

Compte rendu de la rencontre débat du mardi 10 décembre 2024

De la Joconde à la grotte Chauvet. Apport de la physicochimie à la connaissance du patrimoine

présenté par **Philippe Walter**

Fondateur du Laboratoire d'Archéologie moléculaire et structurale (CNRS-Sorbonne), membre de l'Académie des sciences

Compte-rendu

Introduction

L'objectif de la conférence est de montrer comment l'analyse et l'imagerie chimiques permettent de porter de nouveaux regards sur les œuvres d'art. Ces méthodes ont d'abord été appliquées à l'Archéologie, dont dernièrement dans la grotte Chauvet où l'équipe de l'orateur a mis au point un appareil d'imagerie multispectral qui permet des études *in-situ* non invasives. Il est en a résulté une Start Up (LUMETIS) qui offre des prestations jusque dans le domaine spatial. C'est à partir des années 1970 que les méthodes physicochimiques non-invasives sont utilisées pour étudier le patrimoine culturel dans les musées. **Le titre de la conférence serait plus exactement « Un physicochimiste au musée »** car il s'agira de montrer ce que le regard d'un physicochimiste peut apporter sur la compréhension d'une œuvre d'art, sur la manière dont elle a été créée et sur les découvertes que l'on peut faire quant au fonctionnement d'un atelier, notamment celui de Léonard de Vinci. La caractérisation de la matière picturale, sa nature, son origine et ses propriétés révèlent l'intimité de l'œuvre d'art. Ces travaux nous font prendre conscience qu'à côté de sa personnalité strictement artistique, l'œuvre d'art a aussi une vie technique personnelle – un aspect dont les historiens sont heureux de tirer des conclusions à la fois précises et originales.

Les méthodes d'imagerie chimique actuelles

Elles sont basées sur plusieurs techniques comme illustrées dans la figure ci-dessous pour l'analyse d'un tableau du Titien.



Analyse de tableaux du Titien, Museo di Capodimonte e Bosco Reale, Naples, Italie

Méthodes d'imagerie chimique

Imagerie scientifique

- Fluorescence sous ultraviolet
- Réflectographie infrarouge

Imagerie hyperspectrale

- UV, visible, infrarouge

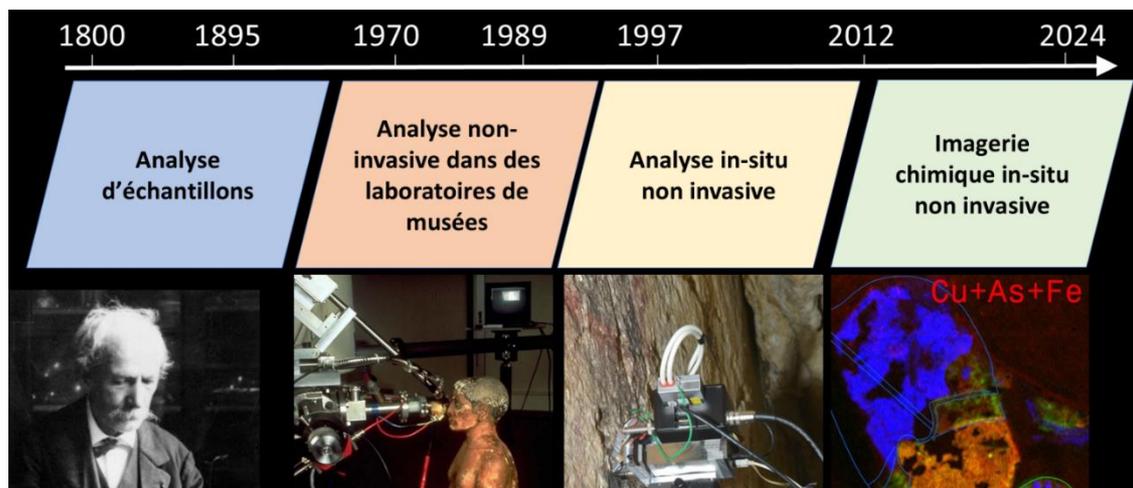
Imagerie par spectrométries XRF, UV, Vis, IR, ...

