

La modification de la météo en France : le cas de l'ensemencement des nuages

Marine de Guglielmo Weber*

@ 12458

Mots-clés : climat, innovation, technologies, modification de la météo, ensemencement des nuages

Cet article restitue en partie les résultats d'une thèse de doctorat réalisée sur les pratiques françaises de modification de la météo par ensemencement des nuages. À l'interface de l'histoire des sciences et des sciences de l'information et de la communication, ce travail de recherche identifie les acteurs impliqués dans ces pratiques, explore la manière dont ils interviennent sur notre environnement naturel et leurs motivations. Une attention particulière est accordée aux outils et instruments techniques qu'ils utilisent, avec pour objectif d'étudier leur culture symbolique et matérielle, et de voir dans quelle mesure celle-ci s'articule à des stratégies de légitimation et de promotion d'une climatisation technique de l'atmosphère.

Des chercheurs comme Amy Dahan ou Stefan Aykut ont popularisé l'expression « climatisation du monde », en référence au processus par lequel la question climatique infuse et restructure toutes les sphères sociales [Dahan, 2018 ; Aykut, 2020]. Si l'expression prend initialement un sens géopolitique — il s'agit d'analyser la manière dont le dérèglement climatique, en tant que problème global, imprègne progressivement le traitement d'autres questions dans les arènes de négociations internationales —, un sens technique peut également lui être attribué : la mise en place ou le renforcement de dispositifs techniques destinés à maintenir des conditions atmosphériques et météorologiques viables. Les projets de géo-ingénierie, c'est-à-dire de modification délibérée de l'environnement à grande échelle afin de réguler techniquement la température planétaire ou le taux de carbone dans l'atmosphère, participent directement de cette climatisation technique. Celle-ci tire profit, et participe tout à la fois de l'échec de la climatisation politique : l'inexistence

de mesures tangibles et efficaces d'atténuation des changements climatiques constitue un motif et un argument pour les promoteurs des techniques de géo-ingénierie [Gouzouazi, 2021] ; par ailleurs, la possibilité d'un développement futur de solutions techniques constitue un motif et un argument pour tempérer les mesures politiques d'atténuation des changements climatiques, et préserver les intérêts économiques liés aux industries extractivistes¹.

L'idée d'une transformation délibérée des conditions atmosphériques n'est pas neuve. Elle est présentée par certains historiens comme une constante historique [Changnon & Ivens, 1981], observée durant l'Antiquité [Oddie, 1965] comme au cours des derniers siècles de l'histoire européenne. Des pratiques de déforestation à des fins de régulation des températures ont par exemple pu être étudiées au xvii^e siècle [Fressoz & Locher, 2015], comme des pratiques de lutte anti-grêle par l'utilisation de cloches dès le viii^e siècle [Oddie, 1965, p. 154]. À partir de la seconde moitié du

*IRSEM.

xx^e siècle, la volonté de modifier la météo se voit transformée par l'expansion des sciences atmosphériques, et se concrétise par des projets états-unis et soviétiques de recherche militaire dans le contexte de la guerre froide [Edwards, 2012]. Il est alors question d'influencer les précipitations, les brouillards ou les ouragans à des fins offensives et tactiques, ce jusqu'à la fin des années 1970, qui signe le désaveu politique des pratiques militaires de modification de l'environnement [Fleming, 2006]. La foi dans le progrès technique et dans la capacité des sociétés humaines à contrôler les conditions météorologiques, cultivée jusqu'alors dans un contexte hautement militarisé, va être réinvestie dans deux champs de recherche civile : la modification du climat à visée corrective, ce en quête d'une solution technique au problème climatique, et la modification chimique des conditions météorologiques à des fins agricoles.

En France, la modification de la météo renvoie à des siècles de pratiques mises en place dans les milieux agricoles pour protéger les cultures des chutes de grêle : cloches, canons, fusées, générateurs et ballons sont autant d'outils conçus et utilisés pour exercer une influence sur les conditions météorologiques. Bien qu'elles aient ponctuellement cherché à augmenter les chutes de pluie ou les chutes de neige, la lutte anti-grêle reste le motif principal des pratiques de modification de la météo observées depuis le xix^e siècle. À l'heure actuelle, dans les milieux agricoles français, des canons à ondes sonores coexistent avec des générateurs (ou brûleurs) et des ballons anti-grêle. L'ensemble de ces outils de lutte anti-grêle font l'objet de controverses liées à des perceptions divergentes de leurs conséquences sur les conditions atmosphériques. Les canons à ondes sonores, par exemple, sont régulièrement accusés d'« empêcher la pluie de tomber » [France Info, 2023]. Dans cet article, nous nous concentrons sur les pratiques de modification de la météo qui se fondent sur l'usage de générateurs et de ballons, ceux-ci étant utilisés pour la diffusion de solutions chimiques dans les nuages. De fait, les pratiques de lutte anti-grêle par diffusion de solutions chimiques sont à ce jour les plus répandues en France, et sont, par ailleurs, directement

issues des efforts de recherche et d'expérimentation menés durant la seconde moitié du xx^e siècle.

