

**Anne Bondiou  
Jean-Louis Fellous**

# TERRE D'ORAGES

**Préface de Jean-Jacques Dordain**

CNRS ÉDITIONS

*Collection « Le banquet scientifique »,  
dirigée par Jean Audouze*

© CNRS Editions, Paris, 2014  
ISBN : 978-2-271-07997-8

*<< La tempête qui fuit d'un orage est suivie.  
L'âme a peu de beaux jours; mais, dans son ciel obscur,  
L'amour, soleil divin, peut dorer d'un feu pur  
Le nuage errant de la vie. >>*  
Victor Hugo, « Le nuage », Odes et Ballades, 1822

*<< Le vent amasse des fracas sur mon front et le tonnerre établit son trône sur mes tympan.  
Avant de rentrer chez moi, je cueille ma petite fleur qui pousse dans les crevasses,  
la noire petite fleur brûlée par la foudre. >>*  
Octavio Paz, Liberté sur parole – Château en l'air, 1958



# Sommaire

|   |    |  |     |
|---|----|--|-----|
| Préface.....  | 9  | <i>Un scénario de base.....</i>              | 66  |
| Avant-Propos.....   | 11 | <i>L'éclair nuage-sol.....</i>               | 68  |
| Introduction.....   | 13 | <i>L'éclair intra-nuage.....</i>             | 71  |
| La foudre des dieux.....                                      | 17 | <i>Lumières et couleurs de l'éclair.....</i> | 72  |
| <i>Universalité et diversité.....</i>                         | 19 | <i>Le tonnerre.....</i>                      | 77  |
| <i>Objets et figurations de la foudre.....</i>                | 23 | <i>L'émission radioélectrique.....</i>       | 79  |
| <i>Les formes du mythe.....</i>                               | 27 | <i>Des éclairs en haute atmosphère.....</i>  | 80  |
| <i>Superstitions, croyances et conjurations.....</i>          | 30 | <i>La foudre en boule.....</i>               | 81  |
| Questions de nature.....                                      | 35 | Des hommes, des orages, des planètes.....    | 85  |
| <i>Du mythe à la science.....</i>                             | 37 | <i>Les mêmes dangers... ..</i>               | 87  |
| <i>L'air, l'eau et le feu.....</i>                            | 38 | <i>... et de nouvelles fragilités.....</i>   | 93  |
| <i>Descartes et Les Météores.....</i>                         | 40 | <i>Dans les airs.....</i>                    | 95  |
| <i>L'essor de la météorologie.....</i>                        | 42 | <i>... et vers l'espace.....</i>             | 98  |
| <i>Une petite étincelle.....</i>                              | 43 | <i>De la protection à la prévision.....</i>  | 99  |
| <i>Benjamin Franklin, le savant citoyen.....</i>              | 46 | <i>Une nouvelle échelle :</i>                |     |
| <i>Le « pouvoir des pointes ». Expériences décisives.....</i> | 47 | <i>les orages vus depuis l'espace.....</i>   | 101 |
| <i>Le paratonnerre : succès et résistances.....</i>           | 49 | <i>Des orages sur Mars ? sur Saturne ?</i>   |     |
| Mécanismes et trajectoires.....                               | 55 | <i>sur Jupiter, Neptune et Uranus ?.....</i> | 106 |
| <i>Naissance et évolution du nuage d'orage.....</i>           | 57 | <i>Le « grand orage ».....</i>               | 110 |
| <i>L'eau dans tous ses états.....</i>                         | 60 | Conclusion.....                              | 111 |
| <i>L'électrification.....</i>                                 | 62 | Remerciements.....                           | 113 |
| <i>L'air en rupture.....</i>                                  | 65 | Dans la même collection.....                 | 115 |



*Ce livre est dédié à Alain Delannoy, physicien subtil et inlassable humoriste, trop tôt disparu, qui éclairait nos travaux à l'Onera de sa connaissance des nuages et de ses éclats de rire.*

A.B.

*À Martine*  
J.-L. F.