Diffraction des rayons X

Il s'agit principalement de donner l'image de la fluorescence sous ultraviolet ou de la réflexion de la lumière infrarouge. On peut raffiner l'analyse en éclairant sous une palette très large de longueurs d'onde dans l'UV, le visible ou l'IR (imagerie hyperspectrale). La spectrométrie peut également être utilisée dans toutes les gammes de longueur d'onde ainsi que la diffraction aux rayons X.

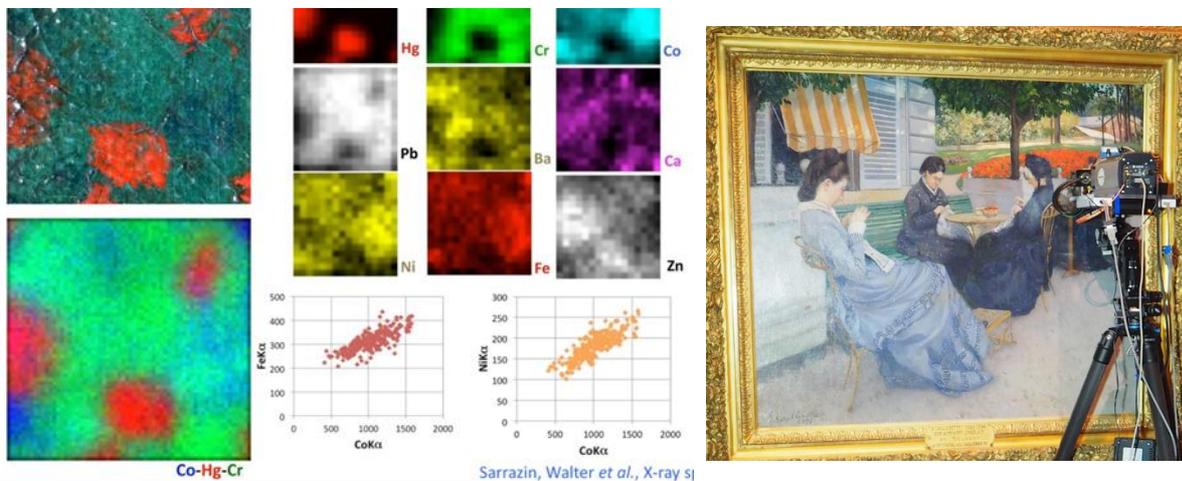
Avant d'en arriver là, il est bon de faire un rappel historique. Les premières études sur des échantillons archéologiques ont été faites par Marcellin Berthelot, grand chimiste du 19^{ème} siècle qui a pu analyser une série d'alliages à base cuivre de Mésopotamie vers 1870 à partir de quelques grammes de métal.

À partir d'environ 1970 des méthodes non-invasives sont apparues, en particulier, grâce à



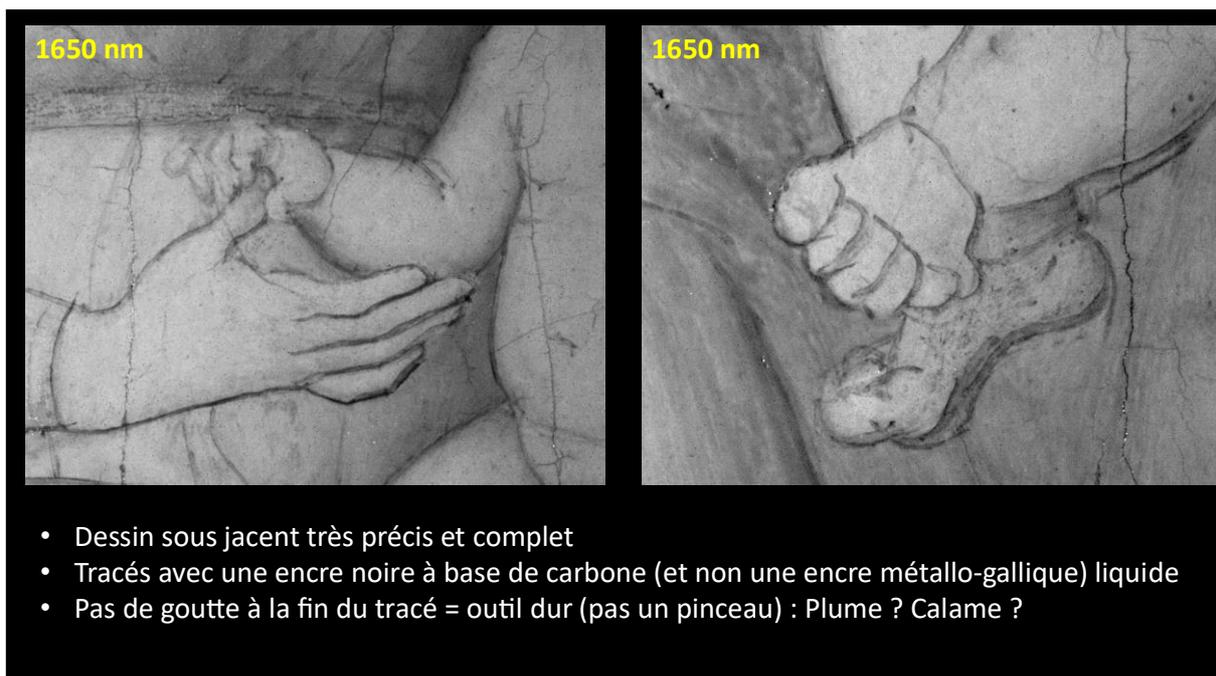
l'installation d'un petit accélérateur de particule au musée du Louvre. À partir de 1997, l'orateur met au point un appareil portable dérivé d'un des instruments du petit robot (Rover) conçu pour la NASA pour l'analyse de la surface de Mars. Cet appareil permet de travailler *in-situ* sans prélèvement d'échantillon. Il a été utilisé la première fois en Égypte dans une tombe où les autorités interdisaient le moindre prélèvement sur les peintures. En 2012 commence l'imagerie chimique. Le principe est d'irradier l'objet avec des rayons X et

