



Lettre d'intention pour un chantier RGF – Bassin parisien

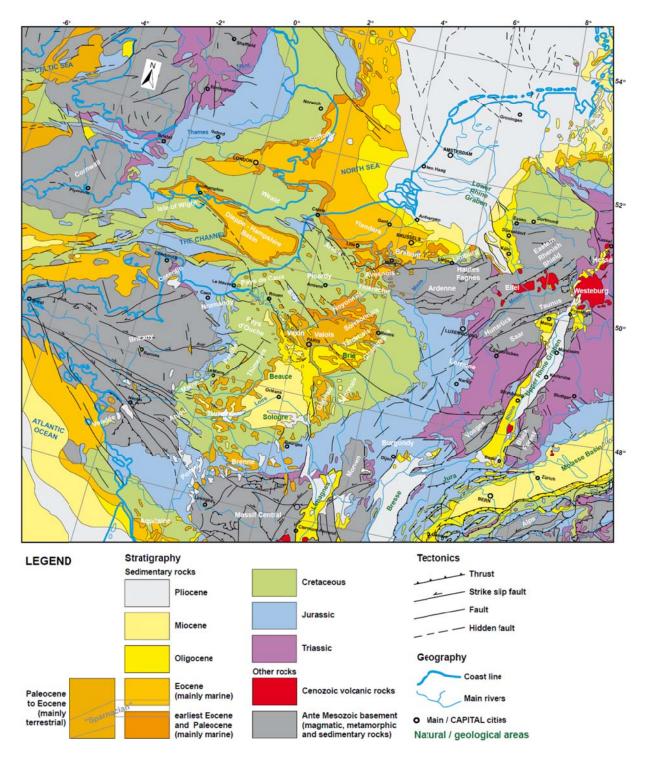


Figure 1 : le Bassin parisien, connecté à la Manche et la Mer du Nord et entouré de massifs cadomo-hercyniens, extrait de la carte géologique européenne à 1/5 000 000 (Quesnel et al, 2014, modifié d'après IGME, 2005)





1. Introduction

Le Bassin parisien se situe en Europe (Figure 1), il connaît un climat tempéré et son relief est modéré, avec des altitudes en majorité inférieures à 200 m et quelques plateaux et buttes témoins élevés de 300 à un peu plus de 500 m (Annexe 1). Cette cuvette morphologique centrée sur Paris est connectée à la Manche et à la Mer du Nord (le terme de Bassin anglo-belgo-parisien serait plus approprié). Ce bassin sédimentaire entouré de massifs hercyniens, qui en constituent aussi le substratum, appartient à la plaque eurasienne. Sa forme actuelle résulte de déformations tectoniques liées aux géodynamiques atlantique et pyrénéo-alpine, sous contrôle des structures cadomo-hercyniennes sans cesse réactivées.

Produit d'une évolution géologique et morphologique longue et polyphasée, son étendue a varié au cours du temps. La structure profonde est essentielle dans toute son histoire, certaines étapes furent précisées ou découvertes récemment et d'autres sont encore à décrypter et/ou élucider, à la lumière : i) des nouveaux concepts, outils et méthodes, jeux de données, ii) des nouveaux enjeux scientifiques, techniques et sociétaux.

2. Questions scientifiques majeures

Les questions scientifiques majeures sur le Bassin parisien sont listées ci-après *grosso modo* du bas vers le haut de la pile sédimentaire et de l'amont vers l'aval de la chaîne des connaissances ; les données indispensables sont indiquées en bleu et les enjeux sociétaux en rouge.

A - Peut-on améliorer la connaissance du socle varisque sous le Bassin parisien?

L'objectif est d'améliorer la compréhension de l'histoire géodynamique anté-mésozoïque du Nord de la France en prolongeant les unités structurales depuis les socles en bordure jusque sous le Bassin, en précisant les géométries internes, en remettant en lumière le front varisque et l'Anomalie Magnétique du Bassin Parisien. Cette approche a été menée récemment au sud du Bassin (Baptiste, 2016) : l'interprétation combinée des données géophysiques (aéromagnétiques et gravimétriques) actualisées et nouvelles, en support des nouvelles connaissances géologiques, a permis d'élaborer une nouvelle carte litho-structurale du substratum avec un niveau de détail encore jamais atteint (Annexe 2). En regard du précédent écorché anté-triasique du Bassin parisien (Debeglia, 1980), ces interprétations ont notamment révélé l'extension des grands cisaillements crustaux connus à l'affleurement. D'un point de vue lithologique, ces travaux ont mis en évidence l'extension sous couverture : i) des nappes métamorphiques de la partie nord du Massif central, ii) des sédiments paléozoïques et iii) des séries volcaniques cambriennes de la partie nord du Massif armoricain. Acquérir des données géophysiques haute-résolution dans la moitié nord du Bassin parisien permettrait de proposer de nouvelles interprétations lithologiques, en suivant la même démarche que dans la moitié Sud. Elles permettraient également de préciser les géométrie et cinématique du front varisque et du bassin d'avant-chaîne houiller (Manche orientale, Boulonnais, Artois, Avesnois), qui ont contrôlé le développement et la déformation de l'aire sédimentaire constituant l'actuel Bassin parisien. Elles permettraient également de revisiter la zone de suture Lizard-Bray-rhéno-hercynienne sous le Bassin (localisation, géométrie et cinématique de réactivation). Compléter les données géophysiques au Nord et à l'Est du Bassin (magnétisme, gravimétrie, profils de sismique profonds (SWAT, ECORS, DEKORP), profils industriels retraités), forages profonds, notamment en Lorraine (zone de la faille de Metz) et en Manche centro-orientale, modélisation géophysique, structurale et sédimentaire 3D.

B - Comment ce bassin sédimentaire est-il né?

Le Bassin parisien est un lieu unique pour modéliser l'origine et l'évolution d'un bassin intracratonique de petite taille (Le Solleuz, 2003) et à l'échelle pertinente pour discuter les effets relatifs des dynamiques mantellique et lithosphérique. 35 ans après, le modèle de McKenzie supposant un rift unique ne s'applique plus au Bassin parisien. L'initiation de ce bassin et de ses voisins NW européens à la fin de l'orogenèse varisque par effondrement gravitaire de la chaîne et création des bassins stéphano-permiens doit être revisitée, d'autant plus que les données tomographiques actuelles ne semblent pas confirmer les modèles de délamination. Il faudrait donc affiner les données tomographiques et en priorité étudier l'état de la lithosphère au Permien, ainsi que sa forte paléothermicité (reconstitution de la structure de la paléolithosphère, volcanisme, nature et subsidence des bassins permiens...). L'ampleur, la géométrie interne, les conditions de genèse (mécanismes finiorogéniques) et l'évolution de ces bassins et des reliefs adjacents restent à préciser (rejeux de quels accidents ? calendrier précis ? quels champs de contraintes ? ampleur des reliefs résiduels de la chaîne ? moteur de la subsidence thermique ? ...). Ces questions sont au cœur du projet DELAM d'Averbuch, Beccaletto et coll., qui propose d'aborder le processus de délamination lithosphérique tardi-orogénique comme modèle intégrateur pour étudier l'effondrement de la chaîne varisque et l'initiation de ce qui deviendra le bassin de Paris. La reprise de l'analyse sédimentaire des bassins permiens par Bourquin et coll. (après les derniers travaux menés dans les années 1980 au BRGM) et de nouvelles datations de téphras dans les séries viennent en complément opportun. Sont ainsi envisagés 3 groupes de questions scientifiques :

1) Quelle est la dynamique des fossés stéphano-permiens sous le Bassin parisien et en périphérie (Lorraine, Manche centrale, Morvan) ? Analyse sédimentaire des données de terrain et sur carottes, études palynologiques (végétation, climat, reliefs ?), datations des téphras, modélisation structurale 3D à partir des profils sismiques industriels retraités et des forages, modélisation thermique de l'enfouissement/exhumation des séries et évaluation des reliefs varisques bordant les fossés.





- 2) Quels sont le magmatisme et les minéralisations associées au processus de délamination? Étude des roches et paragenèses prélevées en forages et à l'affleurement, des fluides et des zones de cisaillement.
- 3) Comment passe-t'on des hauts plateaux varisques au bassin de Paris ? Modélisation numérique thermo-mécanique 3D du processus de délamination lithosphérique tardi-orogénique appliquée à la chaîne varisque du nord de la France, apport à la caractérisation des mouvements verticaux du socle varisque (surrection versus subsidence). Pour les points A et B, l'ensemble des nouvelles connaissances géologiques acquises pour répondre à ces questions scientifiques fondamentales aura des implications dans les domaines appliqués des ressources minérales et énergétiques (charbon, gaz de houille, géothermie profonde), des stockages souterrains et des aléas et risques associés.
- C Comment les accidents et blocs varisques ont-ils rejoué durant l'histoire méso-cénozoïque du Bassin parisien ? Le Bassin parisien est aussi idéal pour étudier la différence entre les subsidences long terme (200 Ma) et moyen terme (x10 Ma) accompagnant les grandes réorganisations de la déformation intraplaque. Il s'agit de mieux cerner la part relative de l'une et de l'autre de ces subsidences dans le contrôle des dépocentres, des profils de dépôt et de la circulation des fluides.

Si l'on sait depuis au moins Hébert (1874) que de nombreux interfaces géologiques sont déformés dans le Bassin parisien, il a fallu attendre les 50 dernières années pour démontrer que les déformations majeures sont *quasi* systématiquement présentes à l'aplomb d'accidents anciens ou à leur voisinage immédiat, les cas les plus flagrants étant ceux du front varisque et de l'anticlinal faillé du Bray, mis en évidence entre autres grâce à de la sismique, ou encore les failles de Vittel, de la Seine, de la Loire, la bordure ardennaise ou l'éperon du Perche. Les 30 dernières années ont vu fleurir dans tout ou partie du Bassin les études sur la répartition des faciès, des épaisseurs de sédiments, des variations d'accommodation, de subsidence, la migration des dépocentres, etc. (Cavelier & Pomerol, 1979; Dugué, 1989; Gély & Lorenz, 1991, travaux de Bourquin, puis Guillocheau, Robin et coll., ...), voire sur la localisation des zones en érosion et altération. Ces études concernent des intervalles stratigraphiques particuliers (Trias, Jurassique, Crétacé supérieur, Tertiaire) et les paléosurfaces continentales préservées dans le Bassin et sur ses bordures sont également déformées (Wyns, 1991; Quesnel, 1997).

Le rejeu des accidents varisques est démontré dans la plupart des cas, les mesures (micro)tectoniques (travaux de Bergerat et coll.), mais aussi des mâcles de la calcite, de la rugosité des stylolites tectoniques, etc. complètent la reconstitution des déformations post-varisques. Toutefois, le calendrier des déformations reste à préciser, cela implique souvent de passer d'une durée estimée de dizaines de Ma à moins d'1 Ma, une fois réduites les incertitudes sur l'âge des épisodes de déformation, voire à corriger les calages stratigraphiques qui ne sont pas justes. Les directions, le cadre géodynamique et les mécanismes sous-jacents, de même que les inversions tectoniques, doivent également être précisés ou revus à l'échelle de tout le Bassin et de la pile sédimentaire. *In fine* il reste à effectuer la déconvolution temporelle des déformations successives et à mieux les relier aux grands évènements géodynamiques ayant affecté la lithosphère NW européenne durant le Mésozoïque et le Cénozoïque. Le Bassin parisien est circonscrit depuis l'aube du Tertiaire à mi-distance entre l'ouverture du nord de la dorsale Atlantique (proto-Islande sur les lles Féroé) et l'orogenèse pyrénéo-alpine, mais son aire fut bien plus vaste au Jurassique ou au Crétacé supérieur, la mer boréale ayant été largement connectée à l'océan téthysien et les massifs hercyniens bordant l'actuel Bassin plus ou moins largement submergés à plusieurs reprises.

Cette approche est également déployée dans la partie submergée du Bassin depuis une dizaine d'années via l'acquisition, le traitement et l'interprétation de données bathymétriques et sismiques marines haute résolution et des prélèvements sur les fonds marins pour caler au mieux les faciès sismiques identifiés. La baie de Seine a déjà été traitée, la zone au large du Pays de Caux est en cours (campagne Mercaux), de même que celle au large de la Picardie (campagne Trémor), il reste des compléments de sismique, quelques campagnes de prélèvements et diverses études, notamment biostratigraphiques, les interprétations et la synthèse à effectuer. Il faudra prolonger ces études jusqu'au sud de la Mer du Nord et si besoin actualiser les connaissances liées aux études avant le creusement du Tunnel sous la Manche (projet Géosynth).

Données sismiques (terre + mer) + forages/terrain + calages temporels à acquérir/revoir => géométrie révisée, affinée, corrigée, histoire renouvelée. Ces nouvelles connaissances auront toutes des implications dans les domaines des réservoirs (hydrocarbures, stockages, eaux, géothermie), ressources en eau et minérales et risques naturels, notamment sismiques.

D - Peut-on y établir des bilans d'altération-érosion/sédimentation lors d'épisodes tectoniques majeurs ?

Assez bien connues, les grandes phases de déformation du NW de la plaque eurasienne correspondent aux discordances majeures enregistrées dans le Bassin et raccordées aux paléosurfaces continentales en son sein et jusque sur les socles bordiers. Plusieurs bordures du Bassin ont été étudiées en couplant géomorphologie et géologie classiques et cartographie numérique depuis les travaux de Quesnel (1997) initiés au BRGM. Seules 2 paléosurfaces (infracrétacée et paléocèneéocène) sur les 5 identifiées ont été cartographiées, parce que leurs paléoaltérites ont été caractérisées et datées en quelques points. Ces objets géologiques sont souvent difficiles à caler, les cuirasses ferrugineuses étant très rares dans le Bassin et les études préliminaires ayant montré que le paléomagnétisme ne donne aucun résultat dans les terrains meubles et que les oxydes de Mn ne recèlent souvent pas de potassium dans leur réseau cristallin, empêchant les datations ⁴⁰K/⁴⁰Ar et ⁴⁰Ar/³⁹Ar. Or dater plusieurs profils d'altération de référence pour ces surfaces est crucial pour rendre fiable et robuste leur cartographie. Il faudra donc multiplier les tentatives et appliquer de nouvelles méthodes de datation, comme celle par RPE développée par Allard et coll. et en cours de validation sur les kaolinites néoformées dans les altérites. Les 3 autres paléosurfaces continentales (triasique, infraliasique et néogène) restent à caractériser plus finement, à dater en plusieurs points également, puis à cartographier, l'ensemble du Bassin doit être intégré et les paléogéographies vérifiées et précisées.





