

## **Prospective OA**

### **Approche intégrée des changements environnementaux planétaires - Chantier Arctique**

Rapporteurs M.-N. Houssais et H.-W. Jacobi

#### **I. Contexte et Enjeux**

L'Arctique est une cible privilégiée du changement climatique qui s'y manifeste de façon particulièrement aiguë. Selon les prévisions des modèles de climat, la diminution progressive de la banquise estivale devrait conduire à sa disparition saisonnière quasi totale à une échéance de quelques décennies (Rapport AR5 du GIEC, 2007). Même si l'on anticipe des erreurs de prévision inhérente à ces modèles, l'ouverture soudaine de ce milieu jusque-là préservé aux activités humaines semble inéluctable. Au-delà de la cryosphère, des perturbations importantes de tous les compartiments du système climatique sont clairement mises en évidence depuis quelques décennies, avec un impact déjà visible ou attendu sur les écosystèmes marins et continentaux, la biodiversité, le cycle des gaz à effets de serre et l'ensemble des équilibres physico-chimiques continentaux, atmosphériques et océaniques (ACIA report, 2005).

Vis-à-vis du système couplé océan-atmosphère, l'Arctique présente deux spécificités propres : une sensibilité particulière au changement climatique et un lien fort avec les échelles globales du système climatique. Sur le premier aspect, la diminution des glaces marines et terrestres ainsi que le recul du pergélisol sont susceptibles de conduire le système climatique vers des « points de non retour » au travers de rétroactions physiques, chimiques et biogéochimiques mettant en jeu tous les compartiments du système climatique. Sur le deuxième aspect, l'élévation du niveau des mers résultant de la fonte de la calotte Groenlandaise, les modifications de la circulation océanique globale pouvant résulter de l'augmentation des apports d'eau douce en provenance de l'océan Arctique vers les régions de formation d'eau dense, l'effet retour de ces modifications sur le système régional arctique, ou enfin les téléconnexions atmosphériques entre l'Arctique et les moyennes et basses latitudes sont autant de liens qui mettent en évidence la nécessité d'une approche à la fois « régionale » et globale du problème.

Dans le cadre d'une approche multidisciplinaire, les enjeux sont multiples : environnementaux (adaptation des écosystèmes polaires aux changements de la cryosphère, protection du milieu naturel vis-à-vis de la pollution induite par les activités humaines), économiques (exploitation des ressources minières, évolution des zones de pêches, ouverture de nouvelles voies maritimes), sociétaux (adaptabilité des communautés locales au changement climatique et à la globalisation) et politiques (contrôle stratégique des nouvelles routes maritimes, souveraineté sur les zones d'influence maritimes des états riverains).

#### La structuration de la recherche polaire en France

La France possède une longue histoire dans la recherche polaire, sans doute plus visible en Antarctique qu'en Arctique pour des raisons évidentes liées au maintien stratégique des bases de recherche subantarctiques et antarctiques. Le soutien à la mise en œuvre des programmes de recherche polaire assuré par l'Institut Polaire (IPEV) montre de ce fait un fort biais vers l'hémisphère Sud (en 2010-11, sur le nombre total de projets rattachés aux thématiques de l'INSU et soutenus par l'IPEV, 23 % concernent l'Arctique). Le soutien de l'institut aux projets arctiques est cependant en forte hausse sur les années récentes, un effort qui doit être encouragé sans mettre en péril les activités australes. Un investissement pérenne de l'IPEV en Arctique se fait par ailleurs via le maintien de station AWIPEV au Svalbard, en collaboration avec l'Alfred Wegener Institute.

La recherche en Arctique n'est devenue que récemment une priorité politique pour la France. Le bilan des activités en cours ou programmées montre pourtant qu'elle peut être avant tout

une priorité scientifique et que la communauté OA a le potentiel de compétence pour y répondre (voir le livre blanc de la recherche polaire établi par le rapport de la mission Gaudin). Les activités de recherche française dans le domaine OA couvrent un grand nombre de domaines de la recherche en Arctique. Leur visibilité à l'international apparaît directement liée à l'ampleur des moyens, tant technique qu'humains, mis en oeuvre. La plupart des activités sont ancrées à l'international par le biais d'accords bilatéraux entre groupe de recherches ou au sein de programmes internationaux coordonnés (Europe notamment).