Le procédé auquel ces efforts ont abouti, appelé « ensemencement des nuages » (*cloud seeding*), mobilise un certain nombre de programmes de recherche scientifique dans le monde sous l'égide de la Weather Modification Association. Il ne fait pas seulement l'objet d'expérimentations scientifiques, mais est aussi à la croisée d'initiatives politiques, économiques et commerciales, qui s'accompagnent de stratégies de promotion de l'intervention sur les conditions météorologiques. En France, les deux principales structures pratiquant l'ensemencement des nuages témoignent de la diversité des initiatives : une association loi 1901 pratiquant l'ensemencement des nuages parallèlement à des activités de recherche en sciences atmosphériques — l'Association nationale d'études et de lutte contre les fléaux atmosphériques (Anelfa) — et une entreprise commercialisant des équipements d'ensemencement des nuages parallèlement à des équipements de prévision et de surveillance atmosphérique — Selerys.

Cet article restitue en partie les résultats d'une thèse de doctorat réalisée sur ces acteurs français et leurs pratiques de modification de la météo [de Guglielmo Weber, 2023], qui n'ont jusqu'à présent pas fait l'objet de travaux de recherche en sciences humaines et sociales. À l'interface de l'histoire des sciences et des sciences de l'information et de la communication, cette thèse a de fait été l'occasion de se poser les questions suivantes : quels acteurs sont impliqués dans des pratiques d'ensemencement des nuages en France, dans quelle mesure interviennent-ils sur notre environnement naturel, et à quelles fins ? Qu'est-ce qui est, concrètement, modifié, dans le cadre de quelles institutions, et avec quels outils ? Et enfin, dans quelle mesure ces pratiques s'intègrent-elles à une certaine culture symbolique et technique, elle-même articulée à des stratégies de légitimation et de promotion d'une climatisation technique de l'atmosphère² ?

1. L'Anelfa et les sciences atmosphériques au service de la « lutte anti-grêle »

C'est en 1951 que commence l'histoire de l'Anelfa en France avec la lecture, par le physicien Henri Dessens, des travaux de Vincent Schaefer, Irving Langmuir, et Bernard Vonnegut, les pionniers états-uniens de l'ensemencement des nuages. Concrètement, ce procédé consiste à multiplier artificiellement les cristaux de glace dans les nuages, ce qui aurait pour conséquence de diminuer la taille des grêlons : « La grêle destructrice est la conséquence du stockage de grandes quantités d'eau surfondue dans le nuage orageux, et du risque de capture de cette eau par un nombre d'éléments glacés assez restreint pour permettre une croissance dangereuse de chacun de ces éléments. [...] D'après ces observations, Dessens a émis l'hypothèse que les noyaux glaçogènes naturels peuvent produire des grêlons, mais qu'ils ne sont pas assez nombreux pour empêcher la grêle. Son idée pour la prévention de la grêle était d'ajouter des noyaux glaçogènes artificiels au moyen d'émissions intenses de noyaux d'iodure d'argent en dessous des nuages » [Dessens et al., 2016, p. 7].

Ainsi, en ajoutant des noyaux glaçogènes à l'intérieur du nuage par le biais d'un produit dont la structure est similaire à la structure naturelle de la glace (dans le cas présent, de l'iodure d'argent), on induit une atténuation de la croissance des noyaux. Les gouttelettes d'eau à l'intérieur du nuage disposent d'un nombre plus grand de noyaux sur lesquels se répartir, et forment par conséquent une multitude de petits cristaux de glace. Le nombre de grêlons est supérieur, mais leur taille est inférieure, ce qui rend leur chute moins destructrice et augmente leurs chances de fondre tout à fait avant de toucher le sol. Ce principe, dit de « compétition bénéfique » (*beneficial competition*), est devenu le principe fondamental de toute activité d'ensemencement des nuages à l'échelle internationale, et se voit, depuis la mise en place des premiers programmes de suppression de la grêle dans les années 1970, cité de manière régulière dans les publications scientifiques sur le sujet³. On le retrouve également

dans les rapports de l'Organisation météorologique mondiale, notamment dans un rapport datant de l'année 1996 et issu d'un meeting d'experts, qui en a fait le premier des six principes fondamentaux de l'ensemencement des nuages [OMM, 1996]⁴. Il est intéressant de noter la dimension biologique de la terminologie employée. Le concept de compétition, fortement investi de la biologie darwinienne et du libéralisme économique dont elle a fourni le fondement naturel [Pichot, 2009], vient attribuer aux noyaux glaçogènes une certaine forme d'intentionnalité, ou *a minima*, d'élan vital, comme s'ils se disputaient l'accès à l'eau et cherchaient à favoriser leur croissance aux dépens de celle des autres. De même, l'expression « ensemencement des nuages » présente une consonance biologique et laudative : il s'agit ici de fertiliser les nuages, littéralement, de leur donner de la semence.

Lorsqu'il découvre les travaux menés aux États-Unis sur ce sujet, Henri Dessens est alors directeur de l'Observatoire du Puy de Dôme — ou Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC), qui dépend du Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et de l'Université Clermont-Auvergne, et qui comprend notamment trois stations de mesures météorologiques. Avec l'espoir d'utiliser le procédé d'ensemencement des nuages pour protéger les cultures françaises de la grêle, il fonde l'Association régionale d'étude et de lutte contre les fléaux atmosphériques, plus connue sous son acronyme Arelfa, s'inscrivant par ailleurs dans une culture locale de l'expertise météorologique : Toulouse accueille alors une partie des services de Météo-France — les services centraux de prévision, de climatologie et d'informatique, ainsi que l'École nationale de la météorologie et le Centre national de recherches météorologiques. Toulouse est également la capitale européenne de l'industrie aéronautique et spatiale, par exemple marquée par les sites industriels d'Airbus. Cette culture météorologique et aéronautique coexiste avec un ancrage très fort de l'agriculture, et notamment de la viticulture.