En sus des altérites, il faut renouveler les connaissances sur les apports détritiques aux dépôts marins contemporains, sur toutes les bordures du Bassin, et parfois loin à l'intérieur, et examiner les sédiments continentaux et côtiers qui jalonnent ces paléosurfaces, notamment les sables plus ou moins argileux, ligniteux et glauconieux. Ces témoins privilégiés doivent être systématiquement recherchés, caractérisés et datés (par biostratigraphie ou géochronologie), les paléoenvironnements de dépôt finement reconstitués, et les assemblages en minéraux lourds étudiés, afin de déterminer leurs sources parmi les massifs bordiers, les travaux de Pomerol et Toureng ayant déjà montré que certains minéraux sont typiques du Massif armoricain ou du Massif central dans le Crétacé inférieur ou le Tertiaire par exemple. En outre les méthodes modernes combinant minéralogie, statistiques et géochimie (travaux de R. Knox et A. Morton) permettent d'aller plus loin dans l'identification des processus à l'œuvre dans les bassins versants (et plus loin) avant, pendant ou après le transport et le dépôt (altération, courants, volcanisme explosif, ...) et d'identifier les recyclages sédimentaires. Enfin, ces sables contiennent en plus ou moins grande abondance des zircons et d'autres minéraux (monazites, apatites, ...) datables dans les laboratoires universitaires, du CNRS et du BRGM: il conviendra d'effectuer des datations en grandes séries sur les minéraux de ces sédiments, ce qui n'a jamais été mis en œuvre dans le Bassin parisien, contrairement aux bassins de part et d'autre des Pyrénées et des Alpes, alors que ces méthodes sont désormais appliquées en routine en Amérique ou en Asie. Il conviendrait également de revisiter les connaissances des assemblages de minéraux argileux et de déterminer la part des héritages (sources des argiles dans les profils d'altération antérieurement formés ou contemporains des dépôts) et celle des néoformations éventuelles dans le Bassin lors de chaque épisode. Les processus de transport des argiles et leur lien avec les conditions de préservation des matières organiques sont des sujets restant à approfondir dans le Bassin.

Bien maîtriser toutes ces composantes essentielles des paléosurfaces continentales identifiées dans le Bassin parisien est un prérequis indispensable avant de tenter d'établir des bilans dans l'esprit *Source to Sink*. Accompagner ces travaux d'une reconstitution des mouvements verticaux, paléoenfouissements et érosions des paléocouvertures en injectant une approche thermochronologique constitue aussi une voie incontournable. Quelques données thermochronologiques et apparentées (microthermométrie sur inclusions fluides et maturité de la matière organique) sont publiées depuis peu sur l'Est et le Sud du Bassin et d'autres le sont déjà ou le seront prochainement sur toutes ses bordures (travaux de Barbarand et coll.). L'histoire thermique du Bassin ainsi reconstituée montre qu'une quantité non négligeable de terrains jurassiques et surtout du Crétacé supérieur (craies et tuffeaux ?) ont été déposés, puis érodés, confortant les résultats de l'étude des paléoaltérites à chailles et à silex (travaux de Quesnel & Bourdillon), mais ces travaux doivent être poursuivis dans d'autres secteurs du Bassin.

Les grands épisodes tectoniques sur lesquels il faudra concentrer les efforts pour établir ces bilans sont i) la transition Jurassique-Crétacé, en révisant les faciès purbéckiens et wealdiens et en reprenant l'étude des profils d'altération et karsts souvent épais et profonds, emblématiques d'une paléogéographie drastiquement modifiée en lien probable avec l'ouverture de l'Atlantique Nord (Thiry et al., 2006), ii) le Paléogène inférieur (que s'est-il passé exactement au Danien et au Sélandien, quand le Bassin était majoritairement en érosion?), les faciès sparnaciens encadrant la limite Paléocène-Eocène, l'Eocène supérieur, l'Oligocène et le Miocène, en lien cette fois avec l'ouverture du nord de l'Atlantique Nord, l'orogenèse pyrénéoalpine et l'inversion de la Manche. Il faudra pour chacun corriger ou préciser la paléogéographie en identifiant clairement les zones en érosion et soumises à l'altération, les réseaux hydrographiques, les zones de dépôt lacustres ou évaporitiques.

E – Comment ont opéré les paléocirculations de fluides associées à chaque épisode tectonique ? Quelles sont les origines (profonde ou météorique) des fluides ? Quelle est la diagenèse induite ?

Si les modifications de la diagenèse primaire des roches sédimentaires du Bassin parisien sont cernées depuis une trentaine d'années, tant sur certaines discontinuités sédimentaires que le long de failles ou de grands accidents, l'ensemble du Bassin n'est pas encore exploré de ce point de vue et il reste encore bien des phases de circulation de fluides à documenter. Le nombre exact d'épisodes sédimentaires ou tectoniques, la localisation des mouvements et les directions et sens des circulations de fluides associées (latérales et/ou verticales, ascendantes?), de même que la nature des fluides lors de chaque épisode ne sont pas encore connus avec suffisamment de précision dans l'espace et surtout dans le temps.

Or depuis 10 ans, la connaissance de l'histoire thermique et des épisodes de paléocirculations de fluides à l'origine des cimentations des séries du Bassin a considérablement progressé (cf. travaux de Brigaud, Carpentier, Andrieu, Mangenot...). Le croisement de géothermomètres variés (traces de fission sur apatite, microthermométrie des inclusions fluides, évolution de la matière organique, Tmax, MagEval, *clumped isotopes*) a permis de contraindre plus précisément l'histoire thermique des couches géologiques, notamment mésozoïques. Néanmoins, la difficulté à dater les principaux minéraux responsables de la cimentation (calcite, dolomite ou quartz) empêche d'avoir un calage temporel des événements à l'origine des changements de propriétés pétrophysiques des roches, ou de la concentration de certains éléments (F, Ba, Pb). D'autres minéraux accessoires, comme les fluorines, peuvent être datés, mais au prix d'une phase de préparation très longue.

Ces dernières années, le BRGM et plusieurs unités CNRS ont acquis un spectromètre de masse à plasma à couplage inductif (ICPMS) couplé à un système d'ablation laser, instrument permettant d'analyser géochimiquement des objets très petits (spot d'analyse de 10 à 20 μ m) et ouvrant des perspectives nouvelles pour dater des cristaux de calcite par la méthode U-Pb, directement sur les cristaux observés en lames minces. Ce type d'analyse in situ permet d'accéder à l'hétérogénéité géochimique dans un cristal, levant un verrou important de l'analyse très fine des cristaux et permettant de comprendre les processus mis en jeu. Par ailleurs, un spectromètre d'absorption laser mesurant les δ^{18} O et δ D dans l'eau a été développé, permettant d'analyser la composition isotopique des inclusions fluides des ciments. Parvenir à coupler i) température, ii) δ^{18} O/ δ D des fluides et iii) âge sur un même minéral (ou génération dans la roche) permettra de résoudre





beaucoup de problèmes en diagenèse. Les développements de protocoles analytiques sont en cours et devraient être prêts lors du démarrage du prochain chantier RGF. Ils pourront être mis en œuvre sur des échantillons prélevés sur des coupes ou carottes de référence par les laboratoires mobilisés dans ce chantier Bassin parisien.

Pour les points D et E : données sismiques et diagraphiques, terrain, carottes, analyses pétrographiques, minéralogiques, géochimiques, pétrophysiques, calages biostratigraphiques et datations des divers minéraux concernés, thermochronologie. Ces nouvelles connaissances auront des implications dans les domaines de la géoprospective, de la qualité des réservoirs (hydrocarbures, stockages, eaux, géothermie) et de leurs couvertures argileuses, des roches mères à hydrocarbures, des couches argileuses comme lieux de stockage, des ressources minérales (notamment argiles et sables, mais aussi fluorine...) et en environnement (protection des nappes, érosion des sols...) et risques naturels.

NB: les questions scientifiques relatives aux circulations de fluides récentes ou actuelles sont traitées dans le point H. Intégrer les résultats des points C, D et E avec ceux issus de la reconstitution de l'évolution des paléoclimats (point F) permettra de déterminer les parts des forçages tectonique et climatique et les rôles de l'eustatisme et du volcanisme global.

F - Les crises et transitions climatiques globales méso-cénozoïques majeures sont-elles enregistrées dans le Bassin parisien et quels enseignements nous apportent ces archives ?

Dès le XVIIIème siècle, le Bassin anglo-belgo-parisien fut le berceau de la stratigraphie, de la paléontologie, de la cartographie géologique et de nombreux concepts qui les sous-tendent. La continuité latérale et la succession verticale des strates, la constance des assemblages de fossiles ou de fossiles remarquables (marqueurs) dans les strates identifiées sur le critère du faciès homogène, puis au travers des variations latérales de faciès, l'évolution plus ou moins rapide des flores et des faunes au cours des temps géologiques y ont été découvertes, souvent en premier. Elles furent ensuite recherchées systématiquement et ont alimenté le corpus actuel des connaissances géologiques fondamentales et appliquées. Or de nos jours, les connaissances stratigraphiques et celles de l'évolution des paléoenvironnements et des (micro) flores, qui les accompagnent et qui permettent de reconstituer l'évolution des paléoclimats qui se sont succédé en Europe du NW, ont atteint un niveau de qualité, de justesse et de précision inégal et parfois bien moindre dans le Bassin parisien comparé à ses voisins. Les séries marines sont mieux connues que les séries continentales, quelques faunes ou flores servent de référence à l'échelle suprarégionale (par exemple les faunes d'ammonites, de brachiopodes ou les coraux de la mer boréale et de l'océan téthysien au Jurassique), certes, mais il reste encore de nombreuses voies à explorer (notamment concernant les dépôts continentaux) et des découvertes de portée mondiale à faire dans le Bassin parisien, qui reste un chantier d'exception à bien des égards pour la communauté des spécialistes, français ou étrangers.

Les travaux récents ont ainsi montré dans le Bassin (ou son proche voisinage) l'enregistrement de guelgues crises et transitions climatiques du Mésozoïque et du Cénozoïque, qui sont globales et très étudiées de par le monde, par exemple plusieurs évènements anoxiques océaniques (OAE), crises hyperthermiques ou transitions brutales, comme les OAE du Toarcien, de la limite Cénomanien-Turonien, le maximum thermique de la limite Paléocène-Eocène (PETM), l'optimum climatique de l'Eocène inférieur (EECO), la transition Eocène-Oligocène (EOT) (Annexe 3). Plusieurs évènements climatiques connus mondialement remarquables sont à peine découverts dans le Bassin, par exemple dans les craies du Crétacé supérieur, d'autres y sont maintenant reconnus en plusieurs endroits (le PETM et divers évènements du Jurassique), quelques-uns deviennent des références mondiales, d'autres enfin sont seulement soupçonnés et il convient de les rechercher activement. Nombre de ces évènements sont emblématiques de la recherche actuellement menée sur les changements climatiques anciens liés à l'émission massive de gaz à effets de serre, comme analogues au changement climatique actuel. Leur étude permet d'identifier les mécanismes à l'œuvre dans le fonctionnement du système océanatmosphère et de documenter les effets de ces changements climatiques dans l'environnement et la biosphère, tant à terre qu'en mer (milieux de dépôt divers, récifs coralliens, lagunes, paysages, sols, végétation, faunes, ...). Le cycle du carbone et d'autres éléments comme l'azote est scruté avec attention, ainsi que divers traits particuliers du fonctionnement du système climatique quand il est modifié (renforcement des contrastes saisonniers et de l'hydrologie, installation de régimes de moussons ou les crises d'aridité du Trias, de l'EOT ou du Chattien, par exemple) et les rétroactions positives ou négatives. Tout ce qui a trait au carbone, tant la matière organique que les carbonates et organismes producteurs associés, présente un intérêt particulier, via entre autres les processus de séquestration naturelle ou de production des gaz à effets de serre, le CO₂ bien sûr, mais aussi le méthane. Plusieurs indicateurs permettent aussi de reconstituer l'évolution des paléotempératures, dans les roches, les organismes fossiles, et bientôt certaines molécules organiques.

L'ensemble de ces travaux doit se poursuivre dans le Bassin parisien, car les archives sédimentaires, organiques et paléontologiques sont présentes, riches et variées, et les chercheurs concernés tous mobilisés. Documenter ces crises ou les phénomènes qui accompagnent les transgressions et divers moments particuliers comme les débuts et la diversification crétacés des Angiospermes ou des *hot spots* de la diversité marine tel le Lutétien des environs de Paris par exemple, travailler à échelle régionale (notamment en milieu continental) et spatialiser les effets des crises dans l'environnement, permettent aussi de nourrir les recherches sur la modélisation des systèmes climatiques anciens et aident à déterminer les paramètres à prendre en compte, les effets de seuil et les forçages. Plusieurs voies actuellement explorées concernent les effets des crises paléoclimatiques sur les écosystèmes et populations marines et terrestres, les paléosurfaces continentales et types d'altérites associées, sur l'évolution des architectures sédimentaires, par exemple les plateformes carbonatées du Jurassique, les chenaux fluviatiles à côtiers dans les faciès sparnaciens ou les modalités de formation des dépôts de gypse dans l'Eocène supérieur (dans ces 3 cas et dans d'autres, les parts respectives du climat et de la tectonique sont encore





débattues et doivent être déterminées). Des questions se posent sur les causes de la présence d'assemblages fauniques ou floristiques, faciès ou ressources particuliers et les liens avec plusieurs de ces évènements singuliers. En outre, le Bassin parisien est souvent considéré comme un modèle type de mers semi-fermées, caractérisé par une faible activité des vagues, seule la marée pouvant être localement très efficace. Cela a beaucoup de conséquences sur les modèles de faciès et la reconstitution des paléobathymétries, élément incontournable de toute mesure de subsidence d'un bassin. Il serait intéressant de coupler des modèles atmosphériques simulant les paléo-vents avec des modèles océanographiques simulant les courants induits par le cisaillement du vent, dans un cadre paléogéographique très contraint, qu'il s'agirait de retravailler à la lumière des progrès récents de la géologie sédimentaire.

