



HAL
open science

Quel avenir pour les moyens de sondage continentaux en France ?

Fabien Arnaud, Michel Calzas, Jérémy Jacob

► To cite this version:

Fabien Arnaud, Michel Calzas, Jérémy Jacob. Quel avenir pour les moyens de sondage continentaux en France? : Rapport établi à la demande de l'Institut National des Sciences de l'Univers et de l'Institut Écologie et Environnement du CNRS. [Rapport Technique] CNRS - INSU; CNRS - INEE. 2019. hal-03820433

HAL Id: hal-03820433

<https://hal.science/hal-03820433>

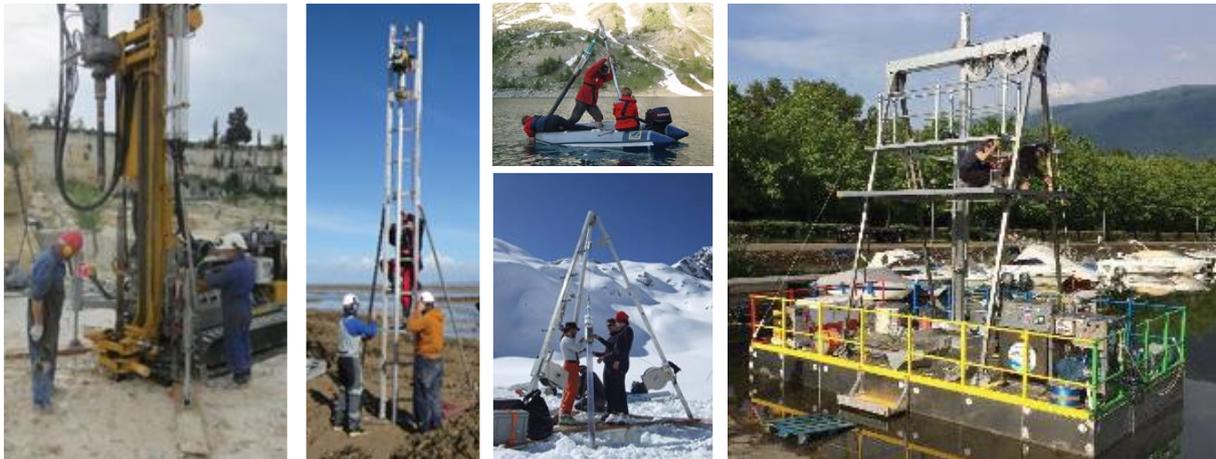
Submitted on 19 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Quel avenir pour les moyens de sondage continentaux en France ?

*Rapport établi à la demande de l'Institut National des Sciences de l'Univers
et de l'Institut Ecologie et Environnement du CNRS*



Rédacteurs

Fabien Arnaud, Directeur de recherche CNRS, directeur du laboratoire EDYTEM et coordinateur scientifique des workpackages CLIMCOR « continent » et (avec Xavier Crosta) « data »

Jérémy Jacob, Chargé de recherche CNRS au LSCE, Ex-coordonateur du RI GEOFF au sein de REGEF

Michel Calzas, Ingénieur de recherche CNRS, Directeur-adjoint de la division technique de l'INSU, coordinateur technique de CLIMCOR

Définitions

Il existe une grande confusion dans la langue française et au sein de la communauté scientifique en particulier, entre les termes carottage, forage et sondage. Traditionnellement on a parlé de forage pour désigner les opérations effectuées par rotation, par analogie avec l'anglais « drilling » et les distinguer de celles effectuées par fonçage (dites de « carottage »). Cependant, dans le monde professionnel les définitions sont toutes autres. On parle de **forage** pour désigner le fait de faire un trou, quelle qu'en soit la motivation et de **carottage** pour désigner le fait que l'on retire un échantillon respectant la succession stratigraphique de l'encaissant. Le terme de **sondage** désigne le fait de réaliser un forage avec une intention d'étude, que ce soit pour en étudier un échantillon, carotté ou non, ou pour étudier l'encaissant lui-même¹. C'est ce terme générique, mais défini par son intention d'étude que nous utiliserons pour désigner l'ensemble des opérations dont il est question dans le présent rapport. Nous pourrions également utiliser le terme de **carottage** pour désigner des opérations de sondage dont le seul but est la récupération d'échantillons respectant la continuité des terrains forés. Le terme « **atelier de forage** » désignera un ensemble opérationnel de ressources matérielles et humaines permettant de réaliser des forages. Le terme de **plateforme** désignera les engins-supports, terrestres ou naviguant, qui permettent d'amener les machines de sondage sur site. Il faut enfin distinguer les **machines** (sondeuse etc.) des **outils** qu'elles font fonctionner (carottiers, par exemple). **Un dispositif de sondage comprend donc au moins une plateforme, une machine et potentiellement plusieurs outils.**

Préambule

Le CNRS dispose depuis 2008 d'une plateforme mutualisée de sondages continentaux hébergée et gérée par la division technique de l'INSU. Cet atelier de forage a été initialement structuré autour d'une machine : une foreuse thermique. Il a été rapidement inclus dans un dispositif plus large appelé centre de carottage et de forage national (C2FN) au sein duquel il constituait la cellule « continent », aux côtés des cellules « glace » et « océan ». Ce consortium a obtenu un financement PIA, via le projet Equipex CLIMCOR² (4,7 M€ dont 1 M€ pour la partie Continental), en 2012, ce qui a permis de développer chacune des cellules. Pour la cellule continent, CLIMCOR a permis de diversifier les outils de la sondeuse thermique mais également d'acquérir et de développer de nouveaux outils de carottage en domaine lacustre. CLIMCOR a également permis l'émergence d'une action ambitieuse en faveur de la bancarisation des données de terrain avec la mise en production d'une application mobile (CoreBook³) et d'un portail web (Cyber-carothèque nationale⁴) visant à regrouper de manière standardisée tous les prélèvements scientifiques de type carottage, qu'ils soient continentaux, océaniques ou glaciaires.

En 2019, à l'issue de CLIMCOR, l'INSU a souhaité dissocier les cellules du C2FN pour les gérer de manière individualisée. Commandé pour accompagner cette décision, le présent rapport a pour vocation de guider les décisions à venir visant la pérennisation des moyens collectifs mis à disposition de la communauté scientifique nationale et internationale en matière de forage et de carottage continental. Il concerne à la fois les matériels physiques et la bancarisation des données de terrain.

Méthodologie

Ce rapport est rédigé sur la base :

- i) d'une enquête réalisée auprès des opérateurs et utilisateurs nationaux de moyens de carottage continental,
- ii) de la prise de contact avec des acteurs institutionnels du domaine (ICDP et Dat@Terra)
- iii) de l'expérience des rédacteurs dans les domaines du sondage continental et de la constitution de plateformes mutualisées.