En 1952, l'Arelfa mène sa première « campagne » de « lutte anti-grêle » à l'échelle de treize départements du Sud-Ouest, qu'elle équipe de

générateurs d'iodure d'argent : des cheminées diffusant sa solution à base d'iodure d'argent à l'air libre à partir de la combustion d'acétone. Aujourd'hui nationale — et devenue l'Anelfa en 1978 —, cette coopérative d'agriculteurs est présente dans vingt-cinq départements. Chaque année, du mois d'avril au mois d'octobre, elle y mène une « campagne anti-grêle »⁵ par le biais de générateurs au sol qu'elle installe chez des agriculteurs bénévoles. Malgré la forte expertise aéronautique locale, l'association ne pratique pas l'ensemencement par avion pour des raisons économiques. Outre la coordination de ces réseaux d'agriculteurs, l'Anelfa poursuit une activité de recherche scientifique en physique des nuages, au sein du Centre de recherches atmosphériques de Lannemezan. La « lutte anti-grêle », telle que pratiquée par l'Anelfa, place ainsi l'ensemencement des nuages à l'intersection de deux mondes sociaux et professionnels : d'une part, la physique des nuages ; de l'autre, l'agriculture française.

Sur le plan organisationnel, l'Anelfa se structure en réseau dès les années 1950, bien avant que cette organisation connaisse un usage extensif à partir de la fin des années 1990⁶. Cela s'explique avant tout par la nature de ses usagers et bénévoles : des agriculteurs adhérant à des coopératives — aucun agriculteur ne peut rejoindre l'association individuellement. Ce modèle de la coopérative, issu de la révolution industrielle et du mouvement associationniste du XIX^e siècle [Ferraton, 2007], présente des racines anticapitalistes notamment fondées sur le contrôle démocratique, l'adhésion libre, et l'intérêt limité au capital [Saïssset, 2016]. L'Anelfa est donc une association scientifique, fonctionnant en réseaux de bénévoles eux-mêmes organisés en coopératives, et rassemblés par l'intérêt commun suivant : la modification de la météo à des fins de lutte anti-grêle. L'idéal de rigueur scientifique se mêle à l'idéal du modèle associatif, dans le cadre d'une conception globalisante des phénomènes météorologiques : l'orage ne peut être combattu à l'échelle locale du terrain agricole.

La thèse selon laquelle le caractère collectif de la lutte anti-grêle garantit son efficacité est présente dès les premiers rapports d'activité de

l'Anelfa : plus les réseaux sont denses, et plus ils sont nombreux, plus l'efficacité de l'action est grande. Néanmoins, à partir des années 2010, l'Anelfa va affirmer, de plus en plus régulièrement, l'inefficacité de toute intervention ne reposant pas sur ce modèle associatif : « Bien sûr un traitement ponctuel de la part de celui qui veut se protéger serait plus “vendeur” mais il ne correspondrait pas à la réalité physique de la formation de la grêle qui commande une action précoce et coordonnée à l'échelle des orages » [Anelfa, 2019, p. 1]. Ici, on relèvera une référence explicite au modèle individualiste proposé par l'entreprise Selerys, sur lequel nous nous pencherons dans la deuxième partie de cet article.

Parallèlement à la lutte anti-grêle menée sur le terrain par les agriculteurs bénévoles, les responsables scientifiques de l'association mènent leurs recherches au Centre de recherches atmosphériques de Lannemezan, dans le domaine de la physique théorique et expérimentale des nuages. L'Anelfa est non seulement impliquée dans la production de théories scientifiques visant à modéliser, *a priori*, le système de lutte anti-grêle optimal, mais elle est également impliquée dans la gestion matérielle et technique de ce système, de son installation et de sa maintenance. L'Anelfa contrôle de bout en bout le processus de production des savoirs liés à la lutte anti-grêle, et des moyens et dispositifs de leur application et de leur réactualisation.

Une fois la campagne anti-grêle terminée, l'Anelfa intervient à nouveau pour mesurer l'efficacité du matériel. Le système technique qu'elle a mis en place devient lui-même, *a posteriori*, l'objet d'un nouveau cycle de théorisation qui donnera lieu à une optimisation technique ultérieure. Or, l'évaluation de son efficacité est particulièrement délicate, puisqu'il s'agit, concrètement, de mesurer l'effectivité d'une action humaine sur la météorologie à l'échelle départementale ou régionale. Cette difficulté, Jean Dessens (qui a pris la succession de son père à la responsabilité scientifique de l'association) et ses collaborateurs la formulent explicitement : « Comme pour les autres activités de modification du temps, la principale difficulté d'un programme de suppression de la

grêle est l'évaluation des résultats» [Dessens et al., 2016, p. 2]. Quels que soient les phénomènes atmosphériques constatés, il demeure difficile, à cette échelle, de déterminer clairement ce qui relève de l'action humaine, et ce qui relève de la variabilité naturelle des phénomènes atmosphériques. C'est ce qui pousse l'ethnologue Jean-Louis Brodu à parler, concernant les pratiques de l'ensemencement des nuages, de pratiques «parascientifiques», c'est-à-dire d'actes dont on n'arrive pas à dissocier l'aspect efficace de l'aspect rituel» [Brodu, 2000, p. 137].