### Les apports de l'Année Polaire internationale

L'Année Polaire Internationale a été l'occasion d'une concentration et d'une intégration des efforts de la communauté française au bénéfice de la recherche polaire. La communauté OA s'est investie par l'intermédiaire de réponses aux appels d'offres nationaux (ANR, LEFE) et européens (FP7, ESF) récurrents visant pour certains l'Arctique comme un « hot spot ». En continuité de l'API il y a une volonté, voire il semble essentiel, de pérenniser les initiatives engagées par un engagement « post-API » bénéficiant de l'impulsion positive de ces années exceptionnelles. Au plan de la communauté de recherche OA, ce temps exceptionnel de l'API a été l'occasion de renforcer les collaborations internationales.

## **II. Vision prospective**

Le colloque de lancement de la prospective du Chantier Arctique qui s'est tenu les 6-7 juillet 2010 à Paris a montré à la fois la richesse des activités de recherche française en Arctique et leur diversité. Il est apparu aussi que le manque de structuration au sein ou entre les différentes communautés (océan, atmosphère, cryosphère et surfaces continentales) provenait en partie d'un manque de lisibilité du paysage national. Face à ce constat, la mise en oeuvre d'un chantier de type interdisciplinaire tel que recommandé par l'INSU est une opportunité exceptionnelle, mais en même temps prématurée. L'interdisciplinarité ne devrait être abordée qu'après qu'auront été dégagés des axes forts de la recherche OA (et en parallèle avec les autres disciplines) et mis en place des structures pour les soutenir. En revanche, plusieurs voies sont apparues comme une priorité pour permettre à la recherche française de (i) contribuer efficacement à l'avancée des connaissances en Arctique et (ii) préparer le cadre d'un chantier pluridisciplinaire qui ouvre vers des questionnements aux interfaces des communautés OA-SIC et des ST, des sciences du vivant et des enjeux humains et sociétaux.

- L'amélioration de la connaissance des processus physiques, chimiques et biogéochimiques du système climatique Arctique. Cette connaissance doit permettre de mieux comprendre les changements en cours, au niveau de chaque compartiment du système mais aussi des interactions entre ces compartiments.
- Le suivi de la variabilité. Il s'agit d'être présents dans des endroits clés du milieu Arctique pour contribuer à l'effort international de suivi dans le cadre d'initiatives telles que SAON (Sustainable Arctic Observing Network). Ce suivi s'avère un enjeu en soi dans un contexte de forte tendance sur laquelle se superpose une variabilité décennale à multidécennale importante qu'il faut distinguer de la réponse au forçage d'origine anthropique.
- L'incrémentation de notre niveau de compétence au travers du développement de nouveaux outils appropriés : instrumentations de nouvelle génération, acquisition de plateformes dédiées (brise-glace), développement de modèles, et d'une augmentation du potentiel de recherche. Sur ce dernier point, on peut constater que la communauté Arctique est majoritairement constituée d'équipes bipolaires alliant activités arctiques et antarctiques.
- Un investissement dans des thématiques nouvelles : il apparaît clairement que certaines thématiques de recherche pourtant importantes ne sont pas couvertes par le panorama de la recherche française alors même que nous avons un potentiel de compétences appropriées. Ce point est en lien étroit avec le précédent (développement de moyens et recrutement).

### **III. Mise en oeuvre dans les 5 ans à venir**

#### **III.1 Priorités scientifiques pour la communauté océan-atmosphère**

Les problématiques émergentes en Arctique concernent :