Cette recherche paléoclimatique et stratigraphique intégrée nécessite de travailler sur des coupes de référence et de mettre en œuvre (dans certains cas développer) des méthodes d'analyses sédimentaires, géochimiques, organiques, isotopiques, minéralogiques, (micro)paléontologiques, etc. et de stratigraphie très précises (à haute résolution) et intégrées, utilisant plusieurs outils ou proxies sur les mêmes archives et parfois des signaux de sources multiples qu'il faut déconvoluer. Les biozonations sont révisées (parfois beaucoup), voire calibrées très précisément au cours de ces études, ce qui est indispensable par exemple pour une grande partie du Paléogène. Les calibrations des biozonations et bioevents sont ensuite mises à profit pour les corrélations stratigraphiques à établir en travers du Bassin et servent donc aussi d'outils pour les autres volets du chantier. L'idéal consiste toutefois à disposer de séries sédimentaires avec très peu de hiatus, dans lesquelles des cycles d'origine astronomique sont exprimés. Ils permettent de calibrer le temps dans ces enregistrements (voire l'échelle stratigraphique internationale pour les intervalles concernés) et de comparer les évolutions au sein du Bassin et avec les séries et évolutions contemporaines ailleurs dans le monde (dans d'autres environnements et sous d'autres paléolatitudes). Ces types d'archives ont été étudiées récemment dans le Bassin, d'autres sont en cours d'étude ou prospectées, dans le Tertiaire, le Crétacé supérieur et le Jurassique. Certains étages géologiques et dépôts associés restent largement sous-étudiés dans le Bassin parisien (Sinémurien-Pliensbachien, Bajocien, Aptien-Albien, Craies, Eocène, Oligocène...) et constitueront à l'avenir des ateliers pertinents, à l'instar des intervalles déjà étudiés, pour comprendre les évolutions paléoenvironnementales et paléogéographiques, la dynamique de remplissage du bassin en lien avec la tectonique synsédimentaire et le rôle des migrations de fluides et l'évolution diagénétique du bassin.

Affleurement de très haute qualité (carrières, travaux d'infrastructures, falaises) et forages carottés (coupes de référence) diagraphies, datations, bio-, magnéto-, chémo-, téphro-, cyclo- stratigraphies, sédimentologie, minéralogie, géochimie, paléontologie; Les forages profonds du programme GPF, pétroliers, de Craie 700 ou ANDRA offrent l'avantage de traverser plusieurs des séries d'intérêt, voire d'atteindre le Permien où cette recherche doit aussi être menée. Demander un forage profond dans le programme ICDP est aussi envisagé dans les secteurs ciblés du Bassin où aucun forage carotté n'existe actuellement. Ces nouvelles connaissances ont des implications stratigraphiques : elles permettent de caler les séries à haute résolution et nourrissent les lexiques stratigraphiques et les corrélations en travers du Bassin, donc à l'amont des modèles géologiques 3D qui servent les autres volets. Elles en ont aussi en matière de climatologie et de prévision des effets du changement climatique actuel, domaine de la géoprospective et de l'aménagement du territoire.

G - Dans quelles conditions le Bassin parisien est-il en érosion aux Néogène et Quaternaire?

La déformation lithosphérique cénozoïque à actuelle de l'Europe de l'ouest est essentiellement contrôlée par la mise en place du système cénozoïque de rift européen (ECRIS) : en témoigne le fait que le volcanisme, majoritairement daté du Miocène au Pléistocène et la plupart des séismes actuels se localisent sur plusieurs segments de l'ECRIS. A cette dynamique s'ajoute une activité actuelle avérée sur de grands accidents hérités de la chaîne varisque, comme la zone de cisaillement sud-armoricaine. La déformation tectonique actuelle au sein du Bassin parisien, si l'on se réfère à la sismicité, est très faible à quasi nulle. Dans ce contexte, le Bassin constitue un objet d'une relative stabilité tectonique où les cycles climatiques, les variations glacio-eustatiques et les déformations de grande longueur d'onde ont un impact plus marqué sur l'évolution des paysages et du drainage.

Comprendre l'évolution récente du Bassin parisien passe donc par l'étude de sa dynamique sédimentaire depuis l'Oligocène supérieur jusqu'au Quaternaire en intégrant l'influence mécanique de la mise en place de l'ECRIS depuis les bordures du bassin. L'estimation des taux de déformation peut être abordée à travers l'évolution spatiale et temporelle de l'incision des grands systèmes fluviatiles. L'influence sur cette évolution de mécanismes intrinsèques et extrinsèques, qui gouvernent la répartition des systèmes sédimentaires et des surfaces d'altération doit être intégrée. Un enjeu majeur consiste par exemple à améliorer les estimations des taux d'incision mesurés à l'échelle du Tertiaire et du Quaternaire et au sein même du Pléistocène, les résultats ou perceptions étant très contrastés selon les auteurs.

Le Bassin entier et ses confins sur les massifs anciens (Armoricain, Central, Ardenne, Vosges) sont concernés. L'estimation de l'enregistrement des déformations s'appuie sur deux jeux de données : i) des systèmes de dépôt non confinés s'étalant sur une large surface (intervalle 30-3 Ma, avec les dépôts rupéliens marquant la dernière transgression majeure sur le Bassin et les dépôts néogènes, i.e. des dépôts lacustres et des systèmes fluviatiles avec incursions marines (plus marquées aux abords de la Manche, ii) des systèmes confinés (1,755 Ma à nos jours), avec des dépôts de nappes alluviales souvent étagés sur les flancs des vallées en cours d'incision. Les faciès retenus correspondent à des reliques de paléotopographies qui fournissent des informations précieuses sur les pentes générales, les altitudes par rapport au niveau marin contemporain du dépôt. Les grands ensembles retenus se répartissent entre les dépôts marins, représentés principalement par des dépôts de plage, correspondant à la transition avec le domaine continental, les dépôts fluviatiles, distribués en larges nappes





alluviales étalées ou en nappes confinées à l'intérieur des vallées en cours d'incision. Ils fournissent de précieuses informations sur les pentes relatives, même s'il est difficile de les positionner par rapport à des altitudes absolues. Les surfaces d'altération correspondent enfin à des zones stables, où opère la transformation pédo-géochimique du substrat.

L'estimation des déformations peut être conduite pour 3 intervalles de temps pour lesquels l'information est suffisamment bien répartie sur l'ensemble du Bassin, intervalles emboités qui permettront de discuter l'influence des échelles de temps sur les vitesses absolues de déformation :

- le temps long (données du Rupélien), connu par les données de forage et d'affleurements essentiellement en carrières. L'intervalle de temps retenu correspond à celui de la fin de la seconde transgression observée au Rupélien, la carte doit donner une image des déformations moyennes sur quelques dizaines de millions d'années.
- le temps intermédiaire représenté par les dépôts du Néogène est plus complexe à traiter car leur attribution stratigraphique est souvent assez mal contrainte, de plus, ce sont le plus souvent des données alluviales et lacustres pour lesquelles le positionnement altitudinal est loin d'être direct.
- le temps court, représenté par les données du Quaternaire, correspondant essentiellement à des nappes alluviales étagées ou emboîtées le long de cours d'eau. Il s'agit d'un système original par rapport aux précédents, puisque constitué d'ensembles confinés pour lesquels les positionnements altitudinaux et temporels ne sont pas toujours connus avec précision.

La restitution des conditions paléohydrologiques et des transformations pédo-géochimiques complètent l'approche.

Comme pour les évènements plus anciens, les spécialistes sont mobilisés. Les paléogéographies doivent être corrigées et affinées, et les bilans sédimentaires dans l'esprit *Source to Sink* peuvent également être tentés, au centre du Bassin et vers l'Atlantique, *via* la Manche ou la Loire, une fois les objets et surfaces continentales bien caractérisés et datés. Les questions se posent sur les volumes érodés, en transfert et exportés vers la Mer du Nord et l'Atlantique lors des épisodes identifiés, sur l'évolution des réseaux hydrographiques, des embouchures des grands fleuves actuels, et sur leurs localisation lors des épisodes froids du Quaternaire, quand le niveau marin était beaucoup plus bas (minimum pléistocène à -120 m avec la Manche à sec par exemple). Plus en détails, le nombre et la taille des bassins versants sont encore mal connus, ainsi que les modalités de captures des rivières et les causes des emboîtements ou étagements des terrasses alluviales.

En outre, partout dans le Bassin, les lœss, dépôts de pente, colluvions, travertins, ainsi que les tourbes et dépôts fins des complexes holocènes dans les zones humides des vallées, grandes dépressions ou les zones littorales doivent également être revisités, mieux datés, cartographiés et modélisés en 3D, ce qui constitue un défi majeur, au vu de la complexité de leurs géométries. Toutefois les outils géophysiques développés ces dernières années, notamment héliportés, peuvent aider grandement dans cette tâche. *In fine*, les questions scientifiques portent sur les contrôles majeurs de la morphogenèse, il s'agit de décrypter les parts respectives de la tectonique et du climat, et celles des processus locaux, régionaux et globaux.

Il reste enfin la part des activités humaines à prendre en compte, avec i) la nécessité de mettre à jour régulièrement la cartographie des dépôts anthropiques, bien sûr, mais aussi des extractions (cf. bases de données des carrières, creusement des ouvrages, grands linéaires, etc.) et ii) une voie de recherche récente et en pleine expansion sur l'Anthropocène et ses effets dans l'environnement. La candidature pour le futur GSSP de ce possible nouvel étage géologique est d'ailleurs actuellement envisagée sur un ou plusieurs sites dans le Bassin parisien.

Terrain, géophysique en mer, à terre et aéroportée ou héliportée, dragage des fonds marins, carottes, cartographie à différentes échelles des grands systèmes alluviaux (Seine, Somme, Rhin, Loire, Manche...), datations, synthèse de données anciennes et nouvelles, datations des dépôts du Néogène et du Quaternaire à l'aide de méthodes appropriées à ces faciès et aux périodes de temps (ESR, OSL, datation argiles, biostratigraphie, industrie lithique...), cartes de restitution des paléosurfaces (transgressions marines, profils en long des cours d'eau), modélisations de l'évolution des profils des cours d'eau prenant en compte les déformations grandes longueurs d'onde et les contraintes climatiques et eustatiques, modélisation paléoclimatique s'appuyant sur les restitutions paléoenvironnementales, paléohydrologiques et pédologiques. Ces nouvelles connaissances auront des implications dans les domaines de la géoprospective, des ressources naturelles (eaux, géothermie basse température) et minérales (argiles, sables, granulats), en environnement (protection des ressources, des nappes, érosion des sols...) et risques naturels.

H – Quels sont les mécanismes, structures, forçages qui conditionnent les transferts (eau, chaleur, matière) entre aquifères à l'échelle de tout le Bassin parisien et à une échelle plus régionale/locale ?

De l'ensemble des points précédents découle une dernière série de questions scientifiques, liées de très près aux enjeux sociétaux, à propos de la circulation actuelle ou très récente (derniers cycles climatiques du Quaternaire) des fluides, essentiellement les eaux de pluie et de ruissellement infiltrées et les nappes phréatiques, dans le Bassin. Ces questions se posent en raison de l'exploitation des ressources en eau du Bassin parisien, à la fois pour l'alimentation en eau potable, mais aussi pour la géothermie. Classiquement décrit comme un système géologique multicouche, le Bassin parisien constitue un système vivant qui évolue en régime transitoire. Mieux connaître sa structure et ses caractéristiques intrinsèques est indispensable, mais les travaux de synthèse des observations et de modélisations hydrogéologiques récemment menés à l'échelle du Bassin (Violette et coll., ...) ont conduit à se rendre compte que mieux évaluer son passé, c'est mieux prédire son avenir et l'impact des usages croisés.





Pour progresser dans cette voie, il faut d'abord améliorer la connaissance géologique du système multicouche aquifèresaquitards en i) revisitant les géométries des corps sédimentaires, notamment dans le Tertiaire où elles sont complexes, parfois lenticulaires, et ii) en caractérisant mieux les faciès et environnements de dépôt (notamment les évaporites, carbonates, sables, argiles, lignites, faciès riches en pyrite...). Etablir un modèle géologique 3D suffisamment précis dans sa géométrie et dans les informations lithologiques et paramètres physiques associés est là encore indispensable.

Les derniers travaux ont mis l'accent également sur la nécessité de mieux caractériser les zones de failles et/ou de fractures où les circulations semblent privilégiées (Dentzer, 2016) et peuvent faire communiquer des aquifères séparés, ce qui peut avoir des répercussions très importantes en hydrogéologie ou géothermie, mais aussi en géotechnique, génie civil et en matière de risques naturels (stabilité des terrains, dissolution des évaporites, karstification des craies et autres calcaires fracturés, sécurité des stockages souterrains, etc.).

Les travaux de recherche à mener dans ce volet (3 projets soumis à l'ANR et à l'AESN fin 2016) ont pour objectifs de :

- caractériser le système multicouche (géométrie, dynamique, qualité, chaleur) en acquérant de nouvelles données (h, T, S, Température, ...) et intégrer les forçages passés aux approches quantitatives développées,
- déterminer les impacts des forçages naturels et anthropiques passés sur les caractéristiques (dynamique, qualité, chaleur) du système,
- In fine, évaluer la représentativité des mesures hydrogéologiques vis-à-vis des forçages, tant naturels qu'anthropiques.

D'autres projets de recherche hydrogéologique dans le Bassin devraient être soumis prochainement (par Lions et coll.) visant à mieux expliquer les paramètres chimiques des eaux des différents aquifères (calcaires jurassiques, sables albiens, craies, sables et calcaires du Tertiaire) et en particulier les occurrences naturelles en certains éléments (SO₄, B, F, Fe) et éléments traces (Se, Ni). Il faut d'abord établir la méthodologie pour délimiter des zones à risque de fond géochimique et valeurs seuil, en prenant en compte les faciès géologiques (et leur chimie) des aquifères et de leurs couvertures, la drainance verticale et le fonctionnement hydrogéologique. Pour y parvenir, il faut bien connaître le contexte géologique et hydrogéologique, et l'étude des faciès passe par les connaissances actuelles (modèles géologiques, cartographie) et des observations de terrain. Le traitement des aquifères multicouches nécessite de vérifier les niveaux captés pour chaque ouvrage et mettre à jour les bases de données (rattachement à la BD LISA). Il semble évident que pour faire progresser significativement ce type de projets et toutes les modélisations hydrogéologiques et hydrogéochimiques dans le Bassin parisien, disposer de modèles géologiques 3D assortis des paramètres lithologiques, minéralogiques, géochimiques et physiques, ainsi que les modèles d'incertitudes associés à chaque paramètre est indispensable.