Au cours de l'histoire de l'Anelfa, deux méthodes différentes visant à établir l'efficacité de son action se sont succédées. D'abord, l'examen des données des assurances agricoles. L'Anelfa s'est appuyée, jusqu'en 1986, sur les données économiques transmises par le Pool Grêle Concorde, qui était le correspondant français de l'Association internationale des assureurs contre la grêle (AIAG). Celui-ci transmettait à l'Anelfa les pourcentages annuels de pertes aux récoltes dues à la grêle dans trois zones différentes : la «zone cible» où les générateurs de l'Anelfa étaient actifs; la «zone tampon» qui était une «zone non traitée située sous le vent»; et enfin la «zone contrôle» qui désignait le reste de la France. «Ces données économiques ont montré que les pertes aux récoltes étaient diminuées de 41 % dans les départements disposant de réseaux de générateurs» [Anelfa, 2018]. L'association corrélait par conséquent cette efficacité à des paramètres sociaux et économiques : moins les agriculteurs essuyaient de pertes, plus l'association pouvait estimer que son système fonctionnait, c'est-à-dire qu'elle parvenait à réduire significativement la taille des grêlons — puisque l'Anelfa associe toujours la taille des grêlons aux dégâts qu'ils occasionnent. En ce sens, l'estimation de l'efficacité du système prenait, pour fondement premier, la situation sociale et économique des agriculteurs.

À partir de 1986, l'association a ressenti le besoin de «remplacer les données économiques par des données physiques» [Dessens et al., 2009, p. 11], ce qui conduit à la mise en place d'un réseau de grêlimètres, qui vient alors doubler le réseau national de générateurs au sol. Ce réseau

est un élément central de la culture matérielle de l'Anelfa, et le sens dont il est porteur va exercer un effet structurant sur les pratiques de ses responsables et la manière dont ils se représentent l'aléa météorologique. Il s'agit d'un réseau de plaques de polystyrène de 30 x 40 cm, installées sur des piquets métalliques, qui permettent, une fois analysées, d'estimer les chutes de grêle sur une zone et une durée données. Le développement de ce réseau de grêlimétrie, à partir de 1988, va avoir pour effet d'évacuer la situation sociale et économique des agriculteurs du champ de l'évaluation de l'efficacité des pratiques d'ensemencement. Celle-ci fait toujours office de motif et d'objectif pour le système anti-grêle, jouant par là un rôle primordial dans les discours de légitimation dont il fait l'objet, mais elle n'est plus directement impliquée dans l'évaluation de ses résultats. Avec le système de mesure grêlimétrique, il ne s'agit plus d'observer les dégâts économiques et sociaux de la chute de grêle sur la situation de l'agriculteur, mais de matérialiser les dégâts physiques de la chute de grêle sur la culture elle-même. Les plaques deviennent par la suite le support d'un calcul automatisé, identifiant le nombre de grêlons et leur taille, deux variantes qui vont devenir les critères principaux de l'évaluation de l'efficacité de l'association. À partir des années 2000, l'association va ensuite remplacer le comptage du nombre de grêlons par le calcul de leur énergie cinétique [Dessens et al., 2009]. Sur la base de ces techniques, l'Anelfa de conclure : «les générateurs au sol, s'ils sont mis en fonctionnement dans les zones et les délais recommandés, diminuent de moitié les dommages par la grêle. [...] Compte tenu de la grande variabilité des phénomènes météorologiques, on peut dire que le degré de confiance de cette conclusion est analogue à celui qui conduit à l'évidence du réchauffement climatique» [Anelfa, 2018].

Attention, les précautions prises dans ce paragraphe — «s'ils sont mis en fonctionnement dans les zones et les délais recommandés» — ne sont pas anodines : lorsque l'efficacité des dispositifs est mise en cause à la suite d'orages violents, l'Anelfa va, bien souvent, indiquer que les générateurs n'ont pas été actionnés à temps, ou bien encore, affirmer que les dégâts auraient pu être

beaucoup plus importants sans l'intervention de l'association⁷. Le débat scientifique sur l'efficacité des techniques, quant à lui, reste ouvert.

Soixante-dix ans après sa création, l'Anelfa est toujours la principale structure de modification de la météo, mais elle partage à présent ce secteur d'activités avec une structure émergente : l'entreprise Selerys, née en 2014 dans le Var. À sa naissance, l'entreprise commence par commercialiser des équipements de surveillance et de prévision météorologique auprès des agriculteurs. Cependant, un durcissement des réglementations concernant les fusées explosives 614E — précisément les fusées utilisées pour semer les nuages — rend leur utilisation trop contraignante et pousse les artificiers à produire des « fusées nouvelle génération » [Laborde, 2021]. Lacroix Défense et Selerys s'associent alors pour créer des dispositifs non explosifs qui puissent opérer comme des substituts aux fusées : des ballons, diffusant directement dans les nuages la solution d'ensemencement à l'aide d'une torche. C'est ainsi que l'ensemencement des nuages rejoint le catalogue des équipements et prestations de Selerys, et en fait la structure concurrente de l'Anelfa.