- (i) le suivi de la composition stratosphérique, son lien avec les variations de température dans la stratosphère et la circulation atmosphérique
- (ii) la mise en évidence des rétroactions clés responsables de l'amplification du réchauffement atmosphérique en zones polaires
- (iii) l'identification des émissions naturelles et anthropisées dans l'Arctique et dans les régions riveraines, leur évolution en lien avec le développement attendu des activités humaines et leur impact sur le climat de l'Arctique et sur le climat global
- (iv) les interactions entre l'évolution de la cryosphère, d'une part, et la composition chimique et les régimes de circulation atmosphérique (incluant l'occurrence d'évènements extrêmes), d'autre part, et leurs impacts
- (v) l'évolution structurelle de la banquise arctique et la compréhension de ses couplages avec l'océan et l'atmosphère
- (vi) le suivi de l'évolution du contenu thermique et halin de l'océan Arctique et son lien avec le couvert de banquise et la circulation océanique globale
- (vii) l'évolution du Groenland et notamment le rôle de l'océan dans son bilan de masse via les échanges au niveau des glaciers émissaires, l'impact de l'hydrologie sous-glaciaire, les processus de surface, et l'effet des aérosols
- (viii) l'impact de la fonte du Groenland sur le niveau des mers sur la circulation thermohaline via l'apport d'eau douce vers l'océan
- (ix) la caractérisation du cycle de l'eau et le suivi de son évolution, incluant les échanges à l'interface océan-continent (ruissellement, flux de matière), la chimie et la physique des interfaces neige-atmosphère et neige-sol, et l'impact de la neige sur les écosystèmes
- (x) l'évolution du pergélisol et de l'interface océan-sédiment et leur impact sur les flux de carbone (hydrates de méthane)
- (xi) l'évolution du cycle du carbone en Arctique et son lien avec le changement climatique
- (xii) l'évolution des écosystèmes arctiques en lien avec l'évolution du milieu physique et le devenir de la biodiversité
- (xiii) la reconstitution des climats passés à partir des archives glaciaires terrestres et marines et des archives sédimentaires

Cette liste des questionnements de l'actualité scientifique révèle l'état encore embryonnaire des connaissances actuelles sur l'Arctique mais aussi l'importance des enjeux sous-jacents. Une démarche pour la communauté nationale pourrait être d'identifier quelques zones chantiers clés où convergent une expérience ou un intérêt commun pour y développer une approche intégrée visant à répondre à un certain nombre de ces questionnements.

#### **III.2 Actions à développer vers d'autres communautés**

Les initiatives futures sur des thématiques de recherche interdisciplinaires en Arctique tireront profit d'une meilleure coordination de la recherche au plan national. D'ores et déjà se fait jour la nécessité d'une approche intégrée de questions scientifiques majeures dans une région où cohabitent un milieu océanique contraint par les terres (notamment par le cycle hydrologique continental) et des surfaces continentales pénétrant dans l'océan au travers de larges marges particulièrement sensibles aux changements océaniques (instabilité des hydrates de méthane en conditions de réchauffement, dégel du pergélisol, élévation du niveau des mers). Ces différents compartiments interagissent étroitement avec l'atmosphère, les grands cycles biogéochimiques et la biosphère. Il est difficile de dissocier ces compartiments les uns des autres et il est donc urgent de comprendre leurs interactions mutuelles si l'on veut être en

mesure de prévoir l'évolution du milieu arctique et ses impacts majeurs. Ces thématiques émergentes, qui impliquent un grand nombre de processus concomitants (continentaux, biologiques, sociétaux), suscitent un intérêt croissant au niveau international et doivent être encouragées au niveau national. L'INSU, en collaboration étroite avec les autres instituts du CNRS, offre un cadre approprié à ce type d'initiatives intégrées.

### **III.3 Structuration nationale et intégration internationale**

L'ancrage à l'international est fort en Arctique, en grande partie guidé par la nécessité (manque de moyens de terrain nationaux). Un effort de structuration doit être consenti au niveau national pour augmenter la lisibilité et l'ampleur de cette recherche. Des initiatives sont mises en place à l'international, tel SAON, encouragé par la conférence internationale de Monaco, à laquelle la France se doit de participer. Cette structuration par en haut ne doit cependant pas se faire au détriment du soutien aux initiatives personnelles qui constituent le socle des compétences de nos équipes de recherche et doivent pouvoir être intégrées dans des initiatives intégrées futures de plus large. La communauté scientifique est prête à réfléchir dans ce sens. Cette réflexion devrait pouvoir faire émerger des thématiques prioritaires pour des appels d'offres incitatifs à capacité structurante.

La mise en place de collaborations bilatérales avec les pays riverains (tel l'UMI du Québec) est à encourager moyennant qu'elle ne mette pas en péril un financement harmonieux des différents volets de la recherche par une concentration excessive de moyens pérennes. En ce sens, une harmonisation entre les initiatives des organismes de recherche (en charge de la politique scientifique, l'évaluation, la planification et la mise à disposition des moyens) et les opérateurs de programme tels que l'IPEV doit être envisagée.