En aval de données sismiques, diagraphiques et géologiques en nombre suffisant, modèles géologiques 3 D robustes et fiables à résolution adaptée (haute pour le Tertiaire du cœur du Bassin), mesures des paramètres hydrogéologiques, thermiques et chimiques des roches et des eaux souterraines. Ces nouvelles connaissances auront des implications directes en hydrogéologie, géothermie, géotechnique, ressources minérales, environnement (protection des nappes, qualité des eaux souterraines...) et risques naturels.

3. Enjeux sociétaux et économiques/industriels majeurs

Le Bassin parisien est la plus grande région naturelle de France, c'est une vaste et riche région agricole (et forestière), drainée par des fleuves importants, dont 2 majeurs en France : la Seine et la Loire. Elle constitue aussi l'une des premières régions économiques d'Europe et l'une des principales zones d'investissements étrangers en France et en Europe. Les enjeux sociétaux, environnementaux, économiques et industriels sont importants et multiples, de par la population présente (Annexe 4), les grandes métropoles, et les différentes exploitations géologiques du sous-sol du Bassin parisien. En outre, ils s'adressent à des profondeurs variables, de 0 à plus de 3000 m (6000 m en incluant le Bassin sarro-lorrain), la plupart des disciplines des géosciences appliquées sont concernées. Il peut exister des complémentarités ou des conflits d'usages.

Déjà évoqués dans chaque paragraphe sur les questions scientifiques, les domaines suivants sont à prendre en compte :

Réserves d'hydrocarbures conventionnels et de charbon, à plus ou moins grande profondeur, les géométries des gisements varient selon les cas et doivent être affinées. Les premiers font encore l'objet d'exploitation et exploration, le second est considéré comme stratégique en raison du méthane qu'il contient (grisou) et qui pourrait être à nouveau exploité à l'avenir.

Stockages souterrains d'énergie (gaz, hydrogène, air comprimé, chaleur), de déchets (Projet Cigéo de l'ANDRA), séquestration de CO₂, existants, potentiels ou recherchés. Là encore, il est nécessaire de connaître la géométrie des réservoirs concernés, leurs hétérogénéités et paramètres physico-chimiques, et les géométries et natures des couvertures.

Réservoir de nappes aquifères d'importance nationale et exploitation géothermique à plus ou moins grande profondeur (existante ou envisagée). Il est nécessaire de disposer des géométries des réservoirs et aquifères/aquicludes, des paramètres physico-chimiques des roches concernées, et de bien connaître les réseaux de failles ou discontinuités pour estimer au mieux les possibles transferts entre aquifères, puis de coupler ces modèles avec des modèles dynamiques, hydrogéologiques, géochimiques, etc. Le problème des karsts se pose aussi dans le Bassin parisien, avec des occurrences parfois spectaculaires (Val de Loire, Normandie, Lorraine, Nord...), et ses contraintes propres, qui impliquent de mettre en





œuvre des méthodes adaptées (essentiellement géophysiques) aux géométries complexes des cavités ou zones partiellement dissoutes.

Ressources minérales diverses (fluorine et métaux stratégiques, calcaire, phosphate, évaporites (gypse, anhydrite, etc.), granulats, argiles, silice, fer, ...), en surface ou en profondeur, exploitées actuellement ou autrefois, voire à l'avenir. Le besoin de connaître les réserves est évident, ainsi que celui de trouver des substituts aux granulats alluvionnaires, qui se fait particulièrement sentir en région parisienne et au voisinage, où le déficit en matériaux exploitables (et granulats aux normes routières et SNCF) atteint un seuil critique. Ce thème présente aussi l'incidence forte de la problématique des risques de dissolution des évaporites ou d'effondrement de cavités souterraines, en région parisienne en particulier, mais ailleurs dans le Bassin aussi, i.e. partout où des ressources minérales ont été exploitées dans le sous-sol (par exemple en Lorraine, Normandie, Nord-Pas de Calais...).

Aménagement du territoire, aléas et risques géotechniques et environnementaux : génie civil sur grands linéaires, construction de bâtiments, géologie urbaine, aléas de retrait-gonflement des argiles, d'érosion des sols, de mouvements de terrain, d'inondation, risque sismique, protection des sols et des nappes phréatiques face aux pollutions etc. Dans ce volet, il convient de mentionner les questions géologiques formulées par les géotechniciens (du CEREMA entre autres) intervenant dans les études avant travaux du Grand Paris (Figure 2) : il est indispensable de mieux connaître les géométries des terrains très irréguliers, voire lenticulaires présents en lle de France (gypse de l'Eocène supérieur, argile plastique et lignites des faciès sparnaciens, craie fracturée, altérée ou recristallisée près de l'anticlinal de Meudon). Pour résoudre ces problèmes et mieux imager ce sous-sol complexe, il est envisagé d'utiliser diverses méthodes géophysiques, avec des émissions non pas en surface, à cause de l'urbanisation généralisée, mais en profondeur, dans les galeries ou cavités souterraines, et des réceptions en surface ou dans les puits existants et accessibles. Dans le reste du Bassin, les géotechniciens réclament une meilleure connaissance des terrains du régolithe, idéalement sous forme de cartes géologiques numériques multicouches.

Patrimoine géologique et paléontologique, documentation et préservation (Géosites et Géoparcs), médiation scientifique pour le grand public, éducation, formation par la recherche. Le Bassin parisien est riche en sites où certains concepts ou des stratotypes ont été historiquement inventés et définis dès le XVIIIème siècle, mais nombre d'entre eux ne sont plus accessibles aujourd'hui, en raison de l'urbanisation galopante ou de la fermeture de carrières. Toutefois plusieurs chantiers sont actuellement développés sur la valorisation et la sauvegarde patrimoniale de sites géologiques historiques remarquables, notamment par l'ISTEP et le MNHN, une thèse est même en cours sur ce sujet en Région Ile de France. La série tertiaire de la carrière de Cormeilles en Parisis ou le site de Grignon en sont les exemples le plus récents. Plusieurs acteurs des Universités, du MNHN et du BRGM collaborent avec le CR2P et la CRPG sur cette thématique. Plus largement, il y a un grand intérêt pour la communauté des Géosciences à valoriser la ressource et le patrimoine géologique dans le cadre du développement du Grand Paris. Par ailleurs, il serait intéressant de valoriser d'autres sites porteurs du Bassin parisien et d'évaluer leur possibilité d'aménagement dans le cadre de la préservation de la géodiversité.

Pour répondre à tous ces enjeux et réaliser une avancée significative des connaissances par rapport à l'existant, il est fondamental de produire des cartes géologiques multicouches et des modèles géologiques 3D multiéchelles, assortis de paramètres physiques et chimiques des roches; les modèles d'incertitudes associées sont également indispensables. Outre l'utilisation des données sismiques retraitées, une analyse fine, basée sur des corrélations en stratigraphie séquentielle appuyées par des calages bio-, magnéto-, chémo- ou cyclo- stratigraphiques renouvelés partout où cela est nécessaire est indispensable pour aboutir à ces modèles 3D adaptés, robustes et fiables.

La collaboration avec tous les grands acteurs qui travaillent dans le Bassin parisien est nécessaire, afin de tenir compte de toutes les données et méthodes disponibles et de travailler de manière concertée avec eux et, *in fine*, les utilisateurs.

Au sein du chantier RGF Bassin parisien proposé, l'accent devra d'abord être mis sur l'état des lieux des données et la révision du lexique stratigraphique général, la mise en cohérence des différentes données à échelle régionale, comme les données géophysiques (magnétiques, spectrométrie Gamma U-K-Th, gravimétriques et sismique réflexion ou profonde), ainsi qu'à l'échelle plus locale (régolithe, matériaux, etc.). Ensuite, les efforts doivent porter sur l'acquisition de nouvelles données là où c'est nécessaire, les (re)traitements et interprétations d'un bon nombre de données sismiques ou géophysiques autres, et la mise en cohérence de toutes les bases de données (nouvelles et antérieures) à l'échelle plus régionale/locale, afin de produire les modèles géométriques multiéchelles et de répondre, par exemple, aux problèmes de cartographie de l'aléa retrait-gonflement, de dissolution des évaporites, de la ressource en eau, en matériaux dont granulats et argiles, de géothermie, de stockage souterrain d'énergie, etc.





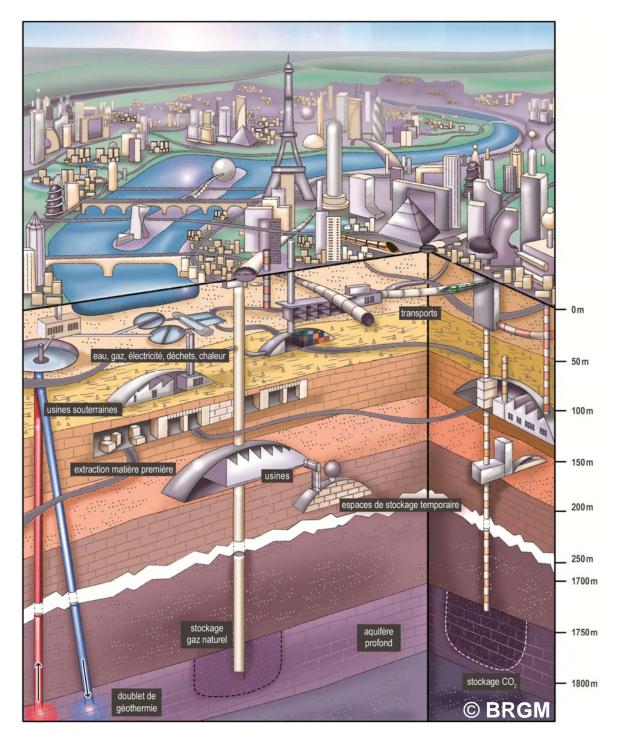


Figure 2 : schéma conceptuel des enjeux sociétaux et industriels liés au sous-sol dans le Bassin parisien

4. Préreguis indispensables et Verrous scientifiques récurrents

Répondre avec pertinence à toutes les questions scientifiques et enjeux sociétaux ici présentés ne pourra se faire sans une cohérence et une mise à jour de toutes les données disponibles et l'acquisition de données nouvelles. Une approche intégrée à l'échelle du Bassin apparaît la plus appropriée, passant par l'établissement de lexiques stratigraphiques, la révision des contours géologiques là où c'est nécessaire, et la réalisation de modèles géométriques multiéchelles et cartes géologiques numériques multicouches appuyés par la géophysique (notamment aéroportée) et les forages. Et il faudra travailler dans l'esprit "cartographie évènementielle" fondateur du RGF depuis sa création, ce qui implique d'identifier et de dater avec justesse et précision les dits évènements (ou épisodes) géologiques.

<u>Les géoscientifiques ne peuvent travailler sans la mesure du temps.</u> Un des points durs du Chantier RGF Bassin parisien réside dans la nécessité de disposer de calendriers justes et précis des évolutions et des mécanismes : certains lexiques stratigraphiques sont (très) obsolètes, la stratigraphie est une science en constante évolution, il y a une





importante mise à jour à faire dans le Bassin parisien sur certains intervalles pour se hisser au niveau international et des pays voisins (cf. atlas de la Mer du Nord de 2010, par exemple). Pour y parvenir sont indispensables :

- Des efforts importants sur les datations, tant par calages stratigraphiques que par géochronologie, avec retour sur le terrain et/ou les carottes disponibles pour acquérir des données et revisiter entièrement les calendriers, les nomenclatures lithostratigraphiques et les découpages ou modèles en stratigraphie séquentielle.
- Les méthodes modernes de la stratigraphie (bio-, magnéto-, chémo-, téphro-, et cyclo- stratigraphies) sur des coupes ou forages de référence et l'approche intégrée (en faisant collaborer les spécialistes concernés par chaque grand intervalle ou région du Bassin) pour établir des calages et des corrélations robustes et fiables à travers le bassin.

Les géoscientifiques (des disciplines tant fondamentales qu'appliquées) ne peuvent travailler sans une vision en 3D juste, précise et à la résolution adaptée aux problèmes à résoudre. S'il reste beaucoup à faire pour corriger/affiner l'architecture sédimentaire et comprendre les déformations verticales, les transferts verticaux et latéraux associés sous forme solide ou dissoute et les circulations de fluides dans le Bassin, un point majeur concerne le changement de dimension entre les observations géologiques (lithologie, structures sédimentaires, fractures...) et mesures pétrophysiques in situ 1D dans les coupes ou les forages et l'extrapolation sur des profils en 2D (lignes sismiques interprétées), puis dans un cube et des mailles 3D. Le modèle géométrique statique du Bassin actuellement disponible, refait récemment et dans lequel des données géologiques et pétrophysiques ont été injectées, constitue déjà un progrès, mais il reste à un degré de résolution insuffisant par rapport aux questions qui vont se poser à l'avenir, voire qui se posent déjà.

Actuellement, les données nécessaires pour établir des modèles plus précis ne sont pas disponibles partout avec la même résolution et doivent être collectées dans divers secteurs clefs sur le terrain ou en carottes et ailleurs en s'appuyant sur la littérature ou la BSS. Se pose alors également la question récurrente du saut d'échelle. Divers spécialistes de la modélisation géologique 3D et des géostatistiques ont travaillé sur ces questions à l'occasion de projets ciblés dans le Bassin, notamment au BRGM, mais des progrès sont nécessaires et cette thématique n'a pas été traitée par la communauté scientifique sur le fond ni sur la durée. Il faudrait donc l'aborder de manière systématique sur la totalité du Bassin et de la pile sédimentaire, adopter une stratégie d'acquisition en intégrant dès le départ l'état des lieux des données existantes et les nécessités imposées par la démarche de modélisation géologique 3D.

