des propriétés particulières qui conditionnent leur caractérisation par MEB, ainsi que les méthodes de préparation des échantillons. Dans cet exposé, on examinera notamment les conséquences de la faible conductivité électrique de ces matériaux, conduisant à un effet de charge que l'on peut minimiser ou compenser dans le MEB. Les effets de la composition et des propriétés thermiques des polymères seront également abordés. Ces différents aspects seront illustrés par quelques exemples représentatifs.

**Raynald Gauvin / Université Mc Gill, Montréal**

**Titre : L'imagerie au MEB des matériaux isolants**

**Résumé :**

L'observation des matériaux isolants est un problème courant en microscopie électronique à balayage car l'accumulation de charges induit un champ électrique qui entraîne une déflexion des trajectoires des électrons qui mène à des images déformées des matériaux observés, voire à leur destruction par claquage électrostatique dans les cas extrêmes.

Les mécanismes d'accumulation de charges seront brièvement introduits et les différentes approches pour imager les matériaux isolants seront présentées, tant par une brève description théorique qu'avec une emphase expérimentale. Les revêtements Au-Pt ou Carbone seront introduits, la microscopie à basse tension des électrons au voltage E2, l'emploi de liquides ioniques et la microscopie à pression variable seront discutés en détail. L'impact de ces méthodes sur l'imagerie, la microanalyse R-X et sur l'EBSA seront discutés avec de nombreux exemples. Finalement, comme l'endommagement des matériaux non conducteurs par ionisation de ses électrons de valence par les électrons incidents entraîne une accumulation de charge, cet aspect sera aussi brièvement discuté car beaucoup de matériaux technologiques, comme ceux à base de Li, souffrent de ce problème critique.

**Omar Boudama / Institut des Sciences de la Terre de Paris, CNRS, Sorbonne Université**

**Titre : Caractérisation des matériaux d'origine géologique : Roches et Minéraux**

**Résumé :**

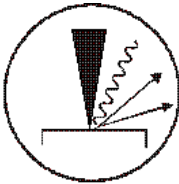
Dans le domaine des sciences de la terre, la caractérisation des roches (magmatiques, métamorphiques ou sédimentaires) revient à caractériser leurs assemblages minéralogiques, ou paragenèses, et à clarifier les relations entre les différentes phases ou minéraux.

En raison de la complexité des échantillons à caractériser et de leur diversité, le MEB doit au minimum être équipé d'un détecteur de SE, d'un détecteur de BSE, et d'un détecteur EDS.

On peut, aussi bien, étudier des échantillons bruts que des échantillons nécessitant une préparation complexe. Cette préparation pourrait induire des artefacts sur lesquels nous reviendrons.

Le choix des conditions analytiques se fait en fonction de la nature de l'échantillon, du type d'observation envisagé et du but recherché (imagerie SE, imagerie BSE, cartographie X, Cartographie EBSA, imagerie ou spectrométrie de cathodoluminescence)

A travers des exemples, nous tenterons de présenter comment on pourrait caractériser certains minéraux en particulier et des roches en général. Nous aborderons également la problématique de la caractérisation des amiantes et des produits amiantés au MEB. Nous reviendrons, tout au long de la présentation, sur les compétences scientifiques et techniques nécessaires pour réussir à interpréter les résultats et éviter de tomber dans certaines erreurs.



**Alice Aléon / Institut d'Astrophysique Spatiale, CNRS, Université Paris-Saclay**

**Titre : La microscopie électronique à balayage appliquée aux échantillons extraterrestres**

**Résumé :**

Après une brève présentation de la formation du système solaire, nous découvrirons les caractéristiques principales des matériaux extraterrestres qui peuvent être aujourd'hui analysés en laboratoire. Puis, à travers quelques exemples (météorites primitives, échantillons ramenés par les missions spatiales), nous présenterons d'une part ce que leur étude peut apporter quant à la compréhension de nos origines et d'autre part, nous verrons ce que leur particularité implique (conditions d'analyses, problème de préparation d'échantillon...) pour leur étude par MEB/FIB.

**Sylvain Depinoy / Centre des Matériaux MINES Paristech, CNRS, Université Paris Sciences & Lettres**

**Titre : L'apport de la microscopie électronique à balayage en métallurgie**

**Résumé :**

Les matériaux métalliques tels que les aciers, les alliages de nickel ou les alliages d'aluminium sont utilisés dans de nombreux secteurs industriels en raison de leurs bonnes propriétés d'usage, notamment mécaniques, qui leur sont conférées par leur microstructure. En particulier, la taille et l'orientation cristallographique des domaines cristallins de la phase principale (grains), ainsi que la présence ou non de phases secondaires (précipités), sont des facteurs de premier ordre. Ces propriétés microstructurales sont directement dépendantes de la composition chimique du matériau d'étude, mais également de ses conditions d'élaboration et de son vieillissement pendant utilisation, impliquant parfois des sollicitations mécaniques sévères et des températures élevées. Dès lors, l'optimisation des propriétés d'usage, ainsi que la compréhension de leur évolution dans des conditions industrielles, impliquent obligatoirement une caractérisation microstructurale approfondie. A ce titre, le microscope électronique à balayage et ses différents accessoires (EDX, EBSD, ...) sont des outils très importants pour le métallurgiste. Cela sera illustré à travers plusieurs exemples.

**Anne Chabas / Laboratoire Interuniversitaire des Systèmes Atmosphériques, UPEC**

**Titre : Altération des matériaux du patrimoine : apport de la microscopie électronique**

**Résumé :**

A l'instar de n'importe quel organisme vivant, les matériaux sont sujets aux processus de vieillissement. Ceux du patrimoine bâti et culturel n'y font pas exception. On porte à ces derniers une attention particulière et prolonger leur durée de vie devient une recherche à part entière afin de transmettre cet héritage aux générations futures. Cette nécessité de préservation exige en amont d'élucider les causes et de comprendre les mécanismes d'altération qui les affectent. L'altération impacte en premier lieu la surface puis la sub-surface des matériaux. Cette enveloppe, rendue fragile, doit être étudiée avec soin, par des méthodes de contrôle non destructif. Les développements de la microscopie électronique analytique ont permis progressivement d'accéder à des caractérisations visuelles et chimiques peu invasives. A travers des cas concrets d'altération, du terrain au laboratoire, des exemples de matériaux minéraux et organiques seront présentés ainsi que l'apport de la microscopie électronique dans la compréhension de leurs processus de vieillissement.