# Préface

Il y a quelques décennies, lorsque j'étais à l'Office National d'Études et Recherches Aérospatiales (ONERA), se constituait une équipe un peu singulière, qui ne se consacrait ni à l'aérodynamique, ni à la propulsion des avions ou des lanceurs spatiaux, mais s'était résolument engagée dans des recherches de grande ampleur sur les orages. Consciente qu'il faudrait, pour assurer la sécurité aérienne ou celle des opérations de lancement, mieux connaître l'environnement atmosphérique et particulièrement les risques de foudroiement, la Direction de l'Onera n'hésita pas à mobiliser les ressources humaines et matérielles nécessaires à l'étude de phénomènes encore mal appréhendés.

Chaque été, ou presque, l'équipe (à laquelle Anne appartenait) migrait pour de longs mois vers la Côte d'Ivoire, le Nouveau Mexique ou la Floride, et quelques esprits moqueurs assuraient qu'on avait trouvé là la meilleure façon de ne travailler que par mauvais temps...

Mais les recherches progressaient, des systèmes de détection à longue portée étaient mis au point, on commençait enfin à comprendre et à quantifier les effets du foudroiement d'un avion, permettant ainsi à l'industrie d'y mieux préparer ses futurs appareils.

Étant passé de la coordination des activités spatiales à la Direction de la Physique générale de l'ONERA, j'ai pu vivre le transfert des progrès de la science à leur application sur la protection des ensembles de lancement au Centre Spatial Guyanais, qui s'est révélée d'une efficacité totale.

Plus tard, devenu Directeur Général de l'Agence Spatiale Européenne, je constatai avec plaisir que ces sujets étaient également d'une vivante actualité dans le monde spatial et que la NASA consacrait plusieurs satellites à l'observation des orages terrestres. L'œil des astronautes volant à bord de la station spatiale internationale, complétant les instruments de satellites de recherche, apportait de nouvelles observations des drôles

d'éclairs qui s'élèvent au-dessus des nuages d'orage. Le CNES (où travaillait Jean-Louis) préparait un projet dans ce domaine. Et d'ailleurs, le prochain satellite météorologique en orbite géostationnaire développé par l'ESA pour Eumetsat emportera un instrument de détection des éclairs complétant la panoplie des mesures nécessaires à la météorologie opérationnelle.

L'étude des orages se situe donc à un carrefour entre le monde aérospatial, celui de la physique de l'atmosphère et du climat, et celui des techniques de pointe en optique ou détection électromagnétique. Le sujet ne pouvait donc me laisser indifférent !

L'ouvrage que lui ont consacré Anne et Jean-Louis se propose d'en parcourir de nombreux aspects. Je dois l'avouer, j'y ai appris beaucoup de choses, sur les plans historique, épistémologique, mythologique, artistique autant que scientifique. Cet ouvrage foisonne d'idées, d'informations, d'images, qui raviront l'honnête homme du XXI<sup>e</sup> siècle comme elles

m'ont réjoui. Tout en constituant une somme remarquable sur les connaissances acquises sur notre Terre d'orages, ce livre ouvre sur les perspectives de nouvelles découvertes et de surprises à mesure que nos outils de recherche s'aiguisent, que nos sondes spatiales nous donnent accès à des mondes insoupçonnés, et que les travaux des chercheurs repoussent toujours plus les frontières de nos savoirs, révélant du même mouvement l'ampleur de nos ignorances. C'est la raison pour laquelle le futur est plus passionnant que le passé, mais aussi que le futur repose sur la compréhension du passé.

*Jean-Jacques Dordain  
Directeur Général  
de l'Agence spatiale européenne  
Octobre 2014*

# Avant-Propos

Ce livre a une histoire. L'idée m'en a été suggérée il y a plus de vingt ans, alors que, jeune chercheuse à l'ONERA, l'organisme français d'études et de recherches aérospatiales, j'avais eu la chance de rejoindre un laboratoire se consacrant aux effets de la foudre et des orages sur les avions, hélicoptères et lanceurs spatiaux. Inspirée par le talent de cette équipe, mais aussi par le plaisir d'exercer notre curiosité sur l'un des plus beaux phénomènes naturels, j'ai entrepris la rédaction d'un premier manuscrit destiné à un public non spécialiste.

Ce texte s'est construit sur le choix affirmé d'aborder plusieurs aspects du sujet, de l'histoire des mythologies de l'orage à celle des progrès de la connaissance au fil des siècles, et, bien entendu, d'en décrire les mécanismes physiques et les nombreuses zones d'incertitude qui subsistaient alors.

