

Et les INCERTITUDES dans tout cela ?

Daniel MARTIN

“Prediction is very difficult,
especially about the future” (N. Bohr)

La question des incertitudes, associée à bon nombre des articles de cette publication, outre sa nécessité scientifique, intervient également en ce qu'elle est devenue une des composantes essentielles des débats sur le changement climatique et ses mesures d'atténuation ou d'adaptation. Cette question a fait l'objet d'un colloque spécifique de deux jours (13 et 14 juin 2012) organisé par le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) « Climat, Environnement, Société », l'association « Natures, Sciences, Sociétés – Dialogues » (NSS-Dialogues), et le ministère en charge du Développement durable (programme Gestion et Impacts du Changement Climatique – GICC). L'objectif de ce colloque était d'examiner la façon dont les incertitudes étaient appréhendées à différentes échelles de temps et d'espace et dans les différentes approches théoriques, méthodologiques et empiriques des recherches sur l'adaptation au changement climatique. La première journée du colloque était consacrée à « l'incertitude comme fait scientifique », et la seconde à « l'incertitude et la décision ». La représentation des incertitudes a été déclinée domaine par domaine, discipline par discipline, des projections climatiques aux impacts du changement climatique, en intégrant la complexité et les dynamiques des systèmes socioculturels.

Cet encart a pour objectifs de rappeler cette réalité de la prise en compte de l'incertitude dans les différentes approches liées au changement climatique et d'inviter le lecteur à consulter les présentations orales et numériques disponibles sur le site Internet (<http://gisclimat.fr>).

Dans un exposé introductif général, reprenant les données scientifiques majeures du problème, rappelant l'historique de l'accumulation des GES dans l'atmosphère, en mettant en évidence son accélération récente, Hervé Le Treut a rappelé que les incertitudes sont traitées explicitement dans les rapports du GIEC. Pour le GIEC, la difficulté est d'additionner des incertitudes de forme et de nature différentes (incertitudes liées aux modèles, incertitudes liées aux scénarios d'émission de GES), mais également de transmettre une information précisant à la fois les incertitudes (amplitude des changements aux échelles régionales, événements extrêmes) et les certitudes qui font consensus : augmentation brutale de la concentration

des GES après la Seconde Guerre mondiale, phénomène nouveau ne permettant qu'un regard rétrospectif limité, inertie du système climatique, structure du changement climatique caractérisée par le refroidissement de la stratosphère, fort impact sur les régions polaires, cohérence de ces observations avec les modélisations climatiques, rôle des activités humaines, poursuite du réchauffement global. H. Le Treut a également rappelé que malgré l'accroissement des connaissances, l'augmentation des observations et l'amélioration des modèles climatiques, la physique des processus reste cohérente depuis le début des rapports du GIEC.

Pour L. Terray, les sources d'incertitudes des modèles sont de natures différentes. L'incertitude peut être « épistémique », c'est-à-dire liée à nos connaissances ou/et à leur représentation imparfaite des processus (rétroactions des nuages par exemple), elle peut être « réflexive », c'est-à-dire que les activités humaines en sont à la fois la cause (augmentation des émissions de GES) et leur solution (atténuation ou/et adaptation). Enfin, l'incertitude dite « stochastique » est celle due à la variabilité intrinsèque du système climatique, et à son caractère chaotique. Elle induit donc une limite de prévisibilité. L'amélioration des connaissances devrait permettre de réduire les incertitudes épistémiques. Les incertitudes réflexives peuvent être contraintes par le choix de scénarios d'émission pertinents et évaluées à posteriori lors des différents exercices du GIEC. Enfin, la barrière de prévisibilité liée à la variabilité interne du climat et à ses manifestations à l'échelle régionale diffère suivant les régions, les saisons, les variables considérées et ne dépend pas linéairement de l'échelle spatiale. En conclusion, Laurent Terray précisait que les méthodes de descente d'échelle n'annihilent pas l'incertitude des modèles climatiques.