Les méthodes d'analyse de bassin doivent être robustes et fiables et utiliser des outils calibrés. Pour tendre vers ces modèles 3D, la méthode d'analyse de bassin fondée sur les données de subsurface, la sismique et les diagraphies dans les puits d'exploration essentiellement, a été appliquée depuis environ 20 ans dans le Bassin parisien. Or il s'avère que ces données diagraphiques n'ont pas été systématiquement calibrées par des données géologiques, minéralogiques, ni géochimiques. L'étude récente du forage profond du Graben de Rennes (Ghirardi, 2016) a montré que le porteur du signal diagraphique (en l'occurrence le Gamma-ray) n'est pas forcément celui traditionnellement admis. Ceci amène nécessairement à se poser des questions sur la fiabilité de la méthode d'analyse des bassins et implique de vérifier systématiquement les porteurs des signaux diagraphiques, afin de mieux interpréter et corréler ensuite ces signaux. Il faudrait donc un programme dédié à ce problème de calibration et entreprendre les mesures nécessaires dans les carottes sur une série de puits de référence bien répartis dans le Bassin et qui traversent toutes les couches de la pile sédimentaire. La robustesse des corrélations le long des transects et la fiabilité des bases de données associées et des modèles géologiques 3D qui en découleront sont à ce prix. Accompagner ces mesures minéralogiques et géochimiques par celles de paramètres pétrophysiques ou géophysiques serait un complément idéal pour améliorer les traitements et interprétations des lignes sismiques disponibles, quelle que soit leur résolution, et pour progresser dans la réalisation des modèles 3D mentionnés plus haut.

Le régolithe est mal (imparfaitement) connu. Tous les géoscientifiques intervenant dans le domaine appliqué se plaignent du manque d'informations, et notamment de cartes numériques dédiées et de modèles géologique 3D sur l'intervalle 0-100 à 200 m, c'est le problème majeur à l'issue du programme de cartographie géologique de la France à 1/50 000. Ces informations sur le régolithe sont cruciales pour les géomorphologues, les pédologues et les praticiens de l'hydrogéologie, de l'agronomie, de l'environnement, de l'aménagement du territoire, du génie civile, des aléas et risques, etc. Si la cartographie des altérites est relativement correcte dans le Bassin parisien, celle des alluvions, lœss, formations de versant, colluvions etc. demande un effort particulier. Les nombreuses données de l'INRAP, de même que celles du CEREMA ou des bureaux d'étude, pourront être mises à profit, dans les zones urbaines et le long des grands linéaires (travaux d'infrastructures). La méthode mise au point en Région Centre pour exploiter les données aéroportées de spectrométrie U-K-Th et produire des cartes prédictives de lithologie (spectrofaciès) pourra également être appliquée au Bassin pour peu que les données soient acquises, mais avec une calibration plus facile, du fait du grand nombre de données de forages à faible profondeur.

Si l'approche naturaliste et la cartographie géologique sont encore la base des connaissances géologiques et doivent être enseignées, avant que plus personne ne sache de quoi il s'agit, de nombreux spécialistes partis à la retraite n'ayant pas été remplacés, et certaines compétences étant devenues rares (le RGF est aussi un programme fédérateur pour former des jeunes et transmettre les connaissances aux collègues et au grand public, c'est le moment où jamais pour le Bassin parisien aussi), <u>la quantification</u> i) des propriétés des roches et de leurs composantes minérales, chimiques, organiques et paléobiologiques, ii) des processus et iii) des transferts, à toutes les échelles de temps et d'espace, <u>n'en est pas moins indispensable et devra être mise en œuvre dans tous les volets concernés.</u>





Opportunités d'accompagner de grands projets, données de qualité disponibles/programmées, à valoriser

Les données à valoriser sont nombreuses, de plusieurs types, tant géologiques que géophysiques et les projets ou programmes également, à tel point que tout ne peut être cité de manière exhaustive ici.

4000 km de lignes sismiques retraitées en profondeur en 2012, à interpréter et injecter dans un modèle 3D, *via* la mise en cohérence avec plus de 700 forages le long des lignes + Autres lignes sismiques disponibles, à retraiter (Figure 3)

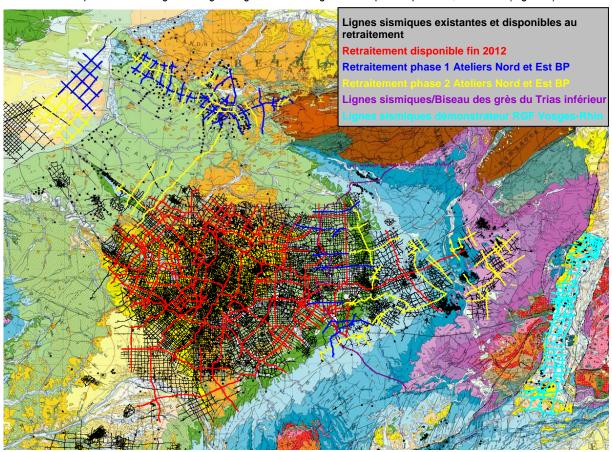


Figure 3 : Position des lignes sismiques existantes et disponibles au retraitement dans le Bassin (la partie occidentale, avec des profils en Manche manque) sur la carte géologique à 1/1 000 000 (Chantraine et al, 2003)

Données gravimétriques, aéromagnétiques et spectrométrie gamma U-K-Th : cf. http://www.brgm.fr/activites/geologie/acceder-données-sur-leves-aeroportes-france

Forages profonds français et données géophysiques associées à ces programmes (GPF, GeoFrance 3D, ANDRA, projet Cigeo et futurs forages possibles dans les calcaires du Barrois, pour étudier le karst, cf. communication de P. Landrein à la RST. Craie 700)

Forages profonds géothermiques et pétroliers anciens et nouveaux (certains seront effectués dans les années à venir, dès 2018 à Montmirail) ou à demander/programmer durant le chantier RGF Bassin parisien (ICDP le long du Bray au cœur du Bassin ou ODP ou autre en Manche, contacts en cours)

Forages carottés et affleurements du Canal Seinord-Europe, Données INRAP, données de forages BRGM et autres révisées et à réviser + Lexiques lithostratigraphiques du CFS et du BRGM

Cartes géologiques à 1/50 000 « brutes » vectorisées, + harmonisées par départements ou régions, cartes géologiques à 1/250 000 vecteur Nord-Pas de Calais, cartes Avesnois à 1/50 000 numériques multicouches, démonstrateur Rhin-Vosges, une dizaine de modèles 3D à plusieurs échelles

Bibliographie: une cinquantaine de thèses et monographies post 1980 portant sur le Bassin parisien + Grande coupe géologique Est-Ouest et Ouvrage du Cinquantenaire de l'AGBP (2014) + 2 coupes géologiques inédites en travers du Bassin + ouvrages antérieurs y. c. XIXème, + ouvrages sur les stratotypes du Bassin (Lutétien, Hettangien, Stampien...)

Bases de données paléontologiques et Patrimoine géologique (via l'inventaire national de la CRPG et la collaboration avec le MNHN et les Universités...)





Projets récents sur partie immergée du Bassin anglo-parisien (Baie de Seine, Pays de Caux, Bassin de Dieppe-Hampshire, Pas de Calais): nouvelles données sismiques ultra haute résolution, bathymétrie, prélèvements de substratum et sédiments meubles, données du Tunnel sous la Manche (Geosynth, Thèses Baie de Seine et Bassin Dieppe-Hampshire, MERCAUX, GEONORMER, TREMOR).

Projets de recherche du BRGM des années 1990 à 2000 menés en grande partie sur ses fonds propres, dont GéoFrance 3D, Reliefs, CANEV, Paléosurface éocène-PETM, PaléoScene, Logiso, BDLisa, etc. en partenariat avec les Universités, le CNRS, l'IRSNB, le MNHN, MinesParisTech, etc., + Thèses et publications associées.

Projets de recherche du BRGM et de l'ADEME sur la géothermie des réservoirs du Bassin parisien (CLASTIQ 1 et 2 : réservoirs clastiques du Trias ; DOGGER et LUSITANIEN : réservoirs carbonatés du Jurassique).

Divers projets de recherche avec l'ANDRA, dans le cadre de partenariats BRGM-ANDRA (Sedimor par exemple), Mines-ANDRA, CNRS et Universités-ANDRA (FORPRO) en lien avec le laboratoire souterrain et les sites d'enfouissement de déchets radioactifs. Un programme de recherche très récent dérivé de ces précédents projets avec l'ANDRA était centré autour de la reconstitution de l'évolution du Bassin parisien. Il s'agit du programme TAPSS 2000 (Transferts Actuels et Passés dans un Système Sédimentaire aquifère-aquitard : un forage de 2000 m dans le Mésozoïque du bassin de Paris). Porté par M. Pagel dans les années 2000, il a regroupé 20 laboratoires/organismes et des disciplines très variées. La production scientifique dans ce programme a été importante : une dizaine de thèses et presque une cinquantaine d'articles publiés dans des revues internationales, et déjà fort cités. Le Bassin et les études du forage ont constitué l'intégralité du volume 43 de la revue Marine and Petroleum Geology, très apprécié par la communauté travaillant sur les bassins, et les éditeurs ont redemandé de telles études multi-disciplinaires. Nonobstant les applications directes de ces travaux en géologie des réservoirs, géophysique et pétrophysique, il s'agit donc d'un très beau succès scientifique, qui peut servir d'exemple pour un chantier RGF comme celui du Bassin parisien.

Données issues des projets CNRS-INSU, notamment le programme interdisciplinaire de l'INSU ECLIPSE II dans les années 2000 (http://www.insu.cnrs.fr/node/1533), qui avaient pour objectifs la reconstitution des environnements du passé, de l'histoire des populations et la compréhension du système climatique à toute échelle de temps. Des projets fédérateurs comprenant acquisition de données de terrain et modélisation ont ainsi généré de grandes avancées et découvertes, par exemple dans le cadre de l'étude de la terre boule de neige, de la crise messinienne, de l'origine et l'environnement de l'homme en Afrique, etc. Ils ont permis des avancées dans le Bassin parisien également, notamment en ce qui concerne l'environnement et le climat du Crétacé, le rôle des fluctuations climatiques dans la mise en place et le maintien de la structure des populations et des communautés, les changements climatiques, biologiques et culturels en Europe au cours du dernier cycle climatique.

Projets de recherche en stratigraphie à haute résolution intégrée dans le Mésozoïque du Bassin parisien et ses voisins actuellement financés par les Danish Foundation for Independent Research, Carlsbergfondet et l'ICDP-NERC (plusieurs thèses en cours notamment).

Projets soumis à l'ANR en 2015-2016 ou en cours de maturation (Projet DELAM + 2 projets INSU associés sur les bassins permiens français, projets hydrogéologiques et géothermiques mentionnés au point H et accompagnés de projets AESN)

Observatoire national de la zone non saturée en Beauce (pilotage OSUC)

Observatoire ORAGE créé en 2014, réseau de science collaborative, (http://orage.georessources.univ-lorraine.fr) mettant à disposition de la communauté ses données bibliographiques régionales sur son site et ses contributions propres également via la BSS.

Travaux géologiques et géotechniques (carottes et affleurements) liés au Grand Paris, aux contournements de grandes villes et aux grands linéaires récents, en cours ou à venir (Autoroutes, TGV, mises à 4 voies...)

Bases de données du BRGM : hydrogéologiques, mouvements de terrain, cavités souterraines, karsts, carrières et matériaux, sismique, BSS, etc.

6. Communauté scientifique mobilisée

A la date du 31 décembre 2016, environ 200 personnes sont mobilisées pour travailler sur le chantier RGF Bassin parisien (cf. liste dans le tableau Excel joint). Elles ont déjà travaillé ou travaillent actuellement dans le Bassin; la plupart sont des expert(e)s reconnu(s)s régionalement à internationalement pour les travaux de recherche fondamentale ou appliquée qu'elles y ont mené/mènent. Cette équipe comporte des spécialistes couvrant quasiment tous les champs des géosciences (cf. tableau Excel joint), nécessaires pour répondre aux questions et enjeux listés dans la présente lettre : cartographie (terrain et numérique), sédimentologie, pétrologie sédimentaire, géologie structurale, tectonique, géodynamique, géochimie, isotopie, minéralogie, géochronologie, paléomagnétisme, géologie de la matière organique, pétrographie et géochimie organiques, paléontologie (dont paléobotanique), micropaléontologie (dont palynologie), bio-, chémo-, magnéto-, téphro- et cyclo- stratigraphies, analyse des bassins, géologie et géophysique pétrolières, géomorphologie (notamment quantitative), pédologie, altérologie, géoarchéologie, télédétection, hydrogéologie, géothermie, géotechnique, génie civil, modélisation géologique 3D, pétrophysique, modélisation et simulation numériques (dans





plusieurs domaines incluant les paléoclimats) et développement informatique des outils de modélisation, des SIG, bases de données et du RGF, géophysique (méthodes sismiques, électriques, gravimétriques, magnétiques, RMP, ...), géophysique aéoroportée et héliportée (magnétisme, électromagnétisme, spectrométrie Gamma U-K-Th), traitement multiparamètres, inversion 3D. L'équipe comporte aussi un atelier de forages (collaboration BRGM-INSU), des spécialistes du patrimoine géologique (du MNHN, des Universités et du BRGM), des ressources minérales, des risques naturels et de l'environnement. Il s'agit de chercheurs, d'enseignants-chercheurs, d'ingénieurs, d'observateurs, d'expérimentateurs, de théoriciens et de praticiens, qui travaillent pour la plupart dans les laboratoires, instituts et bureaux du Bassin parisien, mais pas uniquement, quelques spécialistes étant basés à l'étranger.

Les personnes mobilisées pour ce chantier RGF appartiennent aux Universités de Lille 1, Caen-Normandie, Paris I, Paris VI, Orsay-Paris Sud, Orléans, Bourgogne, Lorraine, Reims-Champagne-Ardennes, Le Havre, Le Mans, Lyon, Bordeaux-Montaigne, Rennes 1, ainsi qu'aux CNRS, Mines Paris-Tech, ENS, INRAP, CEA (LSCE), MNHN, IRSN, ANDRA, ERADATA, plusieurs directions (notamment régionales) du BRGM, CEREMA et IFFSTAR. Les collègues (Français ou non) basés à l'étranger viennent des Universités de Mons, Liège, Namur et de l'IRSNB en Belgique, de l'Académie des Sciences de Russie, des Universités de Copenhague (Danemark), Brême (Allemagne), du Cap (Afrique du Sud) et de Mahasarakham (Thaïlande), et de Heavy Minerals Research (Royaume Uni). Les services géologiques des pays voisins ne sont pas cités ici, mais sont connectés à plusieurs projets en cours ou à mener dans le Bassin parisien, via EuroGeosurveys; les compagnies industrielles privées et les grands acteurs publics œuvrant dans ou concernés par le domaine des géosciences ne sont pas citées là non plus, mais il y a déjà des projets en cours dans le Bassin les incluant avec des collègues mobilisés sur ce chantier et une réflexion est/sera menée pour les associer au chantier, via un ou des partenariats, tout comme cela a été fait dans le cadre du Chantier RGF Pyrénées.