d'analyser le spectre du rayonnement X réfléchi par chaque point de l'image ce qui permet de cartographier les différents métaux présents : fer en rouge, chrome en vert, cobalt en bleu etc., voir figure ci-dessous tirée d'une analyse d'un tableau de Gustave Caillebotte.



La précision de la localisation, environ 1 mm, parfois 1/10^e de mm, permet de savoir quels pigments il a utilisés, de voir comment le peintre a superposé ses couleurs pour rendre l'effet impressionniste, donc connaître sa technique. On peut utiliser ces connaissances en Histoire de l'Art et aussi à des fins de lutte contre les fraudes.

Une autre technique, développée par la société LUMETIS, permet d'avoir l'image réfléchie, longueur par longueur d'onde dans l'infrarouge de 800 à 1700 nm (nanomètres = milliardième de mètre). Dans les grandes plus grandes longueurs d'onde (1700 nm), on peut voir le dessin sous-jacent et savoir quel type d'encre, quel instrument ont été utilisés et voir les repentirs (cf. figure ci-dessous extraite d'une vierge à l'enfant du Perugino)

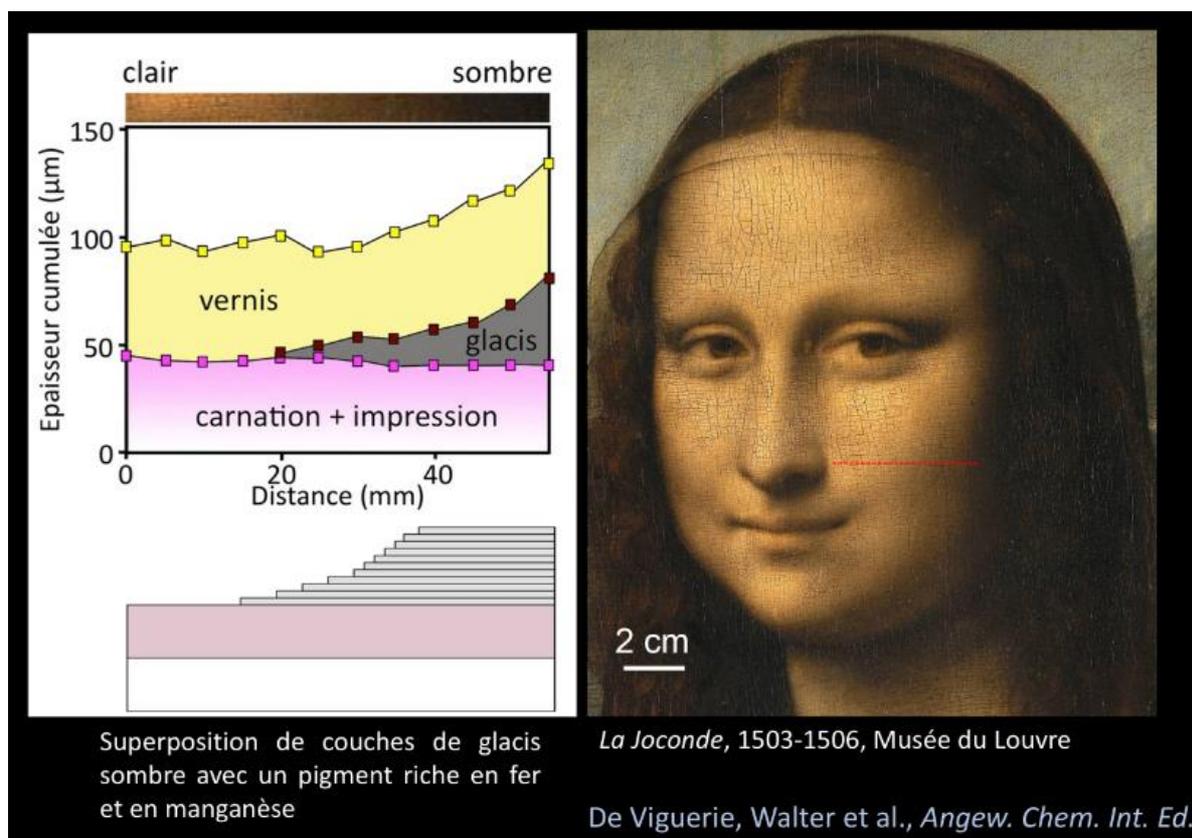


- Dessin sous jacent très précis et complet
- Tracés avec une encre noire à base de carbone (et non une encre métallo-gallique) liquide
- Pas de goutte à la fin du tracé = outil dur (pas un pinceau) : Plume ? Calame ?

Le fonctionnement de l'atelier de Léonard de Vinci,

Le cas « des » Joconde

L'analyse de la Joconde permet de voir que sur un support en bois de peuplier recouvert d'une fine couche d'impression, Léonard de Vinci superpose une série de couches de couleur dans ce que l'on appelle le glacis (peinture qui contient peu de pigment par rapport à la proportion de liant), de telle sorte qu'il n'y a pas de limite franche mais un dégradé.