¹ P. Reiffsteck, D. Lossy, J. Benoît, 2012, Forages, Sondages et essais in situ géotechnique, Ed. Presses des ponts

² <http://climcor-equipex.dt.insu.cnrs.fr/?lang=fr>

³ <http://193.48.120.232:8080/corebook/>

⁴ <https://cybercarotheque.fr/>

1 Etat des lieux des moyens de sondage continentaux en France

Le présent état des lieux s'appuie sur notre connaissance de l'atelier de forage de la DT INSU et sur l'enquête menée auprès de « opérateurs » de moyens de forage.

1.1 L'atelier de forage de la division technique de l'INSU

1.1.1 Moyens humains

L'atelier de forage s'appuie aujourd'hui sur 3 agents. Parmi eux, seul le responsable de l'atelier avait une expérience professionnelle dans le domaine du forage (glaciaire) avant son intégration à l'atelier. Il est entouré d'un mécanicien, par ailleurs titulaire d'un permis de conduire les poids lourds et d'un électricien/électronicien, riche d'une expérience passée sur navires militaires et scientifiques. Malgré une forte implication des personnels, la moyenne d'âge élevée de ce groupe, ainsi que son faible niveau de spécialisation dans le domaine du forage constituent un point de faiblesse de l'atelier.

1.1.2 Moyens techniques de sondage sur la terre ferme

Il s'agit du cœur de l'atelier. La panoplie d'outils de forage associée à la foreuse thermique permet aujourd'hui à l'atelier de proposer des réalisations de qualité dans une grande variété de terrains, plus ou moins consolidés. Sa capacité maximale de pénétration est estimée à environ 80m (en fonction de la nature du terrain).

L'atelier de forage dispose par ailleurs de véhicules lui permettant de projeter l'ensemble de son matériel, y compris les plus lourds, sur tout terrain accessible par la route.

Enfin, l'atelier a participé dans les années 2010 à la mise en plan d'un carottier développé par un ingénieur du laboratoire EPOC et particulièrement bien adapté aux milieux intertidaux. Ce carottier, dit « Amaury », a été dupliqué et offre à l'atelier une capacité d'action supplémentaire en domaine littoral.

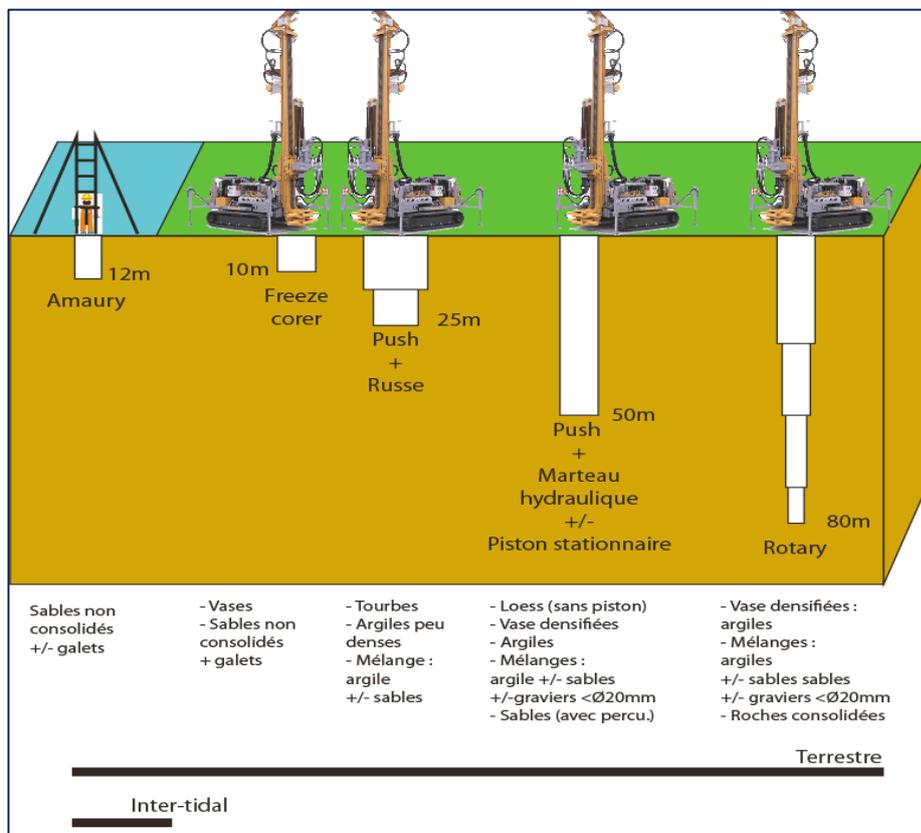


Fig. 1. Schématisation des moyens de sondage à terre disponibles au sein de l'atelier de forage de la DT-INSU

1.1.3 Moyens de sondage lacustres

L'atelier de forage de la DT-INSU s'est doté d'outils de carottage en milieu lacustre dans le cadre du projet CLIMCOR. Les raisons de cette évolution sont multiples : i) il existe une large communauté scientifique nationale ayant besoin de ce type de moyens, ii) la communauté est confrontée à de grandes difficultés pour satisfaire à la réglementation en matière d'homologation de dispositifs souvent artisanaux, iii) les nouvelles frontières scientifiques exigent l'utilisation de moyens lourds dont les unités de recherche ne peuvent assumer l'acquisition et la maintenance.

L'atelier s'est donc doté d'une plateforme de carottage modulable, répondant aux exigences de la réglementation française. Cette plateforme est en cours d'homologation dans 3 configurations : 4mx3m ; 4mx5m ; 4mx7m, ce qui lui donnera la versatilité nécessaire à la réalisation de travaux variés. Le dossier d'homologation a été assumé par un agent de l'unité EDYTEM.

L'atelier de forage dispose d'outils de carottage variés pouvant être opérés depuis cette plateforme. Une panoplie d'outils de marque UWITEC a été acquise « sur étagère » dans le cadre de CLIMCOR, une autre panoplie a été concédée en mutualisation par l'atelier de forage commun des unités EDYTEM et LSCE. Enfin, dans le cadre de CLIMCOR, un nouvel outil de carottage a été développé autour d'un marteau hydraulique conçu spécifiquement par le responsable de l'atelier de forage. Ce marteau est encore en cours de développement dans une version de démonstration qui permet en théorie de couvrir une distance de 80m entre la surface de l'eau et le fond du forage. Une fois cette version validée, l'atelier prévoit de développer une deuxième version permettant de couvrir 300m, sans saut technologique supplémentaire.

L'atelier de forage dispose ainsi aujourd'hui de systèmes autonomes de forage permettant de couvrir, en toute sécurité, une grande diversité de besoins, depuis des petits plans d'eau, y compris inaccessibles par la route, jusqu'à des très grands lacs de plusieurs dizaines de kilomètres de long et plusieurs centaines de mètres de profondeur d'eau. La capacité de forage maximale atteinte à ce jour est de 20m, mais la limite théorique est probablement autour de 50m. Cependant, les personnels de la division technique de l'INSU ne sont pas aujourd'hui en mesure de mettre en œuvre seuls tous les outils de forage lacustre. Ils doivent pour cela s'appuyer sur les quelques unités qui ont développé une expertise spécifique dans ce domaine (EDYTEM, LSCE, Chrono-environnement, CEREGE).