2. Selerys : la promesse capacitante d'une « gestion des risques météorologiques »

En 2014, la société Selerys est fondée par Philippe Cardi, ingénieur issu de l'école Polytech Marseille, par la suite rejoint par l'entrepreneur et financier Fabrice Caquin. L'entreprise se spécialise dans la conception et la commercialisation de « solutions intelligentes pour prédire les risques météorologiques » [Gomet⁸, 2018]. Contrairement à l'Anelfa, dont les responsables sont issus de la recherche en sciences atmosphériques, Selerys présente bien plutôt une expertise orientée vers le financement d'innovations et l'ingénierie en intelligence artificielle. En ce sens, la création de Selerys participe pleinement de l'arrivée, à partir des années 2010, d'une multitude de start-up du numérique portant des innovations au sein du secteur agricole : capteurs, outils d'aide à la décision... Jeanne Oui utilise, pour caractériser ce courant, l'expression d'« agroenvironnement

numérisé », et l'explique par le développement de modes de calcul algorithmiques, par l'accroissement des données disponibles, et surtout, par le développement de politiques européennes d'open data à partir des années 2000 [Oui, 2021, p. 98]⁸. Ces politiques ont de fait contribué à orienter les programmes de recherche météorologique vers la rentabilité des entreprises, et plus généralement, à réorganiser l'infrastructure météorologique mondiale comme un marché fondé sur une économie de données et de services numériques [Randalls, 2017]. Cette dynamique permet également d'ouvrir de nouveaux marchés à des entreprises dont l'activité économique repose sur les instabilités climatiques [Angeli Aguiton, 2020]. Selerys entend en ce sens commercialiser des « technologies opérationnelles pour les challenges météorologiques », ce en « soutien aux activités météo-sensibles pour faire face aux effets du changement climatique » : « Le climat change. Les exigences sont de plus en plus importantes. Il nous faut faire face à cet énorme défi environnemental. Selerys offre aux sociétés météo-dépendantes des solutions sur mesure destinées à réduire l'impact des effets du changement climatique sur leurs activités. Notre maître mot est la Simplicité. Nous concevons des outils opérationnels et efficaces pour permettre à nos clients et partenaires de répondre activement à leurs défis météorologiques » [Selerys, 2023]. Notons, par ailleurs, que Selerys est loin de réduire ses activités à la simple lutte anti-grêle : l'entreprise propose également des services d'augmentation des chutes de pluie et de dissipation du brouillard. Ici, l'ensemble des aléas météorologiques peuvent être gérés.

En marketing, le concept de météo-sensibilité définit l'influence des conditions météorologiques sur la rentabilité d'un secteur d'activité. Ce concept est le fruit de l'analyse issue du météo-marketing, consistant à compiler des données météorologiques et à les corrélérer aux chiffres de la production et des ventes. Il s'agit non seulement de voir dans quelle mesure les conditions météorologiques affectent les conditions de production — point d'orgue du discours de l'Anelfa, qui ne travaille qu'à la limitation de l'incidence des chutes de grêle sur le rendement

agricole — mais aussi de voir dans quelle mesure ces conditions affectent le comportement des consommateurs [Chenxi & Tang, 2019]. Pour illustrer cette approche, le journal *Les Échos* nous parle, par exemple, de la corrélation entre l'augmentation des températures au-dessus de 22 degrés, et l'augmentation du chiffre d'affaires du groupe brassicole Heineken [*Les Échos*, 2018]. La corrélation est d'autant plus prégnante pour les parcs d'attractions, qui voient leur fréquentation chuter drastiquement en cas de précipitations, et tomber au point mort lors d'événements météoclimatiques extrêmes tels que des orages violents, des tempêtes ou des ouragans. L'émergence du concept de météo-sensibilité est solidaire de la montée en puissance de l'inquiétude climatique, et de la multiplication des entreprises dans le domaine de la prévision environnementale depuis les années 2010, qui vendent ainsi à des entreprises-clients des évaluations de leur météo-sensibilité [Edwards, 2013].

Selerys propose précisément sur son site web «une gamme d'outils innovants pour la surveillance atmosphérique et la gestion des risques orageux». Face au générateur anti-grêle de l'Anelfa, Selerys met en avant la solution Laico, qui «comprend un gonfleur manuel ou semi-automatique ainsi qu'un vecteur-ballon intelligent», en ce qu'il intègre, notamment, des plans de vol ainsi qu'une microcarte électronique dont le rôle est d'allumer la torche selon des paramètres spécifiques pour diffuser le principe actif» [Selerys, 2023]. Contrairement au générateur anti-grêle de l'Anelfa, qui peut être entièrement paramétré et mis en route manuellement depuis le sol, l'itinéraire suivi par le ballon Selerys et la diffusion de la solution doivent se faire en vol, donc à distance, de manière automatisée. Des instruments intelligents optionnels sont également proposés pour des actions pouvant être effectuées manuellement, telles que le gonflage du ballon. À cet égard, la promotion d'un gonfleur intelligent est justifiée par la sécurisation du processus — on nous garantit un ensemencement «sûr» et «en toute sécurité» — et son optimisation : «Gonfle le ballon avec la quantité optimale d'hélium» [Selerys, 2023].

Au modèle associatif de lutte anti-grêle promu par l'Anelfa, Selerys répond par un modèle individuel de gestion des risques. En effet, rappelons-le, l'Anelfa s'appuie sur des réseaux générateurs d'iodure d'argent, placés à distance régulière les uns des autres, et actionnés simultanément, à l'échelle départementale ou régionale. Dans cette configuration, un générateur unique est par essence dépourvu de toute efficacité : puisqu'il diffuse à l'air libre en faible quantité, sa solution se disperse et ne peut faire son chemin jusqu'au nuage orageux. Au sein de l'Anelfa, la lutte anti-grêle est donc nécessairement collective. Bien au contraire, Selerys promeut la précision d'une action individuelle et ponctuelle, par le biais de matériels et de logiciels garantissant à ses clients la plus grande autonomie possible. Dans cette perspective, l'entreprise met à leur disposition deux principaux produits : d'une part, nous l'avons vu, la solution d'ensemencement des nuages Laico; d'autre part, l'application Cirrus, consistant en une plateforme numérique d'aide à la décision météorologique».