C'est la technique du Sfumato (gradations de la couleur et de la lumière qui suggèrent l'échelonnement en profondeur des objets dans un atmosphère vaporeuse). On dit que le geste du peintre disparaît derrière est que sa matière est comme dans un voile de fumée, fumo en italien. Plus le nombre de couche de glacis augmente plus l'aspect final est sombre. Ce glacis met beaucoup de temps à sécher mais durant le séchage les coups de pinceau disparaissent. Cela explique pourquoi Léonard de Vinci aurait mis 3-4 ans pour faire la Joconde. Raphaël a aussi utilisé cette technique mais de façon moins sophistiquée.

La teinte jaune actuelle provient de la photooxydation des vernis qui disparaîtra lors de la restauration.

Étude de la Joconde du Prado : quand et par qui a-t'elle été faite ?



Le tableau du Prado (à droite) redécouvert il y a une vingtaine d'année est une copie de la Joconde mais l'analyse par réflectance en proche IR fait apparaître les mêmes dessins sous-jacents, très subtilement modifiés (position de la poitrine, position d'un doigt) montrant que la Joconde du Prado est contemporaine de celle du Louvre car un copiste ne voit que le dessin fini. Comme le tableau est moins esthétique on suppose donc qu'il a été réalisé dans l'atelier de Léonard de Vinci par un de ses élèves qui a fait le dessin au même moment que lui, avant la peinture.

L'analyse hyperspectrale de l'arrière-plan du tableau qui permet de distinguer deux pigments bleu l'Azurite, le Lapis Lazuli montre leur utilisation différente par le peintre pour faire des effets particuliers.

Pourquoi faire une seconde Joconde ? Une hypothèse pourrait-être que la copie a été donnée au commanditaire, le mari de Lisa, un riche marchand alors que Léonard de Vinci aurait gardé l'original pour lui. On n'en aura évidemment jamais la preuve.