Eric Parent a rappelé deux **paradigmes probabilistes de l'incertitude** (deux interprétations concrètes d'une probabilité). D'une part, la conception « fréquentiste » fondée sur l'apprentissage et, d'autre part, la conception bayésienne fondée sur un pari d'occurrence. La probabilité fréquentielle est celle utilisée par les climatologues et les physiciens alors que la conception prédictive est d'avantage celle des économistes et des politiques. E. Parent a ensuite décrit

les méthodes mathématiques permettant de passer de l'une à l'autre.

Les incertitudes étaient également analysées sous l'angle des impacts sur l'hydrologie et les écosystèmes (F. Habets, P. Leadley). Concernant les écosystèmes, les incertitudes sur les modèles d'écosystèmes sont supérieures aux incertitudes des modèles climatiques. Par contre, pour l'hydrologie, les incertitudes liées aux conditions atmosphériques sont prépondérantes par rapport à celles liées aux processus physiques ou à l'anthropisation.

La quantification et la qualification des incertitudes par le GIEC ont évolué en fonction des différents rapports (Minh Ha-Duong). Une attention particulière est aujourd'hui portée sur la méthode d'attribution d'une incertitude à un résultat, cette méthodologie devant être identique pour les trois groupes du GIEC. Dans son cinquième rapport (AR5), le vocabulaire pour décrire l'incertitude, éprouvé et validé par les pairs, est harmonisé pour les trois groupes de travail. Les groupes d'auteurs doivent utiliser une norme commune mais adaptée à la spécialité du groupe.

L'ensemble des exposés de la première journée ouvrait les discussions sur la **décision dans l'incertain**, objet de la deuxième journée. Compte tenu du caractère discursif des sujets abordés, le lecteur intéressé est invité à consulter le site Internet du Gis-Climat.

Après l'introduction du sujet par Claude Henry, Francis Chateauraynaud a développé, dans un long exposé très documenté sur l'ensemble des enjeux liés aux risques technologiques et environnementaux, un point de vue sociologique sur le changement climatique, en 6 points :

1. Comment le dossier du climat implique les sociologues qui développent une sociologie des alertes et des controverses ?
2. Comment les acteurs vont gérer l'interdépendance croissante des sources de risques (ex : la mortalité des abeilles et les OGM, le nucléaire et le climat ; la polémique du climato-scepticisme ; les événements extrêmes, le climat et la biodiversité dans les zones côtières...) ?
3. La « matrice des futurs », qui implique diverses projections climatiques.
4. De la gestion des incertitudes à l'impératif d'adaptation : la puissance d'expression de la préparation à l'inéluctable (*preparedness*).
5. Comment interpréter les événements extrêmes (type Xynthia) en régime climatique variable ?
6. Vers une approche multiniveaux, multi-échelles conçue à partir des processus locaux (exercice en cours sur des aires marines protégées).

Il montre à l'aide d'un « modèle de balistique sociologique » utilisé lors des débats sur le nucléaire, les OGM, l'amiante, la vache folle, les pesticides, les ondes radioélectriques, comment ce modèle peut être appliqué au climat. Ce modèle fait apparaître le cheminement à travers lequel se forge la portée des

arguments et des causes collectives, au fil de longs processus de mobilisation non linéaires en plusieurs étapes (émergences, controverses, polémiques, mobilisation politique, normalisation ; rebondissements et résidus).

La façon dont les acteurs introduisent le climat dans des séries causales intéresse particulièrement le sociologue par rapport au dossier climat (par ex. le nucléaire et les événements extrêmes – Allons-nous vers une augmentation des phénomènes météorologiques extrêmes, des vagues de chaleur de plus en plus longues en Europe, des précipitations diluviennes, des catastrophes naturelles en série... dues au réchauffement climatique ?). La discussion pointe alors la différence entre la détection et l'attribution des événements extrêmes (quelle est la forme de la preuve ?).

La « matrice des futurs » analyse les prises de décisions en fonction de l'échéance temporelle, des risques, des coûts et de la réversibilité de la mesure, avec un éventail de réponses allant de l'urgence à la prophétie (urgence, attente, anticipation, prévision, prospective, promesse, prophétie).