En définitive, ce que propose Selerys, c'est une diminution de la charge physique de ses clients et une augmentation de leur charge informationnelle, cognitive, qui est synthétisée, et centralisée sur l'application Cirrus. Celle-ci présente à son utilisateur une multitude de contenus informationnels, de produits, et de services articulés les uns aux autres, tout en délimitant un espace de prise de décision pour cet usager. À partir de cette plateforme, l'utilisateur accède à l'intégralité des prestations offertes par Selerys; mais il décide de la sollicitation ou non de ces prestations sur la base des données transmises par l'application. En premier lieu, il s'agit donc d'assurer la compréhension des phénomènes atmosphériques par l'usager, telle qu'elle est mise en scène sur le site web de l'entreprise. La numérisation de ces contenus informationnels est solidaire d'une certaine forme de libération physique, doublée d'un élargissement des informations disponibles : «Cirrus offre un environnement de prise de décision hautement performant et ergonomique. Cette plateforme SIG d'affichage dynamique peut traiter tous types de données météorologiques via un affichage multicouche pour améliorer l'expérience utilisateur et lui permettre de se focaliser sur ses

opérations. Cirrus intègre des fonctions et algorithmes au service de vos objectifs de précision et efficacité. Accessible partout, à tout moment sur n'importe quel appareil, Cirrus est une plateforme digitale complète conçue pour aider nos partenaires à prendre des décisions complexes plus rapidement» [Selerys, 2023].

Ici, deux procédés de décloisonnement de l'information sont à l'œuvre : d'abord, malgré leur localité, les données météorologiques sont accessibles à l'utilisateur où qu'il soit, du moment qu'il dispose d'un accès à internet et d'un appareil doté d'un navigateur; ensuite, malgré leur complexité, les données météorologiques sont mises à portée d'un utilisateur non expert du domaine. Cette facilitation de la compréhension des phénomènes météorologiques et de l'action sur ces derniers s'appuie, en premier lieu, sur la délégation du travail de tri, de synthèse, et d'interprétation des informations à des «fonctions et algorithmes».

Cirrus est avant tout définie comme une plateforme opérationnelle, c'est-à-dire une plateforme de prise de décision en vue d'une intervention météorologique, qui doit elle-même être lancée depuis la plateforme. Celle-ci structure, en d'autres termes, l'agentivité de l'utilisateur, à partir des informations, ressources et prestations numériquement accessibles. Combinée à l'effacement des infrastructures dans le cadre d'une dynamique de services, cette plateforme, qui ne matérialise pas les contraintes physiques de l'action, exacerbe symboliquement la puissance de l'utilisateur, tout en éludant toute considération sur l'efficacité du matériel : cette problématique n'est pas représentée. En d'autres termes, la possibilité d'un dysfonctionnement technique est écartée du champ cognitif de l'utilisateur par cette «interface homme-machine» qui, tout en faisant l'intermédiaire, coupe l'utilisateur de toute information sortant du cadre de ce qui doit justifier ou non une intervention technique. En plongeant dans cet environnement numérique, l'utilisateur oublie aussi les modalités chimiques de l'intervention dont il peut décider sur les conditions météorologiques. Cette distanciation est d'autant plus intéressante au regard du mouvement actuel de responsabilisation environnementale des

entreprises et des individus dans le cadre d'une traçabilité des actions.

Cet environnement numérique emplit par ailleurs l'utilisateur d'un sentiment d'effectivité, de puissance, à travers l'opportunité qui lui est donnée de «décider», de «gérer», d'empêcher la survenue d'événements atmosphériques qui relèvent habituellement de la fatalité. Aussi entre-t-on dans le cadre de ce que Jean-Samuel Beuscart et Patrice Flichy appellent la «promesse capacitante des plateformes» [Beuscart & Flichy, 2018]. Si cette expression fait notamment référence aux bénéfices promis par les médias sociaux aux utilisateurs, nous la mobilisons pour caractériser cette nouvelle manière de donner à un individu le contrôle symbolique d'un phénomène naturel. Par le prisme de cette plateforme numérique, composée d'une base de données et d'un espace de «prise de décision», l'utilisateur est en effet investi d'un pouvoir symbolique sur les éléments, concrétisé par la possibilité d'intervenir à travers un bouton numérique, décorrélé de toute réalité physique. Au sein de cet environnement numérique, c'est un véritable système de croyance technoscientifique qui est mis en œuvre, une croyance dans l'effectivité du numérique sur les précipitations. Ici comme chez l'Anelfa, «l'aspect rituel» et «l'aspect efficace» des pratiques semblent inextricables [Brodu, 2000]. Tandis que l'Anelfa promet une protection collective, solidaire, chez Selerys, c'est bien plutôt l'autonomie qui est commercialisée comme un espoir : celui d'une gestion individuelle des phénomènes météorologiques. Ici, la promesse technoscientifique porte sur la puissance précise d'un ballon unique, qui ne traiterait que le nuage surplombant le territoire du client, ce de manière instantanée. Grâce à des «technologies de pointe» [Selerys, 2023], le client peut de fait prétendre à une «gestion des risques orageux»; plus encore, on lui propose de prendre des «décisions météorologiques» : la météorologie fait, littéralement, partie des choses dont il peut décider, et dont il peut décider seul.