Ce premier ouvrage est resté inachevé pendant de longues années jusqu'à ce que, mue par quelque obscur regret, mais surtout encouragée par mon ami Jean-Louis Fellous, j'en reprenne la rédaction, en l'enrichissant des découvertes

les plus récentes. Ce livre aurait été largement incomplet sans les connaissances que Jean-Louis y a apportées, en matière de climatologie et d'exploration spatiale, mais aussi sans son intérêt multiforme pour les représentations de l'orage et de la foudre dans tous les domaines de l'art. Notre ouvrage a ainsi pris une dimension supplémentaire, et j'espère que les lecteurs trouveront à le lire autant de plaisir que nous en avons eu à l'écrire.

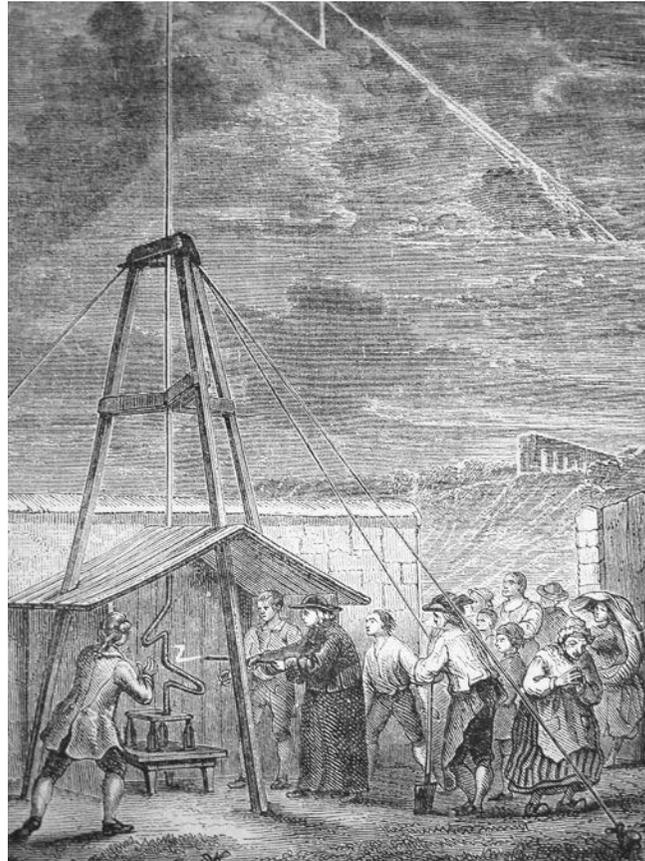
*Anne Bondiou*



# Introduction

**L**e vent se lève. L'homme sait qu'il lui reste peu de temps pour consolider l'étrange édifice qu'il a patiemment construit depuis le matin, un assemblage improbable de mâts métalliques, de gouttières, de planches, retenu à la terre par une série de haubans et de cordes (Fig. 1). Le ciel s'est tant obscurci qu'il ne pourrait pas même vérifier une dernière fois, sur le croquis qu'il a glissé dans son pourpoint, l'exactitude du montage... Pourtant, Thomas François d'Alibard et son ami Georges-Louis Buffon ont bien insisté sur l'impérieuse nécessité de respecter scrupuleusement le protocole de l'expérience décrite par Benjamin Franklin, dans l'une de ces longues lettres éclairées de dessins que le savant américain aime à échanger avec les scientifiques européens.

Nous sommes le 10 mai 1752, à Marly-la-Ville, la pluie s'abat furieusement sur ce grand jardin, l'homme hésite un peu, recule.



■ Fig. 1 – Expérience de Marly.

Puis, bizarrement encouragé par les premiers grondements du tonnerre, il s'approche de nouveau de la haute perche de fer qui occupe le centre de l'échafaudage et dont l'extrémité inférieure repose sur un tabouret isolant fait de bois et de verre. Monsieur Coiffier, ancien dragon du Roi, animé d'une courageuse inconscience et d'un sens imperturbable de la consigne reçue, se saisit alors d'un fil métallique qu'il amène à quelques pouces de la perche... une longue étincelle claque sèchement, dans une odeur étrange.