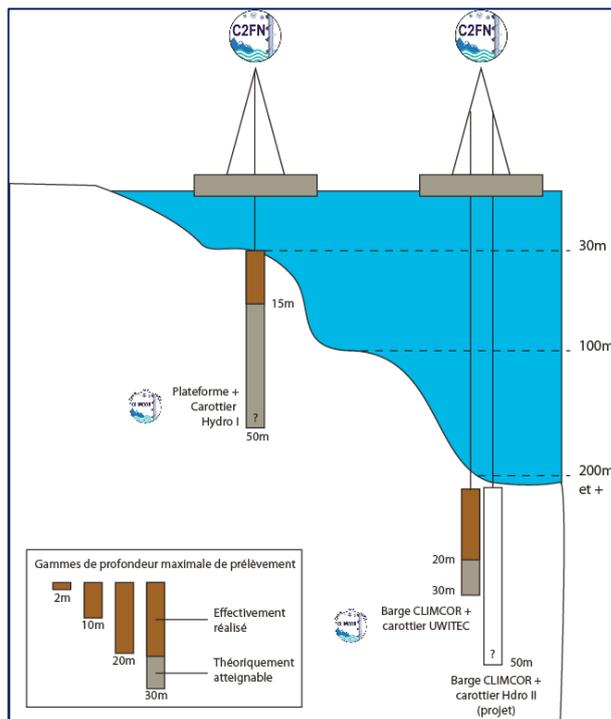


Fig. 2. Schématisation des moyens de sondage lacustre disponibles au sein de l'atelier de forage de la DT-INSU

1.2 L'apport des moyens répartis dans les unités de recherche

Les réponses au questionnaire « opérateurs » ont permis de mieux appréhender le potentiel des unités de recherche françaises en matière de sondages continentaux⁵. Vingt unités de recherche publique ont en effet répondu au questionnaire, ce qui constitue un corpus représentatif de la communauté nationale, d'autant plus que les unités les mieux équipées ont toutes répondu. Ces unités, toutes UMRs, sont également réparties, en termes d'institut principal de rattachement entre INSU (55%) et INEE (45%).

1.2.1 Plateformes support aux opérations de sondage

Les plateformes permettant la mise en œuvre d'outils de sondage par les unités peuvent en théorie travailler tous les terrains d'études continentaux. Pour le milieu lacustre, il s'agit cependant principalement d'embarcations légères permettant uniquement la réalisation de carottages courts (<5 mètres).

L'enquête a révélé des inquiétudes, voire des impasses signalées par les unités en ce qui concerne la mise en conformité de leurs équipements. Cela concerne les 3 plateformes légères (entre 3 et 5m) recensées (EDYTEM, Chrono-environnement, CEREGE) et un sondeuse thermique type Sedidril (LGP). Elle a aussi révélé une bonne capacité d'action des unités travaillant en domaine intertidal, notamment EPOC, grâce des véhicules terrestres tout terrain et à une embarcation dédiée (« navire de charge »). En revanche, aucun équipement recensé n'est apte à mener des opérations en milieu maritime côtier de faible profondeur.

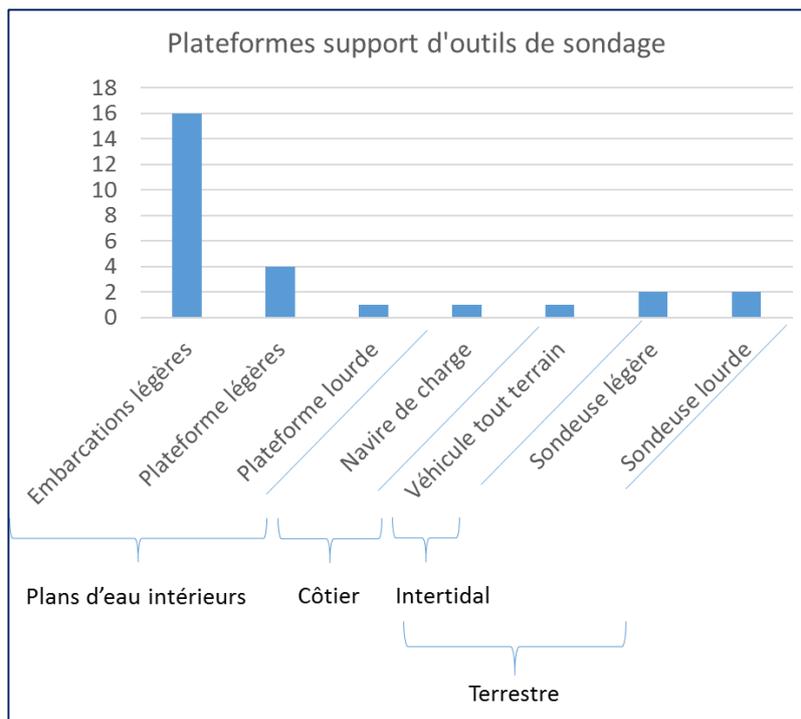


Fig. 3. Distribution des plateformes support de moyens de sondage continentaux en France, d'après les réponses au questionnaire « opérateurs »

L'ensemble de ces plateformes permet d'opérer une grande diversité d'outil. Les équipes sont généralement autonomes pour la réalisation de carottages courts en milieu fluvial ou lacustre et 3 unités opèrent des carottiers à piston permettant d'atteindre 6 à 10m dans du matériau meuble à pied sec, principalement en zone intertidale. Plusieurs unités ont développé des systèmes artisanaux permettant de récupérer des carottes de l'ordre de 6m. Trois d'entre elles disposent d'un jeu de carottier à piston stationnaire UWITEC.

⁵ L'ensemble des résultats des deux enquêtes (« opérateurs » et « utilisateurs ») est tenu disponible à la consultation par les rédacteurs du présent rapport.

1.2.2 Ressources humaines en support aux opérations de sondage

Pour opérer les moyens de sondage à leur disposition, aucune unité ne dispose de moyens humains 100% dédiés. Les outils sont donc mis en œuvre par des techniciens polyvalents, avec une forte implication technique des chercheurs sur le terrain, mais également dans le développement des outils et dans leur maintenance. Cette porosité entre les métiers de chercheurs et techniques s'est illustrée lors de chacune des trois actions nationales de formation organisées par le C2FN-continent depuis 2011.

1.2.3 Volume d'activité

En termes de volume d'activité, la distribution est équilibrée entre les unités effectuant 0 à 20 jours d'opérations par an (7) et celles en effectuant plus de 20 (6, dont 5 ont déclaré plus de 40 jours par an).