Dans la perspective d'une sociologie pragmatique, s'impose l'examen du raisonnement par les conséquences, qui peut être de deux types. Un premier type de conséquentialisme, avec un processus de conséquences dans lequel la liste des conséquences est établie et rendue calculable. Un second type de conséquentialisme, dans lequel les conséquences se découvrent au fur et à mesure – ce qui n'avait pas été prévu déclenche des enchaînements non couverts par le raisonnement et des événements qui se produisent sans avoir pu être connus et anticipés (par ex. Fukushima). De nouvelles vulnérabilités peuvent ainsi être créées, mais aussi de nouvelles opportunités.

Concernant l'incertitude dans l'adaptation, trois formes d'usage de l'incertitude se dégagent des jeux d'acteurs et d'arguments étudiés :

- l'inquiétude (qui est autant une source d'émotion qu'un ressort pour l'action) ;
- l'incomplétude liée aux formes de calcul et de marges d'erreur, aux rapports entre données et modèles, entre dispositifs et usages ;
- l'indétermination ou incertitude radicale, qui marque à la fois l'ouverture des futurs et la séparation ou la divergence des projets – ou l'absence de projet de transformation.

La production d'incertitudes pour briser un consensus ou discréditer des travaux est une stratégie souvent utilisée, et le climato-scepticisme en est une des manifestations les plus visibles aujourd'hui.

Un exemple de recherche **sur l'adaptation des villes** aux changements climatiques intitulé *Changements Climatiques et Trames Vertes urbaines (CCTV)* a été présenté par Anne Sourdril et Philippe Boudes. Cette thématique, la végétalisation des villes, notamment *via* les trames vertes, est un enjeu majeur aujourd'hui pour la conservation de la biodiversité, le

bien-être humain mais aussi pour le climat. Les programmes CCTV ont comme objectif l'analyse socio-économique de la végétalisation des villes et la définition du lien entre végétation et adaptation des villes au changement climatique. La méthodologie utilise, d'une part, une analyse bibliométrique quantifiant l'augmentation du volume d'articles publiés relatifs à la question villes/trames vertes et au climat (programme CCTV1), d'autre part, le programme développe deux études de cas à Paris/Ile de France et à Strasbourg (CCTV2, actuellement en cours). Ces travaux mobilisent des programmes et des méthodes pluridisciplinaires : sociologie, géographie, économie, sciences politiques, écologie et climatologie. Les résultats montrent des liens croissants entre trame verte et climat dans la littérature scientifique, et des difficultés à reconnaître les interactions végétation-climat aux niveaux individuels et politiques à travers une végétation urbaine multifonctionnelle. Les auteurs montrent les trois dimensions de la relation climat-trame verte : 1. C'est un processus social, une réflexion politique (villes durables, écohabitats, nature en ville) et une réalité socioculturelle ; 2. La relation climat-trame verte est un outil d'aménagement urbain multifonctionnel (services écosystémiques, production culturelle, culture vivrière, climat) ; enfin 3. La relation climat-trame verte est une réalité scientifique (îlot de chaleur urbain et végétation, effets généraux des arbres sur le climat, rôle de l'évapotranspiration sur les températures, effet sur le ruissellement des eaux, incidence sur la pollution).

Ces travaux montrent l'intérêt croissant des chercheurs pour ces thématiques. Ils n'esquivent pas les limites de l'exercice puisque la végétation urbaine peut générer également des problèmes : production d'ozone, diffusion de pollens, et elle subira, elle aussi, les impacts des évolutions climatiques à venir.