Alerté, Monsieur le Prieur Curé de Marly accourt sous la grêle, escorté d'une poignée de villageois curieux. Après un moment de prudente observation de cet homme qui s'affaire toujours autour de l'édifice, le curé de Marly juge « *qu'il n'y avait point de danger* », s'empare à son tour du fil de fer et obtient lui aussi « *la petite colonne de feu bleuâtre, sentant le soufre* ». Fasciné, il réitère plusieurs fois l'expérience, sans même s'apercevoir qu'une étincelle un peu plus violente lui a marqué le bras d'une longue meurtrissure, trouvant le temps de noter que l'intervalle séparant deux décharges électriques suc-

cessives dure « *l'espace d'un Pater et d'un Ave* ». Dès la fin de l'orage, le Prieur de Marly rédige à la hâte le récit de l'expérience dont il fut l'un des exécutants et charge Coiffier de porter son message à Paris.

D'Alibard et Buffon sont enthousiastes, ravis, à peine surpris tant la réputation de physicien de Benjamin Franklin est flatteuse et même si l'hypothèse de « l'identité du tonnerre et du fluide électrique » qui vient d'être confirmée était audacieuse. Il faudra sans doute bien des semaines pour que leur récit parvienne jusqu'à Franklin, que quelques milliers de kilomètres séparent à cette heure du lieu de l'expérience qu'il avait lui-même conçue dans ses moindres détails<sup>1</sup> et dont il avait prévu le résultat. Même si le hasard des circonstances priva Franklin du plaisir d'être le premier à éprouver la nature électrique de la foudre, son nom demeure attaché

1. « *Au sommet de quelque tour ou clocher, qu'on place une sorte de guérite, assez grande pour contenir un homme et une plate-forme. Au centre de la plate-forme, qu'on dresse une tige de fer [...] d'une longueur de 20 ou 30 pieds très pointue à son extrémité, reposant sur un tabouret isolant.* »

à l'expérience de Marly, comme à celles qu'il réalisa peu après au moyen de son célèbre cerf-volant. Admiratif, Turgot désignera plus tard le savant et homme politique américain comme « *l'homme qui arracha la foudre aux nuages* »...

Il est vrai que la preuve expérimentale apportée à Marly dépasse largement l'anecdote. Au cœur du Siècle des Lumières, la foudre et l'orage cristallisent toujours autour d'eux mille craintes superstitieuses ou suscitent des interprétations scientifiques aussi laborieuses qu'erronées, jusqu'à ce que quelques-uns perçoivent les similitudes entre l'éclair et la petite étincelle que l'on sait, depuis peu, produire à volonté en laboratoire. Les connaissances relatives à une science toute neuve, l'électricité, sont encore bien insuffisantes pour que la complexité du phénomène soit pleinement appréhendée par Franklin et ses successeurs immédiats. Mais il est clair que la découverte de la nature de la foudre modifie dès lors sensiblement le regard porté par les scientifiques sur les phénomènes électriques. Le « fluide électrique », jusque-là objet d'amusantes manipulations de labo-

ratoire, curiosité de savants amateurs de bâtons de verre ou d'ambre frottés, se hisse soudain au rang de phénomène universel, à l'œuvre dans une des manifestations les plus spectaculaires de la nature : l'orage. Une compréhension rationnelle du monde physique se doit donc d'inclure les lois de l'électricité, dont l'exploration se dote ainsi d'un nouvel enjeu.

Enfin, si l'on veut reconnaître toute la portée de l'expérience de Marly, il faut aussi en rappeler la valeur symbolique. Trop de mythes, de légendes, de superstitions sont nés du spectacle de l'orage pour que l'on puisse oublier la charge d'imaginaire portée par le feu du ciel, le fracas du tonnerre ou les clairs-obscurs changeants du nuage d'orage. Coiffier, d'Alibard, Franklin, comme tant d'autres, portent là une curiosité tranquille, persuadés du triomphe de la raison, décidés à nommer enfin cette force qui, si souvent, a terrifié les hommes.

Au travers de cette première expérience, de ses résonances et de ses prolongements, se devinent ainsi les multiples images d'un phénomène que l'on peut approcher par ses figures de rêve et de légende,

comme par sa réalité physique. Éclairs et tonnerres se prêtent donc à merveille à une promenade partagée entre raison et imaginaire. On y croise des dieux coléreux et des marins superstitieux, de dignes savants jouant au cerf-volant et des astronautes contemplant depuis l'espace les orages de tout un continent. On y découvre les mécanismes de la foudre et du tonnerre, ceux que la science moderne a permis d'interpréter, mais aussi ceux qu'elle laisse dans l'ombre, puisque l'orage garde, encore aujourd'hui, une part de ses très anciens mystères.