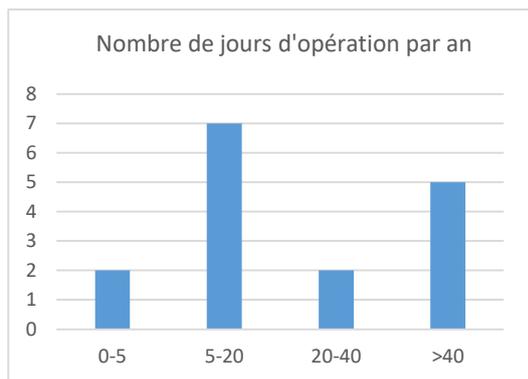


Fig. 4. Distribution des volumes d'activité des opérateurs de sondage continentaux à but de recherche en France, d'après les réponses au questionnaire « opérateurs »

La grande majorité des unités ayant répondu au questionnaire estime que la création d'un service national de forage et de carottage en domaine continental serait utile à la communauté scientifique en général (100%) et à elle-même en particulier (80 %). Si un tel service existait, 80% des unités y trouverait un intérêt pour accéder à des ressources matérielles ou humaines. Elles seraient également majoritairement volontaires pour cataloguer leurs propres ressources matérielles (74%) et humaines (65%). Ce dernier point est symptomatique de la volonté de coopération qui transpire des éléments textuels de l'enquête au sein de cette communauté, comme en témoigne le fait que 93% des répondants s'est déclaré intéressé par la création d'un réseau métier dédié.

Il ressort donc de l'enquête auprès des unités capables de déployer du matériel sur le terrain que nous avons affaire à une communauté compétente, consciente de son besoin de se fédérer, consciente que chaque unité ne peut pas tout faire et ouverte aux collaborations et à l'échange. Il s'agit toutefois d'une activité qui est très peu professionnalisée, ce qui ne va pas sans poser des problèmes d'organisation du travail (activité concurrencée par d'autres dans le plan de charge des ingénieurs et techniciens), mais également de sécurité, comme le montre le fait que plusieurs dispositifs sont actuellement en stand-by dans l'attente de la résolution de problèmes d'homologation.

Il reste que les compétences et matériels des unités permettent de compléter de manière très intéressante les équipements lourds du C2FN. Si l'ensemble de ces dispositifs était mis en synergie au sein d'un consortium coordonné, il y aurait peu de terrain en domaine continental qui ne lui serait pas accessible. Le principal manque ainsi identifié concerne les milieux littoraux subtidaux.

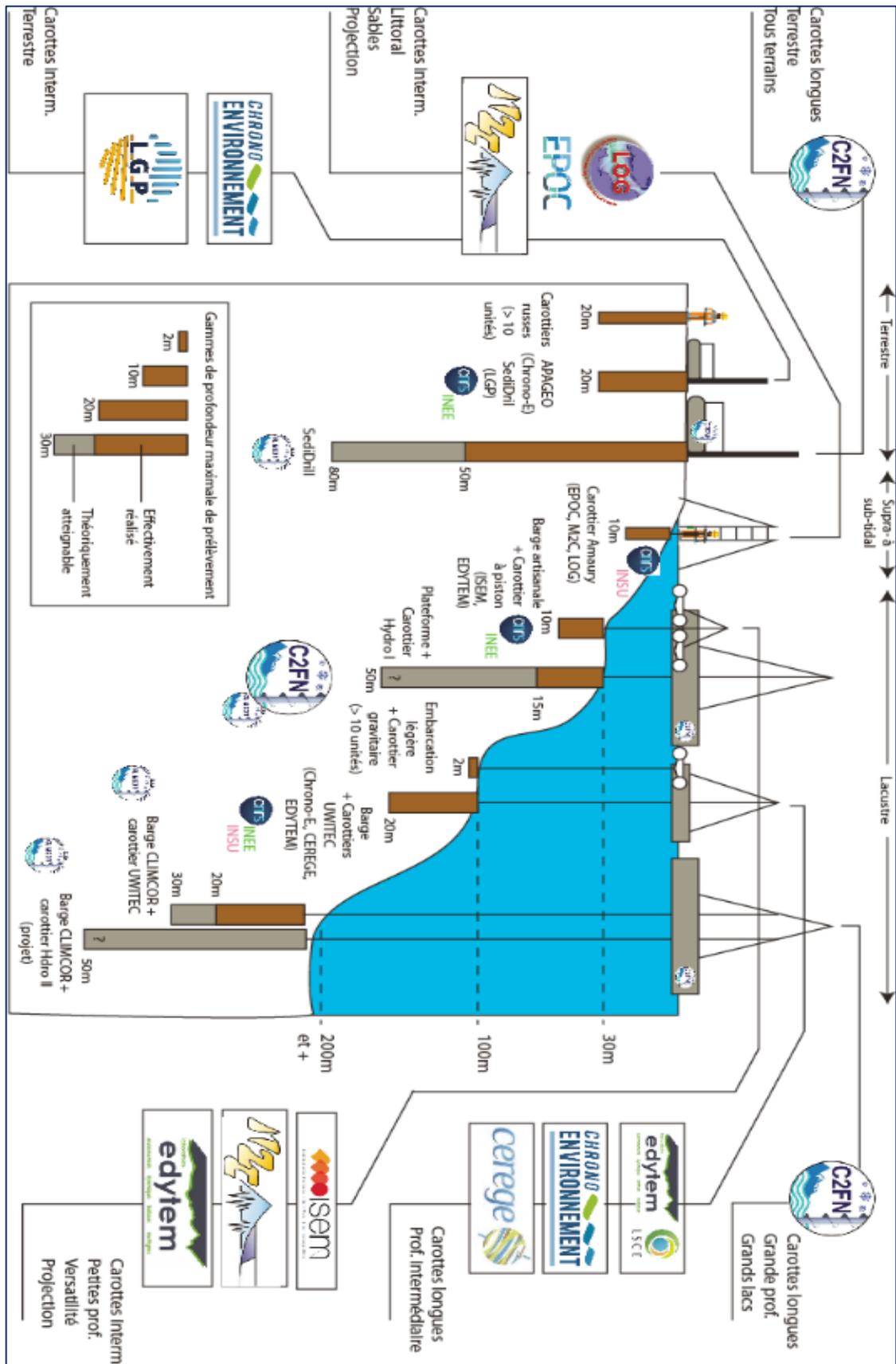


Fig. 5. Schématisation de l'ensemble des moyens de sondage continentaux, en fonction de leur capacité de pénétration et des milieux qu'ils peuvent aborder. Pour les milieux subaquatiques, la tranche d'eau maximale d'opération a également été schématisée. Les logos correspondent aux unités de recherche ayant répondu au questionnaire et fourni les informations nécessaires pour compléter cette figure.

1.3 Bancarisation des données

1.3.1 Rapide état des lieux

La gestion des données et l'Open Science figurent parmi les plus grands défis que la communauté scientifique dans son ensemble se doit de relever dans les années à venir. Dans ce domaine, les paléosciences et les sciences de la Terre en général, sont particulièrement en retard, par comparaison avec les sciences de l'univers ou les sciences biologiques, par exemple. En ce qui concerne les sondages continentaux à but de recherche scientifique, il n'existe pas de standard permettant un archivage satisfaisant des données de terrain. Il existe un dépôt de données international (International Marine and Lake GeoSample index⁶), mais en l'absence de standard, les données présentées sont très limitées. Nous pouvons toutefois nous appuyer sur un standard international d'identification unique des échantillons géologiques (International GeoSample Number – IGSN). Par ailleurs, des projets de laboratoire ou régionaux émergent actuellement et mériteraient d'être coordonnés au moins au niveau national.