Le cas du Salvator Mundi (Christ Sauveur) de MBS (Mohammed ben Salmane)

Un cas similaire d'attribution s'est posé pour les Salvator Mundi, il en existe beaucoup dont un au musée du Palais Wilanow près de Varsovie qui n'était pas considéré comme étant de Léonard de Vinci ou son atelier. Il est vrai que la partie supérieure du visage ressemble à celle de la Joconde mais l'ensemble étrange du tableau donne l'impression de représenter plutôt une femme à barbe. Ce tableau a longtemps été considéré comme un pastiche du 18^{ème} siècle. La question de son attribution s'est posée lors des célébrations des 500 ans de la mort de l'artiste.

L'attribution de tableau Wilanow à l'atelier de Léonard de Vinci se posait clairement



cependant un premier problème évident est la couleur de la robe qui paraît rouge au lieu d'être bleu comme il était de tradition à l'époque. Mais l'analyse aux rayons X montre que ce rouge contient du cobalt qui était un composé habituel à l'époque du pigment bleu smalt. Or, ce pigment a été abandonné car il se dégrade au contact de l'huile et perd sa couleur. L'analyse spectroscopique permet de cartographier les zones où le smalt a été utilisé et de démontrer que la robe était bleue à l'origine. De plus l'étude de la fluorescence X ou de la réflectance IR des deux tableaux montre le même repentir au niveau du dessin du pouce qui est dédoublé dans les deux tableaux. En suivant le même raisonnement que pour la Joconde du Prado, on peut être certain que les deux tableaux sont, au minimum, issus de l'atelier de Léonard de Vinci. On voit ainsi comment des mesures physicochimiques ont des conséquences en Histoire de l'Art qui sont éventuellement très importantes, en particulier concernant le fonctionnement des ateliers de peintre à la Renaissance

L'invention d'un gel, le « Meglip », pour Turner et les impressionnistes.

En 1787, un artiste nommé W. William vend la recette d'un nouveau médium qu'il appelle « Meglip », un gel qui améliore la luminosité de la matière picturale par l'ajout de mastic au mélange huile et acétate de plomb.

Ce gel a des qualités tout-à-fait intéressantes car il est thixotropique c'est-à-dire qu'il est pâteux au repos mais devient liquide dès qu'on l'agite. Autre conséquence il devient solide très rapidement. Cette propriété a été utilisée par William Turner qui a pu réaliser en 3 jours le tableau ci-après. C'est une vraie révolution quand on songe qu'il aurait fallu 3 ans pour réaliser la Joconde.

Ajout d'un médium au liant huile

1787 : *megilp* pour améliorer les qualités optiques (luminosité) de la matière picturale :

Recette = mastic + huile préparée + acétate de plomb dans des proportions allant de 3:1 à 1:3



« PbAc » + huile mastic + « Pb » + huile



Joseph Mallord William Turner, *The Dawn of Christianity (The Flight into Egypt)*, 1841, National Museums Northern Ireland, Belfast

Autre conséquence, la fabrication des peintures qui devenait plus complexe a été déléguée à des artisans, comme la maison Sennelier à Paris (<https://www.magasinsennelier.art>) qui a industrialisé le processus. A noter qu'à la Renaissance les peintres broyaient eux-mêmes la matière première des pigments et les mélangeaient à l'huile pour faire leur palette.

L'innovation apportée par le Megilp a été pleinement utilisée par les impressionnistes et leur a permis de peindre rapidement sur le motif.

Rôle du hasard dans l'invention par Renoir du noir sans noir

Le texte ci-dessous de Jean Carré sur la vie de Renoir illustre qu'une approche pragmatique dû au manque de moyen peut aboutir à des innovations aux conséquences considérables.

C'était en 1875-1876, Monet, Renoir, Pissaro, Sisley vivaient la misère ensemble à Louveciennes. (...) Ils travaillaient en plein air, tous ensemble, sur cette grande plaine de Louveciennes. Ils étaient l'un près de l'autre, ils étaient jeunes, ils cherchaient côte à côte, il y avait du plaisir, de la gaieté ! (...) Un jour que les tubes commençaient à s'épuiser, tous quatre, installés devant le même champ ou le même arbre en fleurs :

- Plus de noir ! cria soudain Renoir.

Pour obtenir le ton foncé, il amalgama du bleu, du rouge, et suppléa à la couleur par cette combinaison improvisée.