Stéphane Hallegatte a ensuite montré comment les incertitudes sont prises en compte dans les **politiques d'adaptation** et a proposé un mode de décision robuste face aux incertitudes, reposant sur la révision des scénarios au fil du temps, mettant l'accent sur les très grandes difficultés que soulève la prévision. La réflexion prend appui sur les grands projets de la Banque Mondiale, la « gestion de l'eau » (les grands barrages) et l'urbanisation. La question posée n'est pas investir ou pas, mais investir maintenant ou plus tard, quand on dispose de davantage d'informations. Une fois la décision prise (pour de gros investissements), on ne peut plus revenir en arrière. Les appréhensions du futur sont en général très conservatrices et liées au présent, quand sont considérées l'évolution du climat, l'évolution des technologies et les préférences sociales (évolution des valeurs). De plus, le rôle de la variabilité naturelle est important pour la prise de décision, et elle est difficile à anticiper. Enfin, S. Hallegatte montre que s'il existe des incertitudes inhérentes au climat, les incertitudes socio-économiques sont telles qu'il est bien difficile de faire des prévisions. À titre d'exemple, il montre que les émissions de CO₂ dues aux transports en Ile-de-France à l'horizon 2100 pourraient varier d'un fac-

teur 4 en fonction de différents scénarios technico-économiques. D'où la difficulté à élaborer un plan... L'objectif est bien de fonder la robustesse sur la possibilité de révisions. Un point important de la méthode est la définition préalable de ce qui constituera un succès ou un échec. Il s'agira ensuite de coupler la méthode retenue pour la prise de décision et la prise de décision elle-même. En France, cette approche est difficile à mettre en œuvre, elle est perçue comme une remise en cause de la légitimité du décideur par rapport à l'expert. En fait, S. Hallegatte explique que la limite entre expert et décideur n'est plus étanche. Comment créer cette compétence intermédiaire ? Un travail institutionnel reste à faire. La relation entre le chercheur (recherche plus pertinente) et le décideur doit être gagnant-gagnant, sachant que les échelles de temps de la science et du politique ne sont pas les mêmes.

Le point de vue du décideur est présenté par Sylvain Mondon de l'ONERC. Il rappelle les missions de l'ONERC, le contexte français de l'adaptation, de sa gouvernance, de la planification nationale régionale, territoriale, de la stratégie européenne et des actions volontaires (agenda 21, collectifs, particuliers...). Le décideur doit répondre à une question précise et claire : « Comment adapter le territoire au changement climatique ? ». Pour cela, il doit faire appréhender par les acteurs la complexité de l'action, expliciter les connaissances robustes, caractériser les incertitudes et proposer un cadre méthodologique. Les actions planifiées sont de nature très différente (développement de connaissances et de méthodes, transfert des connaissances, étude des vulnérabilités, information, communication, formation, éducation, investissements sans regret...). Le décideur doit également tenir compte du contexte de la prise de décision, c'est-à-dire de l'opinion publique, de la situation économique plus préoccupante aujourd'hui que l'adaptation au changement climatique, de l'évolution démographique, de l'offre de transport et de logement analysée dans un territoire, de l'attractivité du territoire, de la compétitivité d'une filière. Le politique doit être attentif à ce que les incertitudes ne soient pas prétextes à l'inaction. Il doit lutter contre l'usage simpliste des informations scientifiques. La projection climatique doit être accompagnée de l'expertise scientifique. Il doit veiller à ce qu'il n'y ait pas de transfert de vulnérabilité entre régions, entre groupes sociaux ou entre filières... Enfin, l'adaptation est un processus itératif (adaptation adaptative) et continu. En conclusion, le financement des investissements reste la grande question des politiques et surtout, le fait que les efforts de réduction des émissions de GES restent prioritaires.

La production d'électricité, secteur économique particulièrement sensible aux changements climatiques, est présentée par Jean-Yves Caneill (EDF). Après avoir rappelé les enjeux d'EDF en France, en Europe et dans le monde (19 centrales nucléaires, 58 réacteurs, 30 unités thermiques, 450 unités hydrauliques, fermes éoliennes, centrales solaires et réseaux EDF), il note que toutes les activités du sec-

teur électrique peuvent être concernées par le changement climatique : l'offre et la demande sont sensibles aux aléas climatiques. La demande peut dépendre de la température (chauffage), de la nébulosité (éclairage) ; les réseaux de distribution peuvent être sensibles aux orages, aux conditions de gel, à la qualité de la neige, au vent ; la production est impactée par la neige et la pluie (régime des rivières), la température de la source froide des centrales thermiques (charbon, gaz, nucléaire) ; les énergies renouvelables (solaire, vent) sont très dépendantes de la météorologie.