1.3.2 Réalisations de CLIMCOR Data

Dans le cadre de CLIMCOR, un volet « data » a été mise en œuvre dès le début du projet pour couvrir les besoins des 3 workpackages (océan, continent, glace). C'est à notre connaissance la seule initiative de bancarisation des données de sondage en cours ayant une visée nationale. Des avancées importantes ont ainsi pu être réalisées en suivant une stratégie basée sur la création d'outils mis à la disposition des équipes de recherche : le couple CYBERCAROTHEQUE⁷ / COREBOOK⁸.

La cyber-carothèque est une application web permettant en amont des opérations de terrain de gérer les inventaires et configurations numériques des matériels qui seront emmenés sur le terrain par chaque équipe⁹ et, en aval, de recueillir les informations captées sur le terrain via l'application Android embarquée sur tablette COREBOOK ou import de fichier. COREBOOK est une application de terrain permettant de capter durant les opérations de sondage une grande quantité d'informations standardisées et de les injecter automatiquement dans la Cyber-carothèque. Ces informations peuvent ensuite être consultées librement sur le web et pourrons alimenter d'autres systèmes d'information plus spécifiques, comme c'est par exemple le cas du projet ROZA¹⁰ dans le cadre de LTER-France.

COREBOOK est optimisé pour les besoins des sondages continentaux, mais le code est disponible pour qu'une version optimisée pour les carottages océaniques puisse être réalisée. Une version bêta est en cours de développement à cette fin par EPOC (la FOF a été contactée pour collaborer sur le projet, mais la réponse n'est pas encore parvenue aux porteurs de projet (X. Crosta et I. Billy, EPOC).

La mise au point de ces outils a été possible au sein de CLIMCOR en combinant les efforts des communautés scientifiques travaillant en mer et domaine continental. Elle a bénéficié du soutien de la DT-INSU, de l'OASU et des unités EDYTEM et EPOC, sous la forme de temps d'ingénieur en informatique. Les tests et développements de ces outils ont également bénéficié du soutien des chercheurs en Paléoscience impliqués dans le Réseau des Zones Ateliers (LTER) de l'INEE.

Les deux outils sont aujourd'hui en phase de production. La Cyber-carothèque nécessite toutefois encore de nombreux développements, notamment concernant l'attribution automatique des identifiants IGSN par échantillons et de DOI par mission. Il apparaît que le mode de fonctionnement de la DT-INSU, sous forme de demandes de moyens annuelles, ne permet plus d'apporter les améliorations nécessaires, ni d'assurer la maintenance de la base de données. Il est donc urgent de trouver un nouveau mode de fonctionnement qui permettra aux outils développés pour la communauté grâce à CLIMCOR de perdurer

⁶ https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/sample_index/

⁷ <https://cybercarotheque.fr/>

⁸ <http://193.48.120.232:8080/corebook/>

⁹ Cette fonctionnalité s'appuie sur un très gros travail de modélisation numérique des carottiers qui a permis d'établir une première liste des outils disponibles en France : <https://www.cybercarotheque.fr/refoutil.php>

¹⁰ <http://ccwbvps18.in2p3.fr/projects/roza>

dans le temps et de s'imposer comme un standard national, mais également international dans la manière de gérer les données de prélèvements de type sondage, quel que soit le domaine d'étude, marin ou continental. A ce titre, le projet bénéficie actuellement d'une forte implication de l'OASU qui met à disposition en 2020 50% d'ETP d'ingénieur et propose d'assumer la maintenance de la Cybercarothèque sur le long terme.

Cybercarothèque et CoreBook sont les premiers points d'accroche essentiels pour avancer vers un système complet, ouvert et conforme au principe de l'Opendata, permettant d'optimiser la réutilisation des sites, des échantillons et des données issues des sondages. De futurs développements devront notamment permettre de gérer les stock d'échantillons (carottes) et in fine l'ensemble des données acquises sur ces échantillons. **L'ensemble des procédures de gestion, de traitement et d'analyses étant strictement identiques pour les échantillons marins et continentaux, il n'apparaît pas du tout pertinent de développer deux systèmes distincts.**

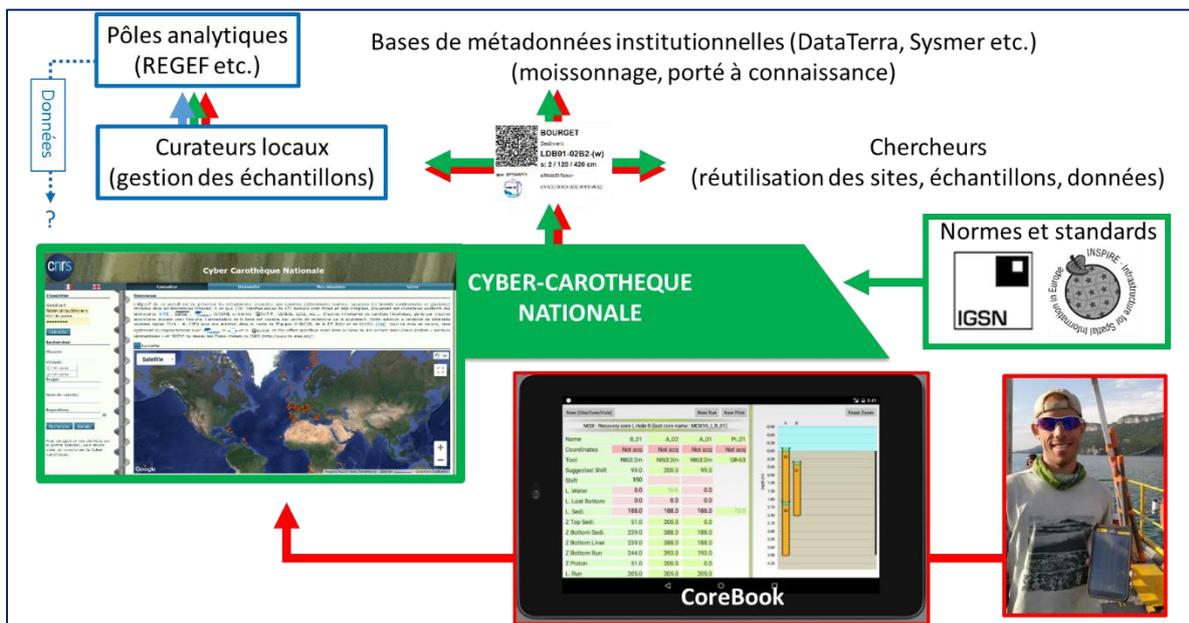


Fig. 6. Schématisation des flux de données entrants et sortants du COREBOOK (en rouge), de la Cybercarothèque (en vert) et d'un hypothétique futur équivalent pour la gestion des stocks de carottes et des données associées (en bleu). NB : un tel système est conçu de telle façon a constitué notamment un hub d'entrée vers des bases de données et métadonnées institutionnelles généralistes aux niveaux national (comme c'est le cas actuellement pour ROZA) et international, c'est aussi le moyen le plus simple pour permettre aux équipes de recherche de remplir sans travail supplémentaire, leurs obligations réglementaires en termes de gestion et de porté à connaissance des métadonnées qu'ils produisent (normes INSPIRE, protocole de Nagoya etc.).