Conclusion

Les deux organisations étudiées ont pour point commun de promouvoir «l'avènement de futurs technicisés, présentés à la fois comme inévitables et fondamentalement désirables» [Compagnon & Saint-Martin, 2019, p. 7]. Il s'agit, plus précisément, de promouvoir un futur caractérisé par le contrôle humain des conditions météorologiques, principalement à des fins économiques — limiter les dégâts des aléas météorologiques sur les activités humaines. Ce futur s'incarne matériellement dans l'ensemble des outils qui appuient le développement technique de l'ensemencement des nuages : générateurs et ballons anti-grêle, plaques de grêlimétrie et plateformes d'intelligence artificielle et d'aide à la prise de décision... Les deux structures relaient, dans le cadre de cultures symboliques et matérielles bien distinctes, une même aspiration : plier les phénomènes météorologiques aux besoins humains.

Dans un cas, cette aspiration au contrôle des phénomènes météorologiques s'incarne dans un réseau de lutte anti-grêle collectif et solidaire, constitué par une multiplicité de générateurs qui ne présentent aucune effectivité s'ils sont activés seuls. Dans l'autre, l'aspiration au contrôle des phénomènes météorologiques s'incarne dans une plateforme numérique capacitante, investissant l'utilisateur d'un pouvoir symbolique sur les éléments, qu'il s'agisse de la grêle, de la pluie comme du brouillard. La promesse technoscientifique d'une gestion individuelle des phénomènes météorologiques est contenue dans la puissance d'un ballon unique, qui ne traiterait que le nuage surplombant le territoire de l'utilisateur, ce de manière instantanée. En ce sens, tandis que le générateur pointe la systématicité du phénomène météorologique et donc de la réponse associative que les bénévoles de l'Anelfa doivent lui apporter, le ballon incarne la puissance individuelle d'un client Selerys qui maîtrise l'état de fait météorologique sur son propre terrain.

Ces différences matérielles et symboliques structurelles entre les deux organisations se traduisent par des narratifs de légitimation tout à fait distincts — la grêle destructrice contre laquelle il

faut «lutter» pour l'Anelfa, les «risques météorologiques» qu'il faut «gérer» ou les «challenges» qu'il faut relever pour Selerys. C'est, plus généralement, la nature de l'«utopie initiale» [Flichy, 2001] proposée par les deux organisations qui diffère : d'un monde où la figure désintéressée du savant protège les agriculteurs d'un fléau atmosphérique grâce à ses savoirs en physique des nuages, à un monde où l'entreprise innovante fournit à ses clients une gamme diversifiée de prestations météorologiques pour relever de nouveaux défis.

NOTES

1. En mai 2023, à l'occasion du Dialogue de Petersberg sur le climat à Berlin, le sultan Ahmed Al-Jaber, PDG de la compagnie pétrolière nationale d'Abu Dhabi, ADNOC, soulignait en ce sens la nécessité de développer les technologies de captage du CO₂, plutôt que d'opérer une réduction de la consommation des énergies fossiles.

2. La question de la réception de ces pratiques par la presse française, et celle des débats autour des impacts environnementaux de ces pratiques, également traitées dans cette thèse, ne seront pas abordées dans cet article.

3. Voir par exemple [Federer, 1977], [Knight et al., 1979].

4. Les cinq autres principes sont : la pluie précoce ; la congélation de l'eau surfondue ; l'abaissement des trajectoires ; la promotion de la coalescence ; et l'ensemencement dynamique [OMM, 1996].

5. Ces informations sont accessibles au public sur le site de l'Anelfa : <https://www.Anelfa.asso.fr/Prevision-et-Alerte-54.html>.

6. Ce phénomène se traduit notamment par des transformations organisationnelles d'entreprises fonctionnant sur un modèle hiérarchique vertical et souhaitant s'horizontaliser [Desreumaux, 2015].

7. Voir par exemple [Le Sillon, 2017].

8. Il s'agit, concrètement, de permettre la libre circulation des données produites par les infrastructures environnementales des organismes européens, à l'instar de Météo-France ou du Met Office.