Ainsi, tous les cycles de décisions sont concernés (prévision de la gestion du parc installé, du jour – 1 à 3-5 ans !) par la conception des nouvelles installations de production électrique à moyen et long termes (supérieurs à 40 ans). Les décisions s'appuient sur deux concepts importants : la résistance et la résilience. La résistance est la capacité des installations à résister à un aléa climatique. Les décisions se fondent alors sur des approches statistiques, sur la connaissance historique et sur la capacité de prévision. La résilience est la capacité des équipes opérationnelles à faire face en temps réel à des événements extraordinaires pour permettre de garantir la sûreté des installations et des équipements ainsi que les services vitaux aux clients pour revenir à une situation normale dans les plus brefs délais.

EDF a dû faire face à de nombreuses « crises climatiques (météorologiques !) ». Ainsi le réseau de distribution a été impacté par les tempêtes Lothar & Martin (décembre 1999), Xynthia (2010), par les inondations du Sud de la France (2002) et par l'épisode de neige collante de 2002 également. La production d'électricité, quant à elle, a été touchée par les inondations du Sud-Est de la France, et indirectement par les canicules de 2003 et 2006 (ressource en eau ; température élevée de l'air ; température élevée de l'eau des rivières...). À la suite de ces crises, EDF procède à des retours d'expérience et met en place des actions pour améliorer la résistance (ex : décision de transformer certaines lignes aériennes en lignes souterraines ; décision d'investir pour certaines centrales dans le relèvement de digues pour augmenter la résistance aux inondations...). Pour accroître la résilience, des décisions ont été prises : création de la FIRE (Force d'Intervention sur les Réseaux Électriques), construction dans les îles (DOM) de fermes éoliennes dont les éléments peuvent être couchés au sol en cas de cyclones, création de la FARN (Force d'intervention pour les réacteurs nucléaires) pour faire face à des événements anormaux. Pour tout cela, **une collaboration entre les autorités locales et les autorités de sûreté nucléaire est nécessaire.**

Enfin, EDF anticipe chaque année la gestion de l'eau et la régulation thermique. Un groupe permanent a été créé depuis plusieurs années impliquant EDF et les autorités administratives pour examiner sur une base régulière les questions liées à l'eau, au refroidissement des centrales, et prendre les mesures nécessaires pour anticiper un épisode caniculaire.

L'ensemble de ces dispositifs doit permettre à EDF de s'adapter à la demande de régulation thermique. Caneil souligne en conclusion la nécessaire coopération public/privé et le besoin d'anticipation, et interroge sur les futurs équilibres entre résistance et résilience et sur les régulations de demain.