Pluridisciplinaire et fédérateur, le chantier RGF Bassin parisien intéresse donc une communauté scientifique large et équilibrée, travaillant sur des questions scientifiques fondamentales et répondant aux enjeux sociétaux majeurs. Ce bassin, qui a vu la naissance de la cartographie et de la stratigraphie dès la fin du XVIIIème siècle, fut le fer de lance des géosciences françaises pendant longtemps. Il a encore beaucoup à offrir et une équipe mobilisée pour atteindre le niveau de connaissances et la vision intégrée désormais atteints par ses voisins (par exemple aux Pays Bas, en Belgique, au Royaume Uni, et cf. Atlas de la mer du Nord). En faire un chantier RGF permettrait *in fine* de relever ce défi scientifique et technologique, 1) au service des plus de 20 millions d'habitants qui y vivent, 2) en collaboration/partenariat avec les grands acteurs y officiant, 3) avec des moyens financiers adaptés à l'ambition d'un Etat moderne et responsable qui réfléchit au long terme et sait la nécessité de disposer des connaissances appropriées les plus justes et précises, pour construire les meilleures infrastructures publiques et mieux anticiper face aux enjeux colossaux du pays, particulièrement en termes de ressources naturelles, d'environnement et de changement climatique.





7. Annexes





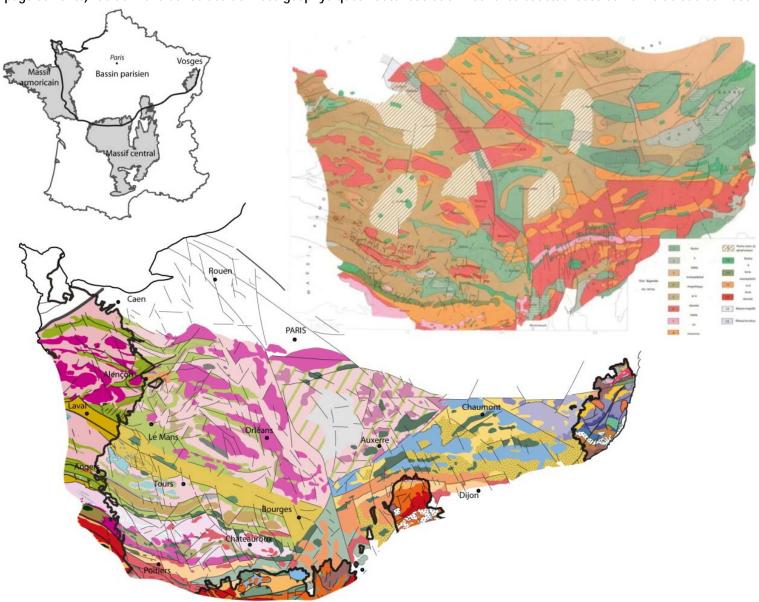
Annexe 1 : Carte du relief de la France métropolitaine (source : http://www.cartesfrance.fr/)





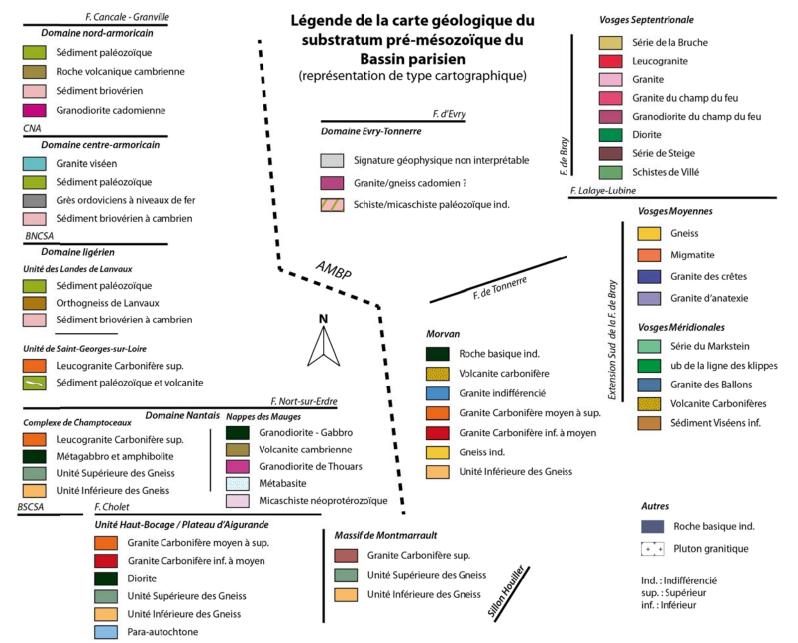


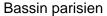
Annexe 2 : Comparaison entre la cartographie géologique du substratum du Bassin parisien de Debeglia (1980) en haut à droite et de Baptiste (2016) en bas (légende page suivante). Ce dernier a utilisé des données géophysiques haute résolution nouvelles et actualisées sur la moitié sud du Bassin parisien.















Annexe 3:

- a) Echelle des temps géologiques du Cénozoïque incluant les principales données stratigraphiques et évènementielles utiles en stratigraphie, réalisée avec l'outil Time Scale Creator d'après la dernière *Geologic Time Scale* de Gradstein et al. (2012), modifiée en incluant les étages régionaux français et belges, d'après un document de travail inedit de Y. Callec (2006, BRGM), Quesnel & Gély (2014). Plusieurs évènements comme le PETM ou l'EECO sont depuis peu reconnus dans le Bassin parisien, avec des enregistrements exceptionnels, d'autres sont recherchés.
- b) Hauts et bas climatiques du Jurassique d'après Dera et al., 2011) : certains évènements sont mieux documentés que d'autres dans le monde en général et dans le Bassin parisien en particulier.
- c) Contrôle orbital des flux de carbone par le cycle de l'excentricité à 9 Ma dans le Jurassique et le Crétacé inférieur d'après Martinez et Dera (2015) : le Bassin parisien n'a offert encore que peu de sites pour mener ces études, en comparaison des bassins européens voisins.
- d) Courbe isotopique du carbone de référence pour le Crétacé supérieur de Jarvis et al (2006). Au contraire des Bassins anglais ou allemand, le Bassin parisien n'est pas encore documenté de ce point de vue sur toute la série de l'Albien au Campanien. Les recherches ont commencé pour combler ce retard.





Geomagnetic Polarity ß Modified after TimeScale Creator 2012 chart Mesozoic Cenozoic Era Cretaceous Paleogene Neogene Period Chronostratigraphy Late Miocene Paleocene Eccene Oligocene Epoch Cretaceous Age / Maastrichtian Stage **GSSPs** Ponti Astarade Valésien Tongrien Regional Stage Dano-montien -lévien Savignéen Anversien Redonien of France Ludien Cuisien Vindobonier and Belgium Lattorfier Helvétien Sequences (SEPM Global or Tethyan; Haq and Schutter, 2008) Short-Term Sea-level Synthesis (meters relative to present) Cenozoic-Campanian Marine Oxygen-18 Composite (per-mil PDB) and Climate Miocene-Paleocene Oxy-18 events Cenozoic-Mesozoic Carbon-13 Composite (per-mil PDB) 0 . 0 Global Impacts (>50 km crater) and major European (5-50 km) Impacts a and s Provinces Super LIP Events Major LIP Events Other LIPs





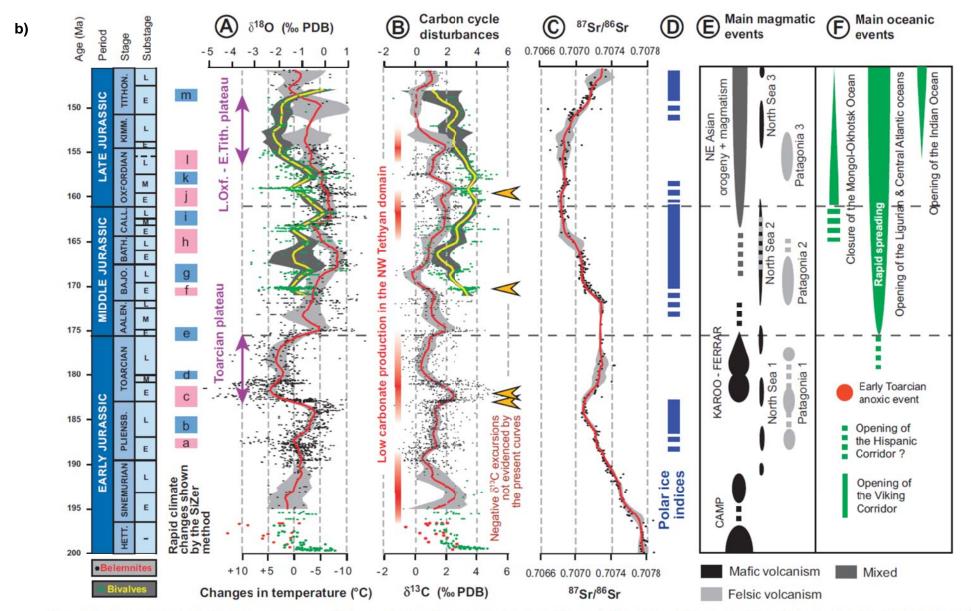
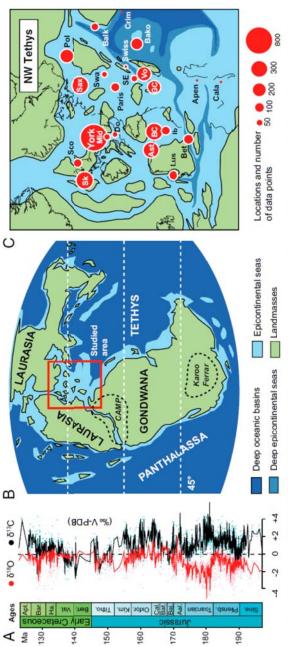


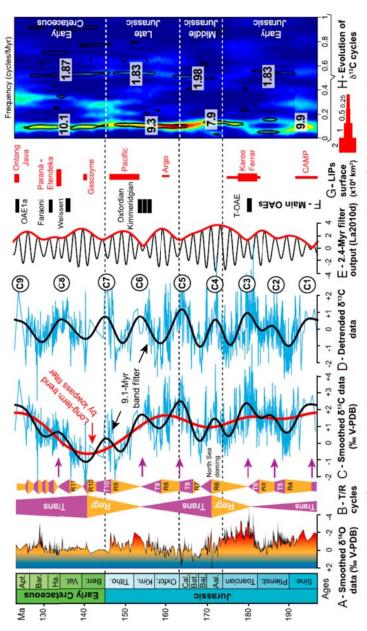
Figure 2. Comparison between oxygen, carbon, and strontium isotope records and Jurassic paleoenvironmental events. *7Sr/*6Sr data and polar ice records are from Jones et al. (1994) and Price (1999). (For references concerning paleoenvironmental, oceanic, and magmatic events, see the Data Repository [see footnote 1]). Width of features representing volcanic events is roughly proportional to volume of erupted volcanic rocks. Abbreviations as in Figure 1.







Commission of the Geological Map of the World (57). The smoothed isotopic curves are LOWESS regressions with respective coefficients of 0.0016313 and 0.0016667 for $\delta^{18}O$ and $\delta^{13}C$ data. Aal, Aalenian; Apen, Apennines, Apt, Aptian; Ast, Asturias; Baj, Bajocian; Bako, Bakony and Gerecse Mountains; Bar, Barremian; Bat, Bathonian; BC, Basque–Cantabrian Basin; Berr, Berriasian; Bet, Betic and Subbetic basins; Cal, Callovian; Cala, Calabria; Crim, Crimea; Do, Dorset, GC, Grands Causses Basin; Ha, Hauterivian; Ib, Iberian range; Kim, Kimmeridgian; Lus, Lusitanian Basin; Midland Platform; Oxfor, Oxfordian; Paris: east and northeast of the Paris Basin; Pliensbachian; Pol, Polish Jura Chain; Sax, Lower Saxony Basin; Sco, Northeastern Scotland; SE, Sud-Est Basin; Sinemurian; Sk, Isle of Skye; Swa, Swabian Basin; Swiss, Swiss Jura Chain; Titho, Tithonian; Val, Valanginian; Vo, Vocontian Basin; and York, Yorkshire. Elsevier and courtesy of Ron Blakey (Colorado Plateau Geosystems). (C) Image courtesy of the smoothed isotopic curves are LOWESS regressions with respective coefficients of 0.0016313 and δ^{18} O data (A) measured on NW Tethyan belemnites represented in their global (B) and regional (C) paleogeographic with permission 6 S13C and (B) Modified from ref. Compilation



temperature and salinity. (B) First-order (Left) and second-order (Right) cycles of eustatic transgression/regression in the Mediterranean domain (41). (C) Beleminte 5.¹³C time series with Taner low-pass filters showing the general trend (cutoff frequency: 0.04883 cycles per million years, roll-off rate: 10³) and the 9.1-My cycle (cutoff frequency: 0.1587 cycles per million years, roll-off rate: 10³). (D) Detrended belemmite 5.¹³C times series with low-pass filter of the 9.1-My cycles numbered from C1 to C9. (E) Amplitude modulation of 2.4-My eccentricity cycles showing the ~9-My envelope [calculated from La2010d (4)]. (F) Main oceanic anoxic events (56). (G) Durations and surface areas of large igneous provinces (56). (H) Results from time-frequency Fourier transforms performed with 20-My-width windows showing temporal changes in the expression of the 9.1-My period. The black contours indicate the intervals exceeding the 95% confidence level in the evolutive harmonic F-test. Six positive peaks of 5.¹³C of nine correspond to maximum flooding events indicated by purple arrows. See Fig. 1 for stratigraphic abbreviations. and astronomical solutions. (A) $\delta^{18}O$ time series (this study) reflecting seawater nnite 8¹³C signals with other paleoenvironmental records Comparison of bele Fig. 3.





d)