### **III.4 Moyens d'accompagnement**

En régions polaires plus qu'ailleurs, les notions de structuration et de moyens sont intimement liées car l'accès difficile au terrain requiert un effort accru pour la mise en œuvre ou l'utilisation d'outils communs (plateformes, instrumentations dédiées). L'Arctique est avant tout un océan englacé. La logistique marine en milieu polaire doit donc tenir compte de cet englacement plus ou moins saisonnier. Avec les avancées technologiques et le renforcement des moyens d'observation autonomes et aéroportés, le dimensionnement des aspects logistiques doit être anticipé pour le futur. Un nombre croissant de plateformes instrumentées pour l'étude de l'atmosphère, de la glace et de la colonne d'eau sont développées au niveau national et international. La mise en place de ces plateformes et leur entretien requièrent des moyens logistiques spécifiques, faisant généralement appel à des navires polaires, à du soutien avion depuis la terre ou hélicoptère depuis un navire, ou à des ballons. Par ailleurs, un certain nombre de programmes sont opérés depuis les stations terrestres. L'accès aux plateformes polaires se fait via les plateformes nationales, par l'intermédiaire de collaborations avec des scientifiques étrangers ou d'actions bilatérales, et par des partenariats institutionnels (instituts de recherche, agences de moyens, opérateurs polaires).

#### Plateformes nationales

La mise à disposition d'un navire à capacité de glace de la flotte nationale est une priorité majeure pour un renforcement des activités françaises dans la zone arctique. La valeur ajoutée de cette solution est que les campagnes scientifiques pluridisciplinaires menées depuis un navire dont la France a la maîtrise ont un potentiel structurant évident. Un navire polaire à la fois ravitailleur et scientifique alternant ses activités dans les deux hémisphères d'été pourrait être une solution viable. Notons qu'au-delà de la communauté des scientifiques polaires, un navire à capacité polaire permettrait d'attirer vers l'Arctique des groupes de recherche non spécifiquement polaires.

L'accès aux moyens aéroportés reste crucial pour la caractérisation des processus atmosphériques. Ceci nécessite d'avoir accès à des avions capables de voler au delà de 75°N (Falcon-20, avions étrangers) et de stabiliser les moyens de mesures permettant de caractériser les propriétés des nuages et la composition en aérosols et gaz à effet de serre. Il est suggéré une étude sur l'opportunité d'utiliser les drones dans les régions arctiques.

Il serait souhaitable de réfléchir à l'évolution des bases IPEV au Svalbard dans ce cadre.

#### Collaborations avec des scientifiques étrangers et actions bilatérales

Cette voie donne accès à un nombre plus large de plateformes. Elle a été jusque maintenant développée préférentiellement avec des partenaires tels que l'Allemagne, la Russie, le Canada ou la Norvège. Un partenariat CNRS/IPEV-NSF vient d'être signé pour l'accès aux stations de deux pays. Cette solution implique néanmoins que la participation des scientifiques français reste limitée à des actions d'opportunités, le leadership et la visibilité internationale échéant généralement au pays tiers. De plus, elle nécessite une politique claire de financement de la part des institutions nationales complémentaire aux efforts de cofinancement de l'IPEV, passant par des lignes budgétaires bien identifiées et une évaluation des demandes de moyens par les mêmes comités évaluant les projets scientifiques et les programmes d'implémentation associés (LEFE, commission flotte et avions, ANR).

La création récente d'une UMI au Québec entre l'Université Laval et le CNRS-INSU ouvrira l'accès aux infrastructures canadiennes (notamment les bases et le brise-glace Amundsen) aux chercheurs français impliqués dans cette unité. Suite à la création de la base franco-allemande AWIPEV une bonne coopération existe entre l'IPEV et l'AWI. Cette collaboration facilite également aux chercheurs français l'accès aux plateformes de l'institut polaire AWI. La collaboration franco-russe autour du déploiement de moyens mobiles (avion, train) doit être poursuivie, par exemple, au travers de la constitution de LIA (Laboratoire international associé) ou de projets de recherches communs. Une poursuite de la collaboration franco-russe YAK-AEROSIB autour de l'avion Antonov-30 déployé en Sibérie serait précieuse pour la surveillance de l'évolution des sources boréales.

#### Partenariats institutionnels

La mise en place de partenariats institutionnels (instituts de recherche, agences de moyens, opérateurs polaires) a favorisé au niveau européen l'échange de temps pour les plateformes. Des programmes existent pour les bateaux (Eurofleet) et les avions (EUFAR). Ce type d'initiative semble limité par une programmation très contrainte et le bénéfice en ce qui concerne les régions polaires reste limité. Ainsi, l'accès aux navires polaires doit être élargi en impliquant des navires non exclusivement polaires et la programmation rendue plus visible à la communauté scientifique.