Marie Gantois, division Climat Énergies, Ville de Paris, apporte un témoignage sur l'effort d'adaptation d'une collectivité territoriale. Elle décrit le plan climat de la ville de Paris (2007) dont l'un des objectifs est la végétalisation avec une étude de la vulnérabilité de Paris (en cours) face au changement climatique, à la raréfaction des ressources énergétiques et de l'eau et à la diminution de la diversité biologique... Il s'agit d'obtenir un diagnostic des enjeux pour Paris (population, territoire, ressources, activités), de préparer la stratégie d'adaptation de Paris dans le cadre de la révision du Plan Climat, d'initier la réflexion et de mobiliser différents acteurs pour mettre en place cette stratégie. Le problème qui est posé à la Ville de Paris consiste à passer de l'analyse des vulnérabilités et des opportunités à une stratégie et à un plan d'actions en termes d'adaptation. M. Gantois rappelle les « certitudes climatiques » de Paris : canicule 2003, vagues de froid, inondations (1982), fortes pluies/orages, tempêtes (1999). Il existe des plans contre ces risques (plan canicule, urgence hivernale, risques inondations) mais comment prendre en compte l'évolution de l'aléa en fonction d'un changement du climat ? Comment également prendre en compte le climat « moyen » en termes de santé, d'activités économiques, de tourisme, de consommation d'énergie... et comment le changement climatique peut-il agir sur la raréfaction des ressources. Comment imaginer des futurs non anxigènes ? Les réponses sont apportées par les résultats de programmes de recherche (GICC, IPCC), ou de projets de recherche aboutis ou en cours (EPICEA, -RExHySS, CLIMSEC, CLIM2, SCAMPEI). Elle souligne également le besoin de résultats de recherche suffisamment vulgarisés pour être compréhensibles par les décideurs, et disponibles plus rapidement (pas dans 3 ans !). Elle pointe les différentes incertitudes qui doivent être prises en compte par le décideur (évolutions climatiques globales et locales, raréfaction de ressources associées, vulnérabilités et opportunités futures, efficacité des mesures d'adaptation, mais aussi leur coût et leur temps de mise en œuvre... sans oublier le côté « sans regret » des mesures). Le décideur doit tenir compte du non-antagonisme avec des mesures d'atténuation (isolation des crèches vs. augmentation de la température). Il doit être attentif sur la meilleure manière de communiquer pour ne pas brouiller les messages et agir avec cependant la nécessité de le faire au plus vite.

Les conclusions du séminaire ont été délivrées lors d'une table ronde qui réunissait Marie Gantois, division Climat Énergies, Ville de Paris, Stéphane Hallegatte, (CIRED), Sylvain Mondon, (ONERC), Laurent Terray, (CERFACS) et Paul Watkinson, Secrétariat Général/Direction des affaires européennes et internationales du MEDDE. Le panel tentait de

répondre à la question : « Comment améliorer les connexions des sciences qui sont au croisement de discours entre "biotechniques", sciences humaines et sociales, économies, institutions et entreprises ? ». En fait, les intervenants ont posé d'autres interrogations...

Après avoir rappelé que l'adaptation est un processus dynamique qui doit tenir compte des progrès et des opportunités, L. Terray déclarait qu'il faut aller au-delà et mettre en place des lieux de co-construction, de travail régulier sur la longue durée (sur le modèle des agences de l'eau). Il signalait d'autres problèmes globaux comme, par exemple, la politique de l'eau et ce qu'elle sera en 2050.

P. Watkinson a précisé pourquoi l'adaptation fait partie des négociations internationales sur le climat. La priorité reste bien la diminution des émissions de GES, mais 20 pays sur les 200 que compte la communauté internationale sont responsables de 90 % des émissions mondiales. La plupart des pays émettent donc peu, mais tous sont impactés. Introduire l'adaptation dans le débat politique est devenu une exigence. Il souligne le besoin d'informations partagées mais aussi l'hétérogénéité des capacités selon les pays. L'OMM développe des services climatologiques afin de fournir aux acteurs écono-

miques des PED des informations utiles. Il pose la question des financements, de la mobilisation des ressources supplémentaires et le besoin de renforcement des institutions dans ces pays.

La question des « frontières » du changement climatique est posée par S. Hallegatte. Comment cette problématique interagit-elle avec d'autres thèmes comme l'agriculture, les risques... ? Il souligne les conflits entre acteurs « gestions du risques » et ceux du climat. Comment maintenir la cohérence des ressources entre opérationnel et recherche ? Comment développer les infrastructures (en Afrique, par ex.) sans que cela n'apparaisse comme un soutien au développement ? Plus localement, M. Gantois pose la question des enjeux prioritaires (îlot de chaleur ou risque d'inondations, par exemple) et donc quelle gouvernance et qui coordonne ?

Le mot de la fin revient à la salle, qui exprime un paradoxe :

« L'adaptation se fera au niveau local, mais c'est là où les incertitudes sont les plus grandes ! Au niveau local, on agit à la suite d'événements et de manière empirique. Le pragmatisme local mobilise tous les acteurs et n'a pas besoin d'incertitudes pour agir ».

À méditer...