Quand, à l'heure du déjeuner, ils se montrèrent entre eux le travail de la matinée :

- Eh bien ? demanda Renoir. Qu'est-ce que vous dites de cela ?

Mais que cela rend l'ombre bien mieux, plus vraie, plus riche ! répliquèrent les autres avec enthousiasme.

Et c'est ainsi que le mélange des tons bleu et rouge pour remplacer le noir est né de la nécessité, de la misère, que les artistes ont d'ailleurs désigné d'un terme de palette : purée. L'ombre est créée par la juxtaposition de couleurs vives comme le montre le tableau ci-dessous de Claude Monet, « Les peupliers »



Cette anecdote permet de relativiser l'importance de l'approche scientifique et montre que l'innovation résulte à la fois d'approche réfléchie comme chez Léonard de Vinci ou Poussin et d'approches pragmatiques où le hasard joue une part.

Pour terminer l'orateur souligne que les résultats présentés résultent d'un travail d'équipe pluridisciplinaire qui associe les collègues des musées ou les archéologues et les historiens de l'Art. Mais pour que l'approche soit féconde, il faut que les scientifiques aient une connaissance bibliographique approfondie des sources historiques et que réciproquement les historiens de l'art comprennent les méthodes scientifiques utilisées.

Discussion

Q. Certains peintres actuels s'inspirent-ils des techniques anciennes ?

R. Oui un exemple caractéristique est celui de Rothko qui a beaucoup étudié et mis en œuvre les techniques des primitifs italiens (avec en particulier l'utilisation du blanc d'œuf). Il a aussi recommandé de se mettre à 43 cm pour mieux s'immerger dans les couleurs de l'œuvre ce que l'orateur a pu constater lors de la récente exposition à Paris.

Q. Les connaissances physicochimiques permettent-elles l'invention de nouveaux pigments ?

R. oui, certains peintres le demandent, cf. Klein avec son bleu. Un autre exemple est l'archéo-mimétisme où un peintre a demandé des couleurs qui disparaissent avec le temps. Il suffit qu'elles soient photodégradables.

Q. L'irradiation RX est-elle vraiment non invasive ?

R. Pas complètement mais on a tellement diminué les doses que l'effet éventuel est minime. Le même problème se pose pour les UV mais l'exposition induite par nos mesures ne représente que quelques minutes au soleil

Q. Qu'en est-il de la toxicité des peintures ?

R. Oui certaines peintures sont abandonnées pour cette raison. Certains envisagent de ne plus travailler sur le plomb ce qui poserait un problème pour les chercheurs. Il y a aussi le mercure mais le problème se pose surtout pour les anciens miroirs, par exemple dans la galerie des glaces à Versailles

Q. Ce regard scientifique ne démystifie-t'il pas l'art ?

R. Paradoxalement non. L'expérience montre que le fait d'aborder les œuvres d'art par ces aspects techniques amènent à venir voir les œuvres *in-situ* par un public qui n'a jamais mis les pieds dans un musée, que ce soit des ingénieurs de Microsoft ou des élèves de lycée

Q. Peut-on faire un rapport entre la pluridisciplinarité et la diversité des techniques rencontrées en astronomie qui permettent de remonter dans le temps et l'analyse physicochimique du patrimoine ?

R. Oui, le type d'instrumentation est le même. L'orateur en a donné un exemple où l'appareillage prévu pour la surface de mars a été utilisé pour analyser le tableau de Caillebotte.

Q. Avec la palette de couleur proposée par l'informatique peut-on tout reproduire ?

R. Oui pour les couleurs, en revanche il est difficile de reproduire les effets optiques car on est incapable de modéliser l'effet des différentes couches et leurs interactions

Q. Comment procédaient les créateurs de couleur à la Renaissance ?

R. Ils avaient des recettes extrêmement compliquées, c'était des apothicaires proches de l'Alchimie. Léonard de Vinci avait une cornue et avait fait venir un alchimiste.

Q. Que faites-vous en Égypte ?

R. Ce sont des études picturales effectuées, depuis 10 ans, dans des tombes de la vallée des Rois en coopération avec les archéologues égyptiens. C'est un art officiel hyper symbolique où beaucoup de choses nouvelles apparaissent mais encore plus de questions. En raison de la complexité, il est difficile d'en sortir des synthèses au point qu'on n'envisage pas de publication avant 10 ans.