2 Expression des besoins

L'expression des besoins de la communauté nous est parvenue au travers des réponses au questionnaire « utilisateurs ». Nous avons obtenu 52 réponses individuelles à cette enquête, dont 49 académiques, 2 agents d'EPIC (IRSN et CEA) et 1 collectivité (service archéologique). Là encore la population représentée est dominée par les personnels affectés à des unités mixtes à rattachement principal INEE (49%) et INSU (45%). Il s'agit d'une communauté d'individus pour moitié déjà impliqués dans la dynamique impulsée par le C2FN via les actions nationales de formation. Cependant une autre moitié n'a jamais participé à ces actions, ce qui dénote une marge de manœuvre certaine pour développer plus encore un réseau métier qui pourrait découler des ANFs.

La majorité des répondants (61%) a estimé son besoin à plus 2 campagnes par an, certains l'estimant même à plus de 5 (12%). En termes de destination, les chercheurs visent principalement des destinations européennes, avec un fort tropisme régional et national. En ce qui concerne les besoins de missions à

l'étranger, ce sont principalement l'Afrique et l'Asie qui sont ciblées. On relève également qu'environ la moitié des répondants estime effectuer régulièrement des missions en milieux extrêmes, essentiellement sous les tropiques et en haute altitude. Ce dernier point, ainsi que la prédominance de l'Afrique et de l'Asie dans les destinations non-européennes, explique le besoin exprimé pour des matériels facilement projetables outre-mer et en terrain hostile.

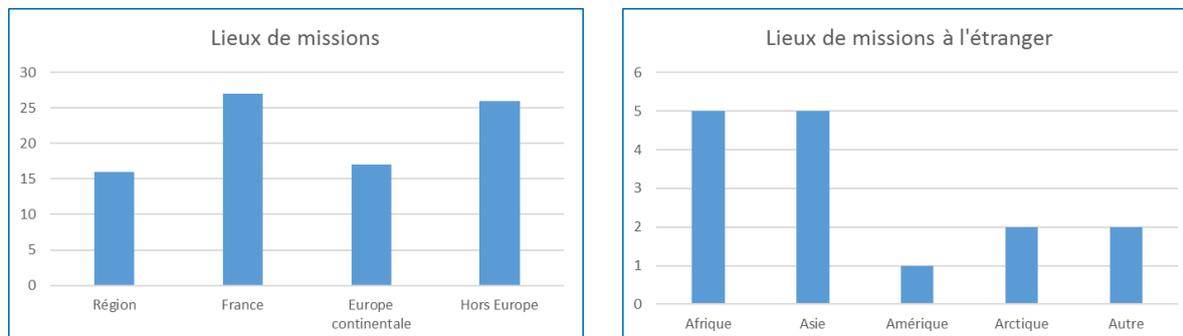


Fig. 7. Distribution des lieux de mission des répondants. Le panneau de gauche présente l'ensemble des destinations par domaines concentriques, du local au global. Le panneau de droite détaille les destinations « hors Europe continentale ».

Lorsqu'on les interroge sur les milieux ciblés par leurs études, les répondants confirment le triptyque lac-littoral-terrestre, déjà identifié dans le cadre du C2FN. On note également un intérêt certain pour les milieux fluviatiles et pour les sédiments consolidés (roches anciennes). On note ainsi que 30% des répondants expriment des besoins en milieu littoral, sachant qu'il y a actuellement un trou de capacité entre le domaine intertidal ou estuarien, couvert par des moyens légers et le domaine hauturier profond couvert par la flotte océanographique française. Il y a donc un manque criant de moyens permettant de réaliser des sondages en domaine littoral peu profond (<20m).

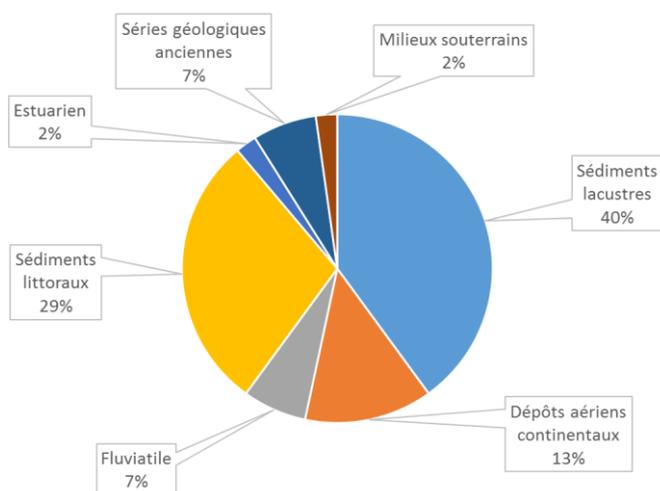


Fig. 8. Distribution des milieux investigués par les répondants à l'enquête « utilisateurs »

Nous avons également cherché à cerner la place des missions de prélèvement sur le terrain dans la construction des projets des chercheurs. Seulement la moitié des répondants a déclaré avoir porté un programme national ou international incluant le financement d'opérations de carottage. Nous en déduisons que ces chercheurs fonctionnent essentiellement sur des financements régionaux, voire uniquement sur ressources propres. Ceci qui explique l'importance des terrains de proximité dans la cartographie des sites ciblés. Il n'est donc pas étonnant que lorsque l'on interroge les chercheurs sur leur participation à des grands programmes internationaux et notamment aux projets ICDP, ces derniers se déclarent non concernés. Enfin, la majorité des répondants (70%) estime qu'un système de gestion de données leur serait utile (11 % seulement le jugerait inutile), ce qui milite en faveur d'une action de grande ampleur dans ce domaine.

3 Analyse forces/faiblesses - opportunités/menaces

Il existe tout au long du continuum terrestre-lacustre-fluvial-littoral, une communauté active (nombre de missions, publications) et interagissant, via notamment les ANFs, mais également des projets bilatéraux nombreux. Cette communauté est habituée à la débrouille, mais est consciente que des développements matériels et/ou une hausse des niveaux de pratique permettraient de débloquent des verrous scientifiques (participation aux ANFs, souhait de création d'un service national, expression de cette limitation dans les réponses). Cependant, elle n'a pas développé une culture « grand projet » et ne s'est pas encore emparé, faute de communication suffisante de la part du C2FN, des outils mutualisés.