■ Jupiter, fresque de Pompei,  
musée archéologique de Naples.

*Première partie*

# La foudre des dieux



« C'est quand Jupiter fait gronder la foudre  
que nous croyons qu'il règne dans les cieux. »  
Horace, 65-8 av. J.-C.

« La foudre gouverne tout. La foudre est le feu éternel,  
un feu sage et auteur de l'administration du monde. »  
Héraclite, ca. 544/541-480 av. J.-C.

S'interrogeant sur l'origine de la mythologie, Stéphane Mallarmé écrit, vers 1880, que les mythes se constituent comme le reflet « *de la Tragédie de la Nature*<sup>1</sup> ». Les humeurs du temps, accrochant çà et là, parmi les caprices de l'aléatoire, quelque apparence de régularité saisonnière ou géographique, offrent à l'imagination un terrain fertile où se mêlent l'ordre et le chaos. Les fantaisies de l'atmosphère devinrent sans doute rapidement suffisamment familières pour qu'un tissu légendaire puisse s'y fixer, tout en conservant la part d'imprévisible et de mystère où s'inscrivent d'innombrables récits de genèses, filiations, guerres fratricides entre des dieux parcourant des chemins pour le moins aventureux. Orages et tempêtes sont à cet égard exemplaires, certains y lisant même l'inspiration originelle d'une mythologie naturaliste et ima-

ginant les premiers spectateurs de la nature sentant « *la présence divine dans l'apparition inattendue et toujours merveilleuse des orages, de la foudre et des tempêtes*<sup>2</sup> ». Hypothèse séduisante si l'on songe que ces phénomènes atmosphériques viennent déranger la rassurante alternance de la lumière et de l'obscurité, installant le ciel le plus noir en plein midi ou illuminant la nuit d'éclairs aveuglants. Face à ce ciel bouleversé, pressé de questions et de craintes, les premiers hommes reçoivent en réponse les fracas du vent en rafales et les sonorités sèches ou profondes du tonnerre. De ce dialogue étrange est née une extraordinaire abondance de mythes, une profusion de déités aux caractères contradictoires, toutes les traductions rituelles ou symboliques d'un désir très ancien de nommer et parfois de se concilier l'inquiétante puissance de l'orage.

## UNIVERSALITÉ ET DIVERSITÉ

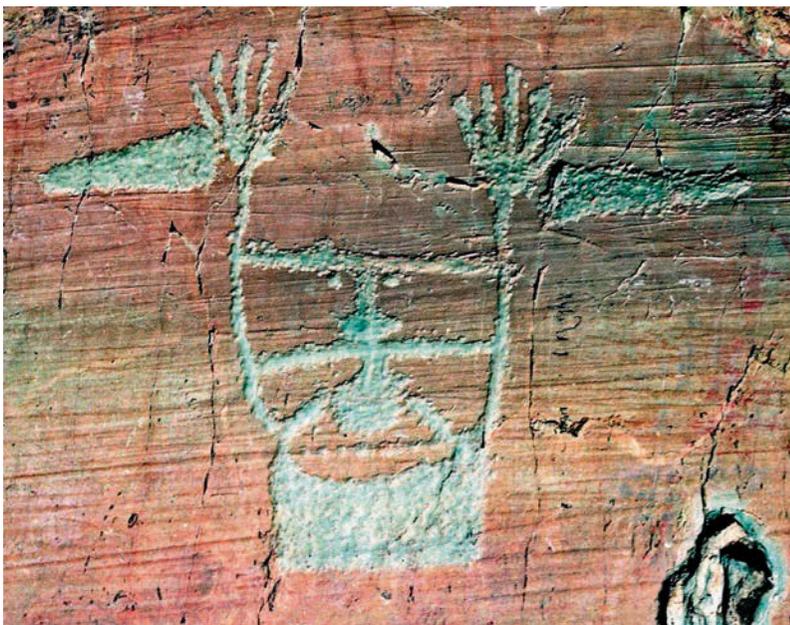
Le caractère le plus marquant des mythes associés à l'orage et à la foudre est leur universalité : il semble qu'aucune cosmogonie ne se soit construite sans que les puissances de l'éclair et du tonnerre, qui sont même parfois l'emblème du pouvoir suprême, ne soient attribuées à une ou plusieurs divinités. Il est d'ailleurs surprenant de noter combien la force du mythe ignore les caractéristiques climatiques de son lieu d'origine. Légendes et mythologies se sont construites autour de l'orage aussi bien dans les régions tropicales et subtropicales, où la fréquence du phénomène est quasi quotidienne durant les mois d'été, que sous les climats du Grand Nord peu propices au développement d'orages violents. Aux côtés des nombreuses divinités hindoues, amérindiennes ou africaines, la mythologie de la foudre se peuple ainsi de figures inattendues tel Tiernès, dieu lapon du tonnerre, pourchassant les esprits