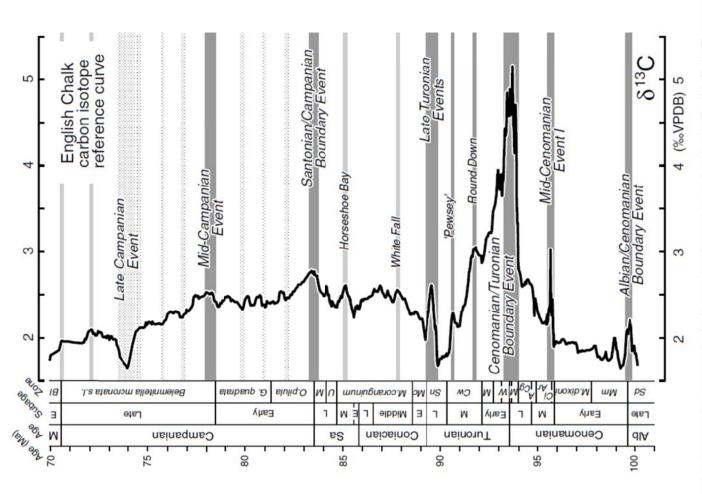
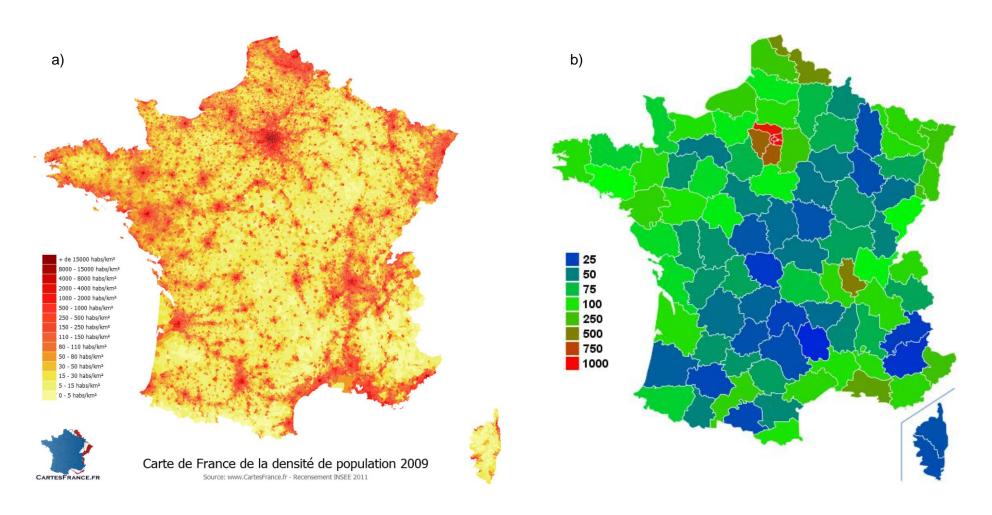


Figure 16. A carbon-isotope reference curve for the Cenomanian–Campanian ages based on the English Chalk. The curve is a 5-point moving average based on a stacked composite for the Cenomanian–Santonian (Fig. 12), with additional Campanian–Maastrichtian isotope data from the Trunch borehole (Jenkyns, Gale & Corfield, 1994). The curve has been calibrated using the age assignments of Ogg, Agterberg & Gradstein (2004). Abbreviations as in Figure 12, plus: M – Maastrichtian; Bl – Belemnella lanceolata.





Annexe 4 : Densité de la population française (métropole) par a) communes et b) départements (source : INSEE)



Laboratoires, Organismes	Noms	Spécialités/intervalles stratigraphiques
	Olivier Averbuch	géologie structurale, analyse 3D de la déformation, socle varisque NW européen, héritage crustal et inversion tectonique, magnétisme des roches, analyse de bassin
LOG U. Lille 1	Francis Meilliez	géologie structurale, structure du socle varisque sous le Bassin parisien dans sa partie nord et est, structure du bassin houiller et déformations liées à l'exploitattion des mines
	Virginie Gaullier	géologie structurale, analyse de bassin, acquisition, traitement et interprétation sismique, études intégrées terre-mer
M2C (UMR 6143) U. Caen-	Olivier Dugué	sédimentologie de facès, pétrographie sédimentaire, minéralogie, stratigraphie, analyse de bassin, paléogéographies, Manche et bordure armoricaine
Normandie	Bernadette Tessier	sédimentologie, sismique et stratigraphie très haute résolution des corps sédimentaires de plate-forme, dynamique et faciès tidaux, évolution des prismes littoraux
INDAD	Sylvie Coutard	géomorphologie et géologie des formations superficielles, cartographie, géoarchéologie, évolution des paysages, sources des matériels lithiques (silex etc.)
INRAP	Milena Frouin	géomorphologie et géologie des formations superficielles, cartographie, géoarchéologie, bases de données
CNRS, UMR 8591, Meudon	Pierre Antoine	géologie des formations superficielles, géoarchéologie, cartographie, stratigraphie, environnements sédimentaires continentaux quaternaires (loess, terrasses alluviales, tufs calcaires)
,	Sophie Violette	hydrogéologie, transfert de fluides dans les bassins sédimentaires à différentes échelles de temps et d'espace et sous différentes conditions climatiques, modélisation
UMR 8538, ENS, Paris	Jacques Dentzer	hydrogéologie – géothermicien, modélisation des écoulements et transferts au sein des milieux poreux et fracturés
	Eric Buffetaut	paléontologie des vertébrés, Crocodiles, Dinosaures, Oiseaux, Ptérosaures, grandes extinctions en masse, Mésozoïque et Paléogène, stratigraphie, paléogéographie
MPMC, UMR 7590, UPMC, Paris	Thierry Allard	minéralogie, cristallochimie et effets d'irradiations dans les argiles, datations et propriétés des argiles, traçages de migrations anciennes de radioéléments dans la géosphère
MNHN, UMR 7194, Paris	Jean-Jacques Bahain	géochronologie (ESR) et chronostratigraphie du Pléistocène, datation de gisements géologiques et archéologiques
WINHN, UWR 7194, Paris	Pierre Voinchet	datation ESR sur quartz des formations sédimentaires, chronologie des premiers peuplements, paléoclimats et réseaux alluviaux quaternaires
	Dario De Franceschi	paléobotanique, bois, fleurs, fruits, graines et feuilles fossiles, ambre, pollen et spores, Cénozoïque, paléoenvironnements continentaux, paléoclimats, PETM, patrimoine paléontologique
ANUM LIMP 7007 (CDOC) Porio	Anna Chiara Bartolini	micropaléontologie, géochimie, biominéralisation, paléoenvironnements, crises biologiques
MNHN, UMR 7207 (CR2C), Paris	Didier Merle	paléontologie, mollusques, gastéropodes, systématique, Cénozoïque, patrimoine géologique
	Sylvain Charbonnier	paléontologie, crustacés, arthropodes, Jurassique, "Lagerstätte", patrimoine géologique
	Isabelle Rouget	paléontologie, paleobiologie, ammonites phylogenie, stratigraphie
R2C (UMR 7207), UPMC, Paris	Silvia Gardin	micropaléontologie, nannofossiles calcaires, Mésozoïque, paléoenvironnements, paléoclimats, crises biotiques, biostratigraphie, stratigraphie
RZC (UIVIR 7207), UPIVIC, Paris	Delphine Desmares	micropaléontologie, foraminifères, Crétacé, paléoécologie, crises biotiques, sédimentologie, biostratigraphie, stratigraphie
	Anaïs Bourra	paléobotanique, bois fossiles, Cénozoïque, paléoenvironnements continentaux, paléoclimats,
	Laurence Le Callonnec	géochimie des roches sédimentaires et des biominéralisations, chémostratigraphie, Crétacé supérieur et Paléogène, patrimoine géologique
	Loïc Ségalen	géochimie, sédimentologie et paléontologie, paléoclimats et paléoenvironnements néogènes en domaine continental
	Bruno Galbrun	magnétostratigraphie et cyclostratigraphie, calibration astronomique des temps géologiques, Mésozoïque et Cénozoïque, crises géologiques
	Slah Boulila	cyclostratigraphie, calibration astronomique des temps géologiques, cycles astro-climatiques et eustatiques, Mésozoïque et Cénozoïque
	François Baudin	caractérisation, répartition et évolution (préservation) de la matière organique dans les bassins sédimentaires, forçages climatiques, évènements océaniques anoxiques
	Johann Schnyder	reconstitution des paléoenvironnements par l'étude des traceurs organiques, paléoclimats, Mésozoïque, Cénozoïque
STEP (UMR7193) UPMC, Paris	(Sylvain Garel)	sédimentologie, étude "multiproxy" de la matière organique (palynofaciès, Pyrolyse Rock-Eval, biomarqueurs, isotopie moléculaire), paléoenvironnements, paléoclimats, PETM
OTET (OMINY 199) OT MO, 1 ans	Maurice Renard	géochimie sédimentaire (éléments traces et isotopes stables), paléocéanographie, paléoclimats, Cénozoïque
	Janine Riveline	micropaléontologie, biostratigraphie, stratigraphie, paléoenvironnements continentaux, oogones de characeae, Tertiaire
	Laurent Emmanuel	géochimie des roches sédimentaire et biominéralisations, paléoclimats, paléocéanographie
	Olivier Lacombe	tectonique : géométrie, cinématique et mécanique de la déformation naturelle, terrain et données géophysiques, intégration géodynamique
	Françoise Bergerat	tectonique cassante dans les bassins et plates-formes, pétrophysique, mécanique, paléo-contraintes, sismotectonique (risques sismiques, paléosismicité)
	Christian Gorini	analyse de bassin, acquisition, traitement et interprétation sismique, stratigraphie séquentielle, études intégrées terre-mer, source to sink
	Sylvie Leroy	géophysique, tectonique et magmatisme, géodynamique, marges continentales
JMR 8589 (LAMOP) U. Paris 1 Panthéon-Sorbonne	Jean-Pierre Gély	sédimentologie, pétrographie sédimentaire, analyse de bassin, stratigraphie séquentielle, patrimoine géologique
	Benjamin Brigaud	sédimentologie, pétrographie sédimentaire, carbonates, diagenèse, stratigraphie séquentielle, paléoclimats
	Simon Andrieu	sédimentologie, pétrographie sédimentaire, carbonates, diagenèse, stratigraphie séquentielle, modélisation de bassin
	Jocelyn Barbarand	thermocrhonologie, minéralogie, pétrographie sédimentaire, analyse des bassins, ressources minérales
	Sébastien Nomade	géochronologie 40Ar/39Ar, géochimie, volcanologie, paléoclimats
	Hervé Guillou	géochronologie 40K-40Ar et 40Ar/39Ar, calibration des échelles de temps, chronologie des évènements éruptifs

	Yves Coquet	sciences du sol, cartographie pédologique, hydrodynamique des sols, observation et modélisation du fonctionnement de la zone critique
OSUC, ISTO, U. Orléans	Jérémy Jacob	matière organique, biomarqueurs moléculaires, géochimie isotopique, impacts des changements climatiques et activités humaines sur les écosystèmes continentaux anciens et Anthropocène
	Claude Le Milbeau	matière organique, biomarqueurs moléculaires, caractérisation et géochimie isotopique
	Annaëlle Simonneau	érosion des surfaces continentales, quantification et modélisation de l'érosion des sols, environnements continentaux holocènes
	Pierre-Yves Collin	sédimentologie, pétrographie sédimentaire, pétrophysique, carbonates, diagenèse, microbialites, stratigraphie, cyclostratigraphie
	Emmanuelle Vennin	pétrologie des carbonates, sédimentologie, paléoécologie, analyse de bassin, bioconstructions, microbialites
	Pierre Pellenard	sédimentologie, stratigraphie, chémo-, cyclo- et téphro- stratigraphies, paléoenvironnements, paléoclimats, argiles, bentonites, échelle stratigraphique, Permien et Mésozoïque
	Yves Géraud	géologie structurale, géophysique, pétrographie, pétrophysique, exploration géothermie haute enthalpie, structuration dans le BP, bassins permo-carbonifères, prospects gaz de houille
	Danièle Groshény	micropaléontologie, foraminifères, biostratigraphie, stratigraphie, Crétacé, paléoclimats, évènements océaniques anoxiques
	Cédric Carpentier	sédimentologie, pétrographie sédimentaire, carbonates, diagenèse, stratigraphie séquentielle, récifs coralliens, paléoclimats,
Géoressources, U. Lorraine	Bernard Lathuillière	paléontologie, micropaléontologie, stratigraphie, paléo(bio)géographie, carbonates, paléoécologie des récifs coralliens, paléoclimats, Trias et Jurassique
	Vincent Huault	palynologie, pollen, spores et dinoflagellés, Jurassique, paléoclimats et paléoenvironnements, paléogéographie
	Antoine Le Solleuz	analyse de bassin, géophysique (sismique, diagraphies), tectonique, pétrophysique, modélisation thermo-mécanique, bassins permo-carbonifères, prospects gaz de houille
		sédimentologie, stratigraphie séquentielle, corrélations stratigraphiques longues distance (marges passives-bassins d'avant-pays), Mésozoïque, évènements océaniques anoxiques
	Serge Ferry (retraité)	
	Romain Amiot	géochimie, application des isotopes stables de l'oxygène et du carbone aux paléoclimats terrestres du Mésozoïque et Paloécène, à l'écologie et la thermophysiologie des vertébrés anciens
U. I VON	Christophe Lécuyer	géochimie, isotopes stables des biominéralisations, paléoenvironnements, paléoclimats, modélisation numérique des cycles géochimiques et biogéochimiques
	Gilles Cuny	paléontologie des vertébrés, requins, Crétacé et Paléogène, PETM, paléoécologie, évolution, biostratigraphie, paléo(bio)géographie
	Jérémy Martin	paléontologie des vertébrés, crocodiliens, géochimie isotopique, paléoclimats, paléogéographie, paléoaltitudes, Crétacé et Paléogène
	Marc Philippe	paléobotanique, bois fossiles, Jurassique, paléoenvironnements continentaux, paléo(bio)géographie, paléoenvironnements, paléoclimats, stratigraphie
U. Reims - Champagne- Ardennes	Jean-Paul Deroin	géologie structurale, géomorphologie, télédétection, structuration permo-carbonifère du substratum du bassin, rejeux tectoniques post-varisques
IDCN	Stéphane Baize	géologie structurale, sédimentologie, géomorphologie, sismicité, caractérisation et cartographie de l'aléa sismique
IRSN	Jean-Michel Matray	transfert des fluides dans la colonne sédimentaire, géochimie fluide et minérale, modélisation des transferts
U. Le Mans	Paul Bessin	géomorphologie, sédimentologie, cartographie SIG, analyse des reliefs et des bassins
	Huaqing Wang	hydrogéologie, hydrodynamique, modélisation numérique, environnement
	Isabelle Cojan	sédimentologie, modélisation réseaux et dépôts fluviatiles, paléosols
	Jean-Louis Grimaud	géomorphologie, sédimentologie, cartographie numérique, expérimentation et moédlisation numérique de l'évolution des réseaux hydrographiques
nes Paris Tech, Fontainebleau		géologie structurale, géodynamique, géochimie isotopique
	Olivier Stab	modélisation de l'évolution des paysages, algorithmique géométrique et graphique, maillage
	Christine Franke	géophysique, paléomagnétisme, minéralogie, paléoclimats, magnétisme environnemental
	Corinne Loisy	sédimentologie, pétrograhie sédimentaire, carbonates, diagenèse, Cénozoïque
•	Sophie Leleu	sédimentologie, dépôts silicoclastiques, stratigraphie séquentielle, forçage tectonique/climat, Mésozoïque et Cénozoïque
	Sylvie Bourquin	sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, dépôts continentaux, forçages tectoniques & climatiques, Permien et Trias
	Didier Néraudeau	paléontologie, Crétacé, Néogène, oursins, ambre, études paléoenvironnementales intégrées en domaine côtier à marin
	France Polette	palynologie pollen et spores du Crétacé français
eosciences Rennes, U Rennes	Cécile Robin	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, forçages externes, source to sink
1	François Guillocheau	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, forçages externes, source to sink
	Gilles Ruffet	géochronologie (dont K/Ar et Ar/Ar sur oxydes de Mn dans profils d'altération)
	Pierrick Roperch	paléomagnétisme et magnétostratigraphie
assiances Pannes II Pannes	Guillaume Dupont-Nivet	paléomagnétisme et magnétostratigraphie, paléogéographie, paléoclimats, stratigraphie intégrée
ANDRA	Philippe Dubreuilh	géologie, sites ANDRA
	Alexandre Fournel	géologie et géophysique pétrolières
IFP, retraité	Patrick Renoux	géophysique appliquée à l'exploration dans les bassins sédimentaires
	Chantal Bourdillon	micropaléontologie, biostratigraphie, stratigraphie, paléoenvironnements, foraminifères, Paléozoïque à actuel
	Christian Dupuis	stratigraphie intégrée, sédimentologie, minéralogie, argiles, chémostratigraphie, caractérisation des profils d'altération
	Jean-Marc Baele	minéralogie, pétrographie, cathodoluminescence, microsonde électronique, sédimentologie, diagenèse, processus, altérations, ressources minérales
Institut Géologie Acad Sc	Alina I. lakovleva	micropaléontologie, palynologie, dinoflagellés, Paléogène, biostratigraphie, stratigraphie, paléoenvironnements, paléoclimats, PETM, Téthys et péritéthys, Mer du Nord, Europe du NW
	Emile Roche	palynologie, pollen et spores, paléoenvironnements, paléoclimats, stratigraphie, Tertiaire NW européen, PETM, EECO, EOT
	Jean-Jacques Chateauneuf	palynologie, pollen et spores, dinoflagellés, paléoenvironnements, paléoclimats, stratigraphie, Eocène moyen-Oligocène, Néogène, EOT