Nous en déduisons qu'il est nécessaire d'améliorer l'organisation de cette communauté pour la doter des outils de gouvernance qui lui permettront, à l'instar de ce qui se passe pour les carottes de glace ou, dans une moindre mesure, marines, d'opérer des priorisations stratégiques, à la fois en termes de terrains ciblés et de développements matériels. Dans l'état actuel de la communauté, nous notons également la relative inadaptation du programme ICDP pour répondre aux besoins de cette communauté qui n'y a pas, ou très peu, recours.

<p>Forces</p> <ul style="list-style-type: none"> o Atelier de forage de la DT-INSU (1 ,5 M€ + 3 ETP) o Réseau de compétences dans les unités <ul style="list-style-type: none"> - Équipements - Culture de l'échange o Forte implication des chercheur(e)s dans les aspects techniques o Qualité de la science <ul style="list-style-type: none"> - 659 articles <i>lake sediment</i>/ 5 ans (<i>ice core</i> : 208) - Diversité d'approches - Haute technicité analytique (lien PF; REGEF) o Force de proposition sur « métadonnées » 	<p>Faiblesses</p> <ul style="list-style-type: none"> o Faible visibilité des moyens centralisés et distribués o Pas de personnel dédié à 100% dans les unités o Forte implication des chercheur(e)s dans les aspects techniques o Peu de moyens de projection o Pas de grands projets « étendards » o Défaut de moyens en domaine littoral peu profond (5-20m) o Personnels de l'atelier de forage de la DT trop peu nombreux et pas suffisamment formés
<p>Opportunités</p> <ul style="list-style-type: none"> o Paléosciences continentales au cœur des problématiques sociétales (Anthropocène, Zone critique, Socio-écosystèmes etc.) o IRs thématiques : OZCAR, LTER etc. o IRs technologiques : REGEF etc. o IR données : THEIA etc. o ICDP : accès à un « marché » mondial o Priorité donnée à la bancarisation des données o Très bon rapport qualité / prix ! 	<p>Menaces</p> <ul style="list-style-type: none"> o Perte de compétences (départs en retraite) o Utilisation non optimale des ressources o Difficulté pour cette communauté de faire financer des projets ambitieux o Coûts de fonctionnement élevés de l'atelier de forage o Déconnexion avec la dynamique paléocéanographie (PF analyses, gestion des échantillons / données) (demande de moyens FOF en cours).

4 Recommandations

L'accès à du matériel de carottage de grande qualité et adapté aux besoins très divers exprimés constitue un avantage technologique pour la communauté française qu'il faut pérenniser.

La nouvelle structuration des capacités nationales de sondage continental devra trouver un équilibre entre d'une part la concentration de moyens lourds et de l'expertise qui leur est associée au niveau national et d'autre part la préservation et la mise en synergie des capacités matérielles et humaines distribuées dans les unités de recherche.

La gestion des métadonnées de forage et plus largement la gestion des échantillons doit favoriser leur utilisation ou réutilisation, notamment par l'application des méthodes analytiques de pointe développées dans les unités de recherche au niveau national et international. Il est donc essentiel que la nouvelle structure soit étroitement connectée aux initiatives connexes de structuration. Cela concerne la cybercarothèque nationale qui regroupe les carottes continentales et marines et au sein de laquelle la

communauté "continent" doit continuer à jouer un rôle équivalent à celui joué par la communauté "marine". Cela concerne également Data Terra qui doit être en mesure d'accueillir les données spécifiques, souvent positionnées à la fois dans le temps et dans l'espace, produites à partir des sondages continentaux. Enfin, il faut d'ores et déjà veiller à préparer la jonction avec les plateformes, ou méta-plateformes d'analyses, dont REGEF est un exemple prometteur, pour assurer l'indispensable continuité entre données de terrain et données d'analyse en laboratoire.

Nos recommandations s'articulent donc autour du renfort de 3 piliers : 1) soutenir une structure unique nationale qui concentrera et disséminera ses savoir-faire, 2) créer les outils de gouvernance nécessaires à la structuration d'une communauté scientifique et à sa connexion avec le service national de carottage, 3) mener des projets transversaux pour intégrer la communauté scientifique « carottes continentales » au sein d'initiatives plus larges.

1) Soutenir une structure nationale de référence¹¹ qui concentrera et disséminera ses savoir-faire

L'atelier de forage actuellement intégré à la DT-INSU a montré sa capacité à acquérir, développer et mettre en œuvre un ensemble d'outils au service de la communauté scientifique nationale. Elle a aussi démontré son importance en tant qu'assistant à la maîtrise d'ouvrage lors d'opérations faisant intervenir des sociétés privées de forage. Il pâtit toutefois d'un défaut de reconnaissance de la part de la communauté scientifique et d'une relative faiblesse de ses ressources humaines. Nous proposons donc de :

- 1.1) Doubler le poste d'IR en développement technologique d'un poste d'IR dédié à l'animation scientifico-technique et aux relations avec la communauté scientifique ;
- 1.2) Anticiper le remplacement des techniciens actuels de l'atelier de forage de la DT par des personnels expérimentés sur les méthodes de forages et disponibles pour des missions difficiles de longue durée ;
- 1.3) Créer un réseau de métier « sondages scientifiques continentaux » ;
- 1.4) Renforcer les aspects « littoral » en dédiant l'un des personnels aux développements techniques spécifiques à ce milieu ;
- 1.5) Se projeter vers la labélisation du parc matériel en une infrastructure de recherche et *in fine*, son incorporation dans une TGIR. Il nous semble que OZCAR pourrait être un bon candidat pour accueillir ce parc ;
- 1.6) Conserver les moyens de forages continentaux au sein des demandes de moyens de l'INSU, comme c'est le cas depuis 2019, mais renforcer le lien entre ces demandes de moyens et la gouvernance scientifique de la communauté en proposant l'évaluation des demandes par un comité ad hoc issu de celle-ci.

Cette structure pourrait rester au sein de la division technique de l'INSU, ce qui présenterait l'avantage de la continuité et consoliderait les moyens actuels. Elle pourrait aussi être constituée en unité indépendante (UPS ou UMS), disposant de son propre budget et de sa propre gouvernance. Ceci permettrait de lui donner un double rattachement au niveau des instituts du CNRS (INSU et INEE), favorisant ainsi la mutualisation des moyens. Une unité indépendante serait aussi plus fonctionnelle pour développer des partenariats internationaux dans les cadres institutionnels récemment redéfinis par le CNRS.

2) Créer les outils de gouvernance nécessaires à la structuration d'une communauté scientifique

Nous l'avons constaté via le questionnaire, il existe une communauté scientifique importante en nombre et concernée par les aspects techniques dans le domaine des sondages continentaux. Le C2FN, en organisant des actions nationales de formation a permis à cette communauté de prendre conscience de

¹¹ La structure « Lake Core » aux USA pourrait être un bon modèle pour la création d'une telle structure, comme l'ont souligné plusieurs répondants aux questionnaires

sa propre existence et de se fédérer autour de questionnements techniques. Il reste aujourd'hui à pérenniser ce mouvement de fédération et à lui donner une capacité d'action scientifique. Pour cela nous proposons de :

2.1) Mettre en place, en parallèle au réseau de métier, un Groupe de Recherche (GDR) « sondages scientifiques continentaux » qui regroupera l'ensemble des acteurs, à la fois opérateurs et utilisateurs, autour du noyau central que constitue l'atelier de forage de la DT. Le GDR pourra développer ses propres actions en promouvant notamment, en coordination avec le réseau de métiers, les ANFs, mais également en proposant, par exemple, des séminaires de priorisation ou la mise en place des systèmes de « bourses d'équipiers » visant à favoriser les échanges notamment de personnels techniques, entre unités, lors de missions de terrain.