1. *Les Dieux antiques*, 1880.

2. *Nouvelles leçons sur la science du langage*.  
Max Müller, 1863.

de l'enfer armé des flèches de l'éclair, ou Yehl, l'oiseau-voleur divinisé par les Indiens Tlingits d'Alaska, dérochant la foudre pour offrir le feu aux hommes.

Riches de ces diversités, traversant des cultures millénaires, les mythes de l'orage viennent s'inscrire dans les conceptions de l'organisation de l'univers propres à chaque civilisation. Les gravures rupestres de la vallée des Merveilles (Alpes-Maritimes), datées du début de l'âge de bronze, attribuent au dieu suprême l'arme toute-puissante de la foudre sous la forme de poignards brandis (Fig. 1). Replacée dans le cadre général de la mythologie indo-européenne, cette représentation a pu être rapprochée de la genèse proposée par



■ Fig. 1 – Vallée des Merveilles. Photo Philippe Kurlapski.

la théogonie grecque : après le couple originel, Ouranos le Ciel et Gaia la Terre-Mère, et succédant à leur fils Cronos dont il est issu, Zeus, le dieu ultime et prééminent de l'Olympe, s'attribue le pouvoir universel. Au terme de trois générations divines successives, jalonnées de quelques infanticides et guerres familiales, s'installe l'incontestable puissance d'un dieu maniant au gré de sa colère foudres et tonnerres (Fig. 2). Lorsque Zeus eut mutilé et détrôné Cronos puis délivré ses frères les Cyclopes, ceux-ci, reconnaissants, lui cédèrent la foudre, à laquelle la légende attribue une origine tellurique. Cette spectaculaire passation de pouvoirs est ainsi contée par Hésiode : « Ils lui donnèrent le tonnerre, la foudre

fumante et l'éclair, qu'auparavant tenait cachés l'énorme Terre et sur lesquels Zeus désormais s'assure pour commander à la fois aux mortels et aux Immortels<sup>1</sup> ».



■ Fig. 2 – Statue antique trouvée à Smyrne en 1680 et offerte à Louis XIV qui la fit restaurer en Zeus. Musée du Louvre. Photo Marie-Lan Nguyen.

1. Hésiode, *Théogonie*, traduction de Paul Mazon (cité dans le *Dictionnaire des Symboles*, Jean Chevalier et Alain Gheerbrant, Robert Laffont, 1982).

# Dans la même collection

Denis Buican, *Biologie, histoire et philosophie*, 2010.

Jean Audouze, avec Jean-Claude Carrière et Erik Orsenna, *Merveilleux cosmos !*, 2010.

Jean-Pierre Ollivier, *Demain les vieux !*, 2011.

Georges Chapouthier et Frédéric Kaplan, *L'homme, l'animal et la machine*, 2011.

Denis Buican et Cédric Grimoult, *L'évolution. Histoire et controverses*, 2011.

Arlène Ammar-Israël et Jean-Louis Fellous, *L'exploration spatiale. Au carrefour de la science et de la politique*, 2011.

Daniel Kunth, *Les mots du ciel*, 2012.

Jean-Pierre Ollivier, *Tous malades ? Un médecin répond aux questions qui dérangent*, 2013.

Alexandre Moatti, *Le Mystère Coriolis*, 2014.

Mise en page  
SCEI  
50-54 bd du colonel Fabien  
94200 Ivry-sur-Seine  
Tél. : 01 45 15 25 90 - [info@scei-edition.com](mailto:info@scei-edition.com)

Achévé d'imprimé

Dépôt légal : ?? 2014