#### Réseaux sol et télédétection :

Les longues séries de mesures, source d'information essentielle pour caractériser la variabilité, doivent être maintenues et élargies à l'aide de réseaux d'instrumentation mouillée ou ancrée sur la glace, de réseaux sol (SAOZ-NDACC, RAMSES-ICOS) ou d'instruments embarqués sur satellite. L'effort de validation des mesures depuis l'espace doit être poursuivi, notamment en prenant en compte l'effet de la neige et en évaluant la continuité temporelle entre les instruments successivement mis en orbite (micro-ondes).

La mise en orbite de Cryosat-II permettra d'accéder à une connaissance globale du champ d'épaisseur de la glace de mer, paramètre essentiel pour décrire sa variabilité. Il est crucial d'encourager les initiatives terrain visant à valider ces mesures. Il faudra aussi développer des méthodes permettant la restitution de la dérive des glaces avec une couverture spatio-temporelle la plus complète possible. Tout aussi essentielle est la mise en œuvre de réseaux de

mesure terrain qui, associés à des mesures satellitaires de haute résolution, permettront d'accéder à l'estimation des taux de déformation et de valider les modèles de banquise.

### Modèles

Une évaluation rigoureuse et détaillée du climat Arctique des modèles globaux couplés français (IPSL-CM, CNRM-CM) n'est pas faite. Il est clair que les modèles couplés français souffrent au mieux des mêmes défauts que tous les modèles de climat, et ceci pour les mêmes raisons : insuffisance des données pour évaluer les modèles, compréhension insuffisante des processus, concentration historique sur les basses et moyennes latitudes. Le modèle à aire limitée MAR du LGGE est très bien positionné au niveau international pour les recherches sur le climat du Groenland, mais ces travaux sont effectués en Belgique.

Même dans les modèles locaux ou régionaux, l'état moyen et l'évolution récente de certaines composantes spécifiques du système climatique arctique restent difficiles à bien représenter : banquise, nuages, couche limite atmosphérique, transport et transformation des composés chimiques et cycles biogéochimiques. L'étude des interactions de ces composantes avec le climat global est ainsi limitée par les performances toute relatives des modèles en Arctique. Au nombre des actions prioritaires sur lesquelles doivent porter les efforts, on peut citer :

- L'incorporation des nouveaux modules dans les modèles pour améliorer la représentation des processus internes et aux interfaces des composantes, notamment les nuages de phase mixte, les processus de surface « polaires » (neige, gel du sol), et les couches limites stables.
- Une meilleure synergie observations-modèles pour aboutir à des protocoles de mesures dédiés visant à l'amélioration des modèles et à une interprétation optimale des données (par exemple une stratégie d'évolution et de validation des modèles de banquise et de leur couplage avec l'océan et l'atmosphère)
- Une amélioration de modèles globaux pour mieux représenter les interactions entre l'Arctique et les différents compartiments du système Terre (par exemple le couplage entre la calotte Groenlandaise et les autres compartiments du système climatique, l'extension verticale des modèles de Chimie-Climat, l'intégration des processus liés aux particules solaires)
- Une participation active à la stratégie internationale de validation des modèles en modes forcé et couplé en zone polaire, incluant les scénarios passés et futurs

### Moyens en personnel

*Renforcement du potentiel de recherche (chercheurs et IATOS)*

*Recrutement de nouvelles compétences*

*Profils de postes :*

#### **Profil « Représentation de processus polaires dans les modèles de climat »**

Les changements climatiques passés, l'actuel, et celui prévu pour les décennies à venir sont particulièrement forts en Arctique. Les processus d'amplification polaire du changement climatique ne sont pas très bien compris, et ils sont encore moins bien représentés dans les modèles de climat. Parmi ces aspects et processus, on peut nommer les nuages polaires, les couches limite stables, la glace de mer, et les propriétés de surface spécifiquement polaires (rôle prépondérant de la neige, gel du sol, etc.). Une expertise partielle sous certains des domaines mentionnés existe en France, mais ce potentiel humain n'est pas numériquement à la hauteur des enjeux.

### **III.5 Stratégie de financement**

Appels d'offres dédiés Arctique (ANR, INSU, LEFE) : forte valeur ajoutée pour la structuration