BIBLIOGRAPHIE

- Anelfa, 2019. Rapport sur la campagne 2018.
- Anelfa, 2018. Étude et prévention grêle, brochure.
- Angeli Aguiton, S., 2020. "A Market Infrastructure for Environmental Intangibles: The Materiality and Challenges of Index Insurance for Agriculture in Senegal", *Journal of Cultural Economy* 14, pp. 1-16.
- Aykut, S., 2020. *Climatiser le monde*, Versailles, Éditions Quae.
- Beuscart, J., Flichy, P., 2018. «Plateformes numériques», *Réseaux*, 212, pp. 9-22.
- Brodu, J.-L., 2000. *Discordes anti-grêle et colères de sécheresse. Les formes de mobilisations, rumeurs et savoirs profanes opposés aux dispositifs sociotechniques de lutte contre la grêle*, Thèse de doctorat non publiée, Université Paris VII.
- Changnon, S., Ivens, L., 1981. History Repeated: The Forgotten Hail Cannons of Europe, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 62.
- Chenxi, L., Tang, Y., 2019. "How meteorological factors affect consumer behavior? The mechanism of meteo-marketing based on contextual marketing theory", *Advances in Psychological Science*, 27, pp. 191-200.
- Compagnon, D., Saint-Martin, A., 2019. «La technique : promesse, mirage et fatalité», *Socio*, 12.
- Dahan, A., 2018. «La climatisation du monde», *Esprit*, 2018/1, 75-86.
- de Guglielmo, M., 2023. «Lutte anti-grêle» vs. «gestion des risques météorologiques» : pratiques, promesses et médiatisation de l'ensemencement des nuages en France, Thèse de doctorat non publiée, Université Paris VIII.
- Desreumaux, A., 2015. «Nouvelles formes d'organisation et évolution de l'entreprise», *Revue française de gestion* 8, 253.
- Dessens, J., Sanchez, J.L., Berthet, C., Hermida, L., Merino, A., 2016. "Hail prevention by ground-based silver iodide generators: Results of historical and modern field projects", *Atmospheric Research*, 170, 98-111.
- Dessens, J., Sanchez, J.L., Berthet, C., 2009. "Seeding optimization for hail prevention with ground generators", *Journal of Weather Modification*, 41, 104-111.
- Edwards, P., 2012. "Entangled histories: Climate science and nuclear weapons research", *Bulletin of the Atomic Scientists*, 68, pp. 28-40.
- Federer, B., 1977. "Methods and results of hail suppression in Europe and in the USSR", *Meteorological Monographs*, 38, pp. 215-223.
- Ferraton, C., 2007. *Associations et coopératives. Une autre histoire économique*, Toulouse, Érès.
- Fleming, J.R., 2006. "The pathological history of weather and climate modification: Three cycles of promise and hype", *Historical Studies in Biological and Physical Sciences*, 37, pp. 3-25.
- Flichy, P., 2001. «La place de l'imaginaire dans l'action technique. Le cas d'internet», *Réseaux*, 109, pp. 52-73.
- France Info, 2023. «Agriculture : les canons à grêle de plus en plus contestés», 30 mai 2023, https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/agriculture-les-canons-a-grele-de-plus-en-plus-contestes_5856674.html.
- Fressoz, J., Locher, F., 2015. «L'agir humain sur le climat et la naissance de la climatologie historique, xvii^e-xviii^e siècles», *Revue d'histoire moderne & contemporaine*, 62-1, pp. 48-78.
- Gomet, 2018. «Selerys (Rousset) en forte croissance grâce à ses solutions de prévisions météo ultra précises», 1^{er} mars 2018.
- Gouzouazi, J., 2021. *Dire et faire le monde par le discours expert : le cas de la géo-ingénierie climatique*, Thèse de doctorat en philosophie, Université de Strasbourg.
- Knight, C.A., Foote, G.B., Summers, P.W., 1979. "Results of a randomized hail suppression experiment in northeast Colorado. Part IX: Overall discussion and summary in the context of physical research", *Journal of Applied Meteorology*, 18, pp. 1629-1639.

Les Échos, 2018. «Météo marketing : un outil de différenciation pour les marques», 20 juin 2018.

Le Sillon, 2017. «Renforcer le maillage territorial», 16 juin 2017.

Oddie, B.C.V., 1965. "The hail cannon, an early attempt at weather control", *Weather*, 20, pp. 154-156.

Oui, J., 2021. *La précision au secours des pollutions : des technologies numériques pour écologiser le productivisme agricole*, Thèse de doctorat en sociologie non publiée, EHESS.

Organisation météorologique mondiale (OMM), 1996. Meeting of experts to review the present status of hail suppression, Golden Gate Highlands National Park, South Africa, 6-10 November 1995.

Pichot, A., 2009. [2000]. *La société pure : de Darwin à Hitler*, Paris, Flammarion.

Randalls, S., 2017. Commercializing Environmental Data: Seeing Like a Market. *The Routledge Handbook of the Political Economy of Science*, Tyfield, D., Lave, R., Randalls, S., Thorpe, C., pp. 317-28, New York, Routledge.

Saïsset, L.A., 2016. «Les trois dimensions de la gouvernance coopérative agricole. Le cas des coopératives viticoles du Languedoc-Roussillon», *RECMA*, 339.

Selerys. Page web de l'entreprise, www.selerys.fr.

BIOGRAPHIE

MARINE DE GUGLIELMO WEBER est docteure en sciences de l'information et de la communication (Université Paris 8) et chercheuse environnement, énergie et matières premières stratégiques au sein du département Armement et économie de défense (AED) de l'IRSEM. Elle est également directrice scientifique de l'Observatoire Défense & Climat, piloté par l'IRIS. Elle travaille sur la sécurité climatique des populations et des forces armées, et s'est spécialisée sur les enjeux liés aux techniques de modification de la météo et du climat (géo-ingénierie). Elle est, par ailleurs, l'autrice d'un roman d'anticipation climatique publié aux éditions du Delf en 2023, *L'Eau qui reste*.

À lire également dans *La Revue de l'Énergie*

- L'adaptation aux effets du changement climatique des infrastructures des systèmes électriques, Sylvie Parey, Bruno Carlotti, Stéphane Gardey, Anthony Maire, Didier Roustau, Nicolas Vandenberghe, Etienne Brière (n° 667, juillet-août 2023)

À retrouver sur www.larevuedelenergie.com.