2.2) Donner à la communauté organisée en GDR la possibilité d'évaluer scientifiquement les demandes de moyens et de proposer des actions concertées prioritaires, comme par exemple des « legs » inspirés des campagnes océanographiques (trajet à longue distance des moyens de forages tout au long d'une série de terrains d'études constituant autant d'étapes).

2.3) Mettre en place des systèmes de « bourses d'équipiers » visant à favoriser les échanges de personnels lors de missions de terrain pour assurer, entre-autres, l'entretien des compétences et une masse critique de personnels lors des missions. Cette bourse concernera les personnels techniques et les chercheurs et enseignants-chercheurs (puisque'une grande partie de ces missions est également assurée par des chercheurs et enseignants-chercheurs). Elle pourra être ouverte à des échanges entre unités dans le cadre d'échanges bilatéraux ou consister en la mise à disposition de personnels par une unité pour des missions assurées par l'atelier de forage.

Pour mettre en œuvre la structuration de la communauté, suite aux discussions avec le Conseil Scientifique de CLIMCOR et avec les directions de l'INSU et de l'INEE le 1^{er} juillet 2019, il a été décidé d'organiser au printemps 2020 un workshop regroupant l'ensemble de la communauté intéressée par les sondages continentaux. Ce workshop sera construit en trois temps : (1) présentation du présent rapport et des pistes proposées ; (2) discussions avec la communauté sur l'organisation des moyens et la structuration technique, économique et scientifique ; (3) ateliers de réflexion prospective sur les 5 à 20 grandes questions dont la communauté s'emparera dans les 10 prochaines années. Ce workshop se tiendra dans un lieu et à une date qui restent à définir, sur 1 à 2 journées.

3) Mener des projets transversaux pour intégrer la communauté scientifique « carottes continentales » au sein d'initiatives plus larges

Une fois organisée au sein d'une instance scientifique reconnue, la communauté scientifique nationale pourra prendre pleinement sa place dans des projets la dépassant. Ces projets pourront être d'ordre organisationnels, notamment autour de la gestion des métadonnées de forage (cyber-carothèque), mais également des échantillons (gestion des collections, réseau de carothèques) et des données d'analyse (lien avec REGEF, DataTerra etc.). Ils devront être pensés dans un contexte international en cherchant à respecter les standards existant, mais également à contribuer à l'émergence ou au renforcement de bonnes pratiques. Lors de la réunion du 1^{er} juillet, les directions des instituts ont évoqué plusieurs initiatives nationales (impliquant le BRGM et le MNHN) et internationales dans lesquelles la gestion des échantillons de carottage pourraient être intégrées. Il nous apparaît essentiel que la dimension patrimoniale des carottes sédimentaires soit mieux prise en compte, au même titre que les collections de fossiles, les minéraux remarquables, ou les carottes de glace. *Sur la question de la gestion conservatoire des échantillons et des données, nous insistons sur l'absolue nécessité de maintenir la cohésion entre les différentes communautés travaillant sur des échantillons de type « carottes », quelle que soit la provenance de celles-ci.*

Afin de valoriser les équipes menant les opérations de prélèvement d'échantillons, qui sont des opérations de plus en plus complexes et nécessitant des compétences toujours plus pointues, il nous

semble qu'il manque dans le paysage académique un support de publication adapté. Afin de rendre visible publiquement la création de nouveaux échantillons, nous proposons que le CNRS soutienne la **création d'une nouvelle revue internationale ouverte et indépendante des éditeurs scientifiques, dédiée à la publication des données et du contexte scientifique qui entourent les missions de terrain** (un peu à la manière des « livres bleus » d'IODP). Cette revue pourrait être proposée en coopération avec le groupe de gestion d'IGSN pour valoriser son travail et favoriser la généralisation de l'utilisation des IGSN. Elle pourrait être ouverte à tout type d'opérations d'échantillonnage en géoscience, depuis le marteau du géologue jusqu'aux systèmes de forage les plus lourds en passant par les dragages etc. En valorisant la mise à disposition par les équipes de recherche des échantillons qu'elles ont contribué à prélever et pour laquelle elles pourront enfin être citées, une telle revue favoriserait certainement la réutilisation des échantillons et des données. Ceci serait nous semble-t-il de nature à rendre les recherches plus efficaces, à la fois scientifiquement et économiquement. La revue pourrait alors atteindre des valeurs de facteur d'impact très honorables.

Sur le plan scientifique, une communauté plus organisée et pouvant s'appuyer sur des matériels de grande qualité pourra élever son niveau d'ambition en termes de terrains investigués et d'ampleur des problématiques traitées. A ce titre, il nous apparaît que la structure de la communauté nationale permet difficilement de déposer des projets ICDP dans leur forme « classique » (un site, un très long forage). En revanche, la diversité de compétences présentes et la nature des outils disponibles semble propice à des projets d'envergure basés sur la récupération d'un grand nombre d'archives prélevées sur une variété de sites, notamment au long d'un continuum terre-mer ou pour développer des méta-analyses spatiales. Ce point pourrait être mis en avant auprès des instances d'ICDP pour soutenir ce type de projet. Ce, avec d'autant plus de poids qu'il émanerait d'une communauté organisée et reconnue.

Remerciements

Les rédacteurs remercient les directions des instituts INSU et INEE du CNRS pour la confiance qu'ils leur ont accordé en leur demandant l'établissement de ce rapport. Nous remercions les personnels techniques impliqués dans CLIMCOR qui nous ont apporté des précisions sur leurs champs de compétence particuliers, notamment Laurent Augustin (DT-INSU) et Cécile Pignol (EDYTEM). Les discussions très constructives que nous avons eues avec Pascal Philippot (ICDP France) et Frédéric Huynh (DataTerra) ont partiellement contribué à l'avancement de nos réflexions. Les répondants aux deux enquêtes « opérateurs » et « utilisateurs » nous ont fourni une grande partie de la matière à réflexion à l'origine du présent rapport, qu'ils et elles en soient ici très chaleureusement remerciés.e.s. Enfin, nos premières conclusions ont été présentées en juillet dernier à Nicolas Arnaud (Dir. INSU) et Stéphanie Thiébaud (Dir. INEE), à Cyril Moulin (Dir.-adjoint INSU), Fatima Laggoun (DAS INSU) et Pierre Kern (Dir.-adjoint technique INSU), ainsi qu'aux membres du conseil scientifique de CLIMCOR-continent, nous tenons à les remercier pour les remarques et ajouts constructifs qu'ils et elles nous ont proposés à cette occasion.