Dept of Geosciences and Natural Resource Management, U. Copenhagen, Danemark	Nicolas Thibault	micropaléontologie, nannofossiles calcaires, isotopes stables, chémostratigraphie, cyclostratigraphie, stratigraphie intégrée, paléoclimats, Crétacé supérieur, Lias, Trias supérieur NW européen, incluant le Bassin parisien
Marum, Palaeoceanography	Mathieu Martinez	sédimentologie, cyclostratigraphie, traitement du signal, analyse statistique, calibration astronomique des temps géologiques, paléoclimats, paléocéanographie, Crétacé (gamma ray, susceptibilité
Group, U. Bremen, Allemagne	Matrileu Martinez	magnétique, XRF)
IRSNB, Bruxelles, Belgique	Thierry Smith	paléontologie des vertébrés (mammifères), systématique, évolution, paléo(bio)géographie, Crétacé, Paléocène, Eocène, PETM
	Floréal Solé	paléontologie des vertébrés (mammifères), systématique, cladistique, paléo(bio)géographie, Paléocène sup, Eocène, PETM
	Eric de Bast	paléontologie des vertébrés (mammifères), systématique, cladistique, Paléocène
	Annelise Folie	paléontologie des vertébrés (herpétofaune), systématique, évolution, paléo(bio)géographie, Crétacé à Eocène
FUNDP, U. Namur, Belgique	Johan Yans	chémostratigraphie, faciès wealdiens, PETM, EECO, minéralogie, caractérisation et datation des paléoaltérations
Heavy Minerals Research, Angleterre	Andrew Morton	reconnaissance minéraux lourds (sources, diagenèse, altérations,), minéralogie, géochimie, source to sink
Palaeobiology Research Group, U. Cape Town, SA	Delpnine Angst (ex Lab. Geologie, U. Lyon)	paléontologie des vertébrés, géochimie, histologie, oiseaux, Crétacé supérieur et Paléogène
U. Mahasarakham, Thaïlande	Hayan Tong	paléontologie des vertébrés, tortues, Mésozoïque et Tertiaire
CNRS /INSU	Laurent Augustin	responsable du Centre de Carottage et Forage National
	Alain De Moya	Foreur au C2FN
	Luigi Ardito	forages carottés et à la mototarière (atelier forages du BRGM, collaboration avec centre de carottage du CNRS/INSU)
	Julien Baptiste	géologie du substratum sous le Bassin parisien par modélisation couplée géologie-géophysique (gravimétrie, magnétisme) et pétrophysique
	Julien Bernard	géologie du régolithe, risques naturels et matériaux
	Anne Bialkowski	sédimentologie, paléosols, paléoclimats, argiles, modélisation géologique 3D
	David Dessandier	ressources minérales, roches ornementales, caractérisation physico-chimique et mécanique des pierres en œuvre, bases de données
	Frédéric Lacquement	géologie structurale, substratum du Bassin parisien, interprétation sismique, géologie du régolithe, risques, matériaux
	Claire Luquet	bases de données géologiques (BSS), cartographie numérique, diagraphies
BRGM/DGR/GAT	Guillaume Martelet	géophysique au sol et aéroportée, gravimétrie, magnétisme, spectrométrie U-K-Th, modélisation géologie-géophysique
	José Perrin	géophysique aéoroportée et héliportée (magnétisme, électromagnétisme, spectrométrie Gamma U-K-Th)
	Florence Quesnel	cartographie, géologie du régolithe (altérites, sédiments continentaux), palynologie, chémostratigraphie, stratigraphie intégrée, paléoclimats, modélisation 3D
	Pierre-Alexandre Reninger	géophysique aéoroportée et héliportée (électromagnétisme transitoire), inversion 3D, modèles de résistivité
	Anne Raingeard	géophysique aéroportée, traitements mutItiparamètres, interprétation lithologique et structurale
	Caroline Ricordel-Prognon	paléomagnétisme, pétrographie des altérites, minéralogie, cartographie
	Olivier Rouzeau	télédétection, géomorphologie, cartographie numérique, géologie structurale, bases de données
	Hélène Tissoux	géologie des dépôts et réseaux alluviaux, géochronologie, datations ESR et OSL, cartographie, Quaternaire
	Anne-Gaëlle Bader	géologie structurale, modélisation géométrique 3D, géodynamique des marges continentales,
	Guillaume Badinier	sédimentologie, modélisation géométrique 3D, diagraphies, interprétation sismique,
	Hugues Bauer	sédimentologie, stratigraphie, paléosols, paléoclimatologie, analyse de bassin
	Laurent Beccaletto	analyse des bassins, interprétation sismique, géologie structurale, Permo-carbonifère sous le Bassin parisien (et en périphérie),
	Justine Briais	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, forçages externes, source to sink
	Delphine Bruyère	minéralogie, sédimentologie, carothèque,
	Laure Capar	géophysique (traitement et interprétation sismique), télédétection hyperspectrale et multispectrale
BRGM/DGR/GBS	Sandrine Grataloup	géologie, bases de données géologiques, modélisation géométrique 3D,
	Pierrick Graviou	géologie, patrimoine géologique et médiation scientifique, carothèque
	Benoit Issautier	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, pétrographie sédimentaire, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, modélisation 3D
	Eric Lasseur	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, forçages externes, source to sink
	Fabien Lenoir	analyse de bassin, sédimentologie de faciès, données de sub surface, diagraphies, sismique, stratigraphie séquentielle, forçages externes, source to sink
	Stéphane Marc	traitement sismique, data management des données de forage et de sismique pétrolières, France
	Fabien Paquet	géologie et géophysique marines, sédimentologie de faciès, acquisition, traitement et interprétation sismique, stratigraphie séquentielle, modélisation 3D, analyse de bassin
	François Prognon	géologie du régolithe, sédimentologie de faciès, argiles, cartographie géologique et des propriétés physiques du proche sous-sol,
	Isabelle Thinon	géologie et géophysique marines, géodynamique, acquisition, traitement et interprétation sismique, modélisation 3D, analyse de bassin

BRGM/DGR/GSO	Cécile Allanic	géologie structurale, modélisation géologique 3D
	Bernard Bourgine	modélisation géologique 3D, géostatistiques, développement informatique
	Séverine Caritg-Monnot	géologie structurale et du réservoir
	Gabriel Courrioux	géologie structurale, modélisation géologique 3D, développement informatique
	Sunseare Gabalda	géologie structurale, modélisation géologique 3D et pétrophysique
	Simon Lopez	modélisation géologique, hydrogéologie, géothermie, développement informatique
	Yann Vernhet	géologie, cartographie, harmonisation de cartes géologiques, bases de données géologiques, outils RGF, Briovérien à Quaternaire
	Hervé Berthier	cartographie numérique, base de données
BBCM/BCB/OEC	Frédéric Chêne	cartographie numérique, base de données, développement informatique
BRGM/DGR/OEG	Jean-Pierre Quinquis	cartographie numérique, base de données
	Damien Rambourg	cartographie numérique, base de données, développement informatique, développement des outils RGF
BRGM/DGR/REG	Virginie Hamm	géothermie dans le Bassin parisien
BRGIM/DGR/REG	Chrystel Dezayes	géothermie profonde dans le Bassin parisien
BRGM/DGR/MIN	Sébastien Colin	ressources minérales, matériaux, observatoire national
	Baptiste Meire	géologue régional (et risques) Normandie
	Pierre-Yann David	hydrogéologue régional Haute Normandie
	Alexandra Laurent	hydrogéologue régionale Basse Normandie
	Didier Pennequin	directeur de DAT Normandie, hydrogéologie
	Ysoline Thuon	géologue régionale (et risques) Champagne Ardennes
	Murielle Chabart	hydrogéologue régionale Champagne Ardennes
	Pierre Pannet	directeur de DAT Champagne-Ardennes, géomorphologie et géologie du régolithe allochtone
	Julie Le Goff	géologue régionale Lorraine
	Laurent Vaute	hydrogéologue régional Lorraine
	Dominique Midot	directeur de DAT Lorraine, risques, après mine, environnement
	Julie Louart	géologue régionale Nord-Pas de Calais - Picardie
	Marc Parmentier	hydrogéologue régional Nord-Pas de Calais - Picardie
	Jean-Rémi Mossmann	directeur de DAT Hauts de France, géochimie, minéralogie, environnement
BRGM/DAT	Catherine Greffier	géologue régionale Centre-Val de Loire, géochimie, minéralogie, ressources minérales
	Damien Salquèbre	hydrogéologue régional Centre-Val de Loire
	Eric Gomez	directeur de DAT Centre-Val de Loire, hydrogéologie, modélisation, environnement
	Alexandra Bel	hydrogéologue régionale lle de France
	Dominique Jauffret	géologue régional Bourgogne
	Clément Doney	hydrogéologue régional Bourgogne
	François Pinard	directeur de DAT Bourgogne, hydrogéologie
	Delphine Dugrillon	géologue régionale (et risques) Poitou-Charente
	Murielle Thinon-Larminach	hydrogéologue régionale Poitou-Charente
	Jean-Christophe Audru	directeur de DAT Pays de la Loire, géologie structurale, cartographie, risques
	Vivien Baudoin	géologue régional Pays de la Loire
	Cécile Le Guern-Marot	géochimie et géologie des sites et sols pollués
	Emmanuelle Rouxel	hydrogéologue régionale Pays de la Loire
	Pierre Conil	directeur de DAT Pays de la Loire, géochimie, environnement

	Delphine Allier	hydrogéologie, référentiel hydrogéologique de la France, BD Lisa
BRGM/D3E	Catherine Lerouge	géochimie, pétrographie, minéralogie, isotopes stables, interaction fluides-roches, processus, paléoclimats
	Julie Lions	hydrogéologie, fond hydrogéochimique, modélisation hydrogéologique et géochimique couplées
BRGM/LAB	Christine Fléhoc	géochimie des isotopes stables et des éléments traces, chémostratigraphie, paléoclimats
	Catherine Guerrot	géochronologie, géochimie isotopique
	Philippe Lach	géochronologie
	Philippe Négrel	géochimie, isotopes
	Jean-Michel Baltassat	géophysqiue, méthodes électriques et RMP
BRGM/DRP/RAI	Adnand Bitri	géophysique, méthodes sismiques
	Thomas Jacob	géophysique, microgravimétrie
	Olivier Cerdan	géomorphologie quantitative, risques, érosion des sols
	Séverine Bernardie	risques (sismique, mouvements gravitaires, effondrement cavités)
BRGM/DRP/RIG	Thomas Dewez	géomorphologie quantitative, risques, érosion des falaises côtières
	Gildas Noury	géotechnique, risques (karst, effondrement cavités)
	Rosalie Vandrome	mécanique des sols, mouvements de terrain, risques envasement
BRGM/DRP/R3C	Goneri Le Cozannet	risques côtiers et effets du changement climatique
BRGM/DRP/RSE	André Burnol	risques des stockages (CO ₂ et énergies) et exploitations du sous-sol, conflits d'usage
BRGIWI/DRF/R3E	Thomas Le Guénan	
BRGM/DRP/RSV	Jérôme Lambert	sismicité, base SisFrance
	Charles Kreziak	géotechnique, génie civil, risques dans le Bassin parisien, notamment le Grand Paris
	Marianne Chahine	
OFDEMA	Benoît Colin	
CEREMA	Vincent Vancraenenbroeck	
	Rémy Vincent	
	Cécile Maurel	
IFFSTAR	Philippe Cote	
	Donatienne Leparoux	géotechnique, génie civil, risques, géophysique appliquée