

Pierre Léna

# UNE HISTOIRE DE FLOU

Miroirs, trous noirs  
et autres mondes



Le Pommier



# Une Histoire de flou

Trous noirs, miroirs  
et autres mondes

**Pierre Léna** est astrophysicien, professeur émérite à l'Observatoire de Paris et à l'université Paris-Diderot, notamment au sein de l'École doctorale *Astronomie & Astrophysique d'Ile-de-France*, où se sont succédé des générations d'étudiants, et du laboratoire LESIA. Il a contribué à la conception du *Very Large Telescope* européen au Chili, auprès de l'Observatoire européen austral (ESO), avec l'introduction de l'optique adaptative et de l'interférométrie. Engagé en 1995 dans les questions éducatives, aux côtés de Georges Charpak et d'Yves Quéré avec *La main à la pâte*, en France et dans le monde, il poursuit aujourd'hui cette action autour de l'éducation au changement climatique en créant l'*Office for Climate Education*. Il est membre de l'Académie des sciences et de l'Académie pontificale des sciences.

### **Du même auteur**

*Concorde 001 et l'ombre de la Lune*, Le Pommier, 2014.

*Enseigner, c'est espérer*, Le Pommier, 2012.

*Ciel ! mon étoile*, avec Cécile Léna & Michel Serres, Elytis, 2009.

*L'Enfant et la science*, avec G. Charpak & Yves Quéré, O. Jacob, 2005.

*La Science*, avec Yang Huan-Ming, Desclée de Brouwer, 2003.

### **Collaborations**

*La main à la pâte. Les sciences à l'école primaire*, sous la direction de Georges Charpak, Flammarion 1996, réédition 2011.

*Le Trésor, Dictionnaire des sciences*, sous la direction de Michel Serres & Nayla Farouki, Flammarion, 1997.

*Demain la physique*, O. Jacob, 2004.

*29 notions-clés pour savourer et faire savourer les sciences*, avec Yves Quéré & Béatrice Salviat, Le Pommier, 2009.

*Tours du Monde, Tours du Ciel*, Film de Robert Pansard-Besson, avec Michel Serres, 4 DVD, EDP Sciences 2009.

*L'observation en astronomie* (dir.), Ellipses, 2009.

Pierre Léna

Une Histoire de flou

Trous noirs, miroirs  
et autres mondes



Le Pommier **Impromptus**

*À Shaohua*

Couverture: Ingrid Leroy

Illustration de couverture © ESO

Franges de la 4<sup>e</sup> de couverture: Institut d'optique – Graduate School

Mise en pages: Marina Smid

© Éditions Le Pommier, 2019

Une maison de Humensis, 170 *bis*, boulevard du Montparnasse

– 75014 Paris

[www.editions-lepommier.fr](http://www.editions-lepommier.fr)

Tous droits réservés

ISBN : 978-2-7465-1806-3

Dépôt légal : avril 2019

*Nous sommes tissés de l'étoffe  
dont sont faits les rêves.*  
William Shakespeare, *La Tempête*

## Avant-Propos

J'ai eu beaucoup de chance ! Abordant l'astronomie professionnelle au début des années 1960, ma vie de chercheur et de professeur, désormais achevée, fut comblée par le prodigieux développement de l'astrophysique lors du demi-siècle écoulé. Que de télescopes visités ou utilisés ! Que d'instruments de haute technologie, conçus par des générations d'étudiants et de chercheurs enthousiastes ! Que de transformations apportées par l'informatique ! J'ai vécu cela. J'ai passé de longues nuits à scruter le ciel. J'ai été témoin de magnifiques découvertes, dues à ces observatoires situés sur Terre ou dans l'espace. D'Europe à l'Amérique, du Chili à la Chine, j'ai mesuré l'universalité de la science et partagé la communauté de celles et ceux qui la servent avec curiosité et passion. J'ai vécu la force de l'idée européenne et la richesse de sa mise en œuvre.

Le domaine auquel contribuèrent mon travail peut-être, celui des élèves et équipes qui m'ont entouré à coup sûr, est

devenu immense. Sa fécondité ne cesse de croître, il occupe aujourd'hui des centaines de chercheurs et d'ingénieurs. Alors jaillit en moi le désir de raconter cette histoire de femmes et d'hommes, de miroirs, de franges et d'étoiles, de la partager puisque j'en fus un témoin privilégié, parfois un modeste acteur.

C'est une *histoire de flou* que je veux raconter, une sorte de livre d'images à parcourir avec des mots. Une quête commencée avec Galilée, en 1609 très précisément, lorsque dans la nuit vénitienne il pointa sa lunette vers la Voie lactée, vers Jupiter, Saturne et Vénus, vers le Soleil, et découvrit des images que nul n'avait vues avant lui. Images floues, imprécises, déjà sources d'une révolution scientifique qui allait immensément s'amplifier. Après lui, les astronomes n'ont eu de cesse de discerner sur leurs images des détails de plus en plus fins, d'abord avec leurs yeux s'écarquillant derrière lunettes ou télescopes, puis sur les plaques photographiques qui en multipliaient la puissance, enfin en envoyant sur Mars ou la comète Tchourioumov des robots pour photographier à bout portant ces corps lointains.

Entre Galilée et les années 1960, celles où justement je débutai ma vie de chercheur, des progrès furent faits dans cette quête du détail, certains très importants. Pourtant, ils ne concernaient pas les longueurs d'onde auxquelles les étoiles et les planètes émettent l'essentiel de leur lumière : la lumière visible et infrarouge. Là, presque aucun progrès ! En Arizona, le tout jeune chercheur que j'étais se heurtait déjà au flou des images du Soleil. Après des aventures autant aéronautiques qu'astronomiques, je ne revins aux images



qu'une décennie plus tard, inspiré par Antoine Labeyrie et par François Roddier, deux physiciens exceptionnels de ma génération. J'eus alors la chance de me trouver associé, entre 1978 et 2005, à la conception du *Very Large Telescope* européen, désormais installé au Chili. La confiance que me témoigna Lodewijk Woltjer, directeur de l'Observatoire européen austral (ESO) auquel contribuait la France, me plaça au cœur d'un nouveau combat contre le flou des images astronomiques. Ce combat est désormais gagné.

Rétrospectivement, je suis étonné de la fécondité de ces années-là. J'ai toujours éprouvé le sentiment d'avancer dans le brouillard, jamais certain de la justesse du pas suivant. D'où m'est venue la force nécessaire pour mener les combats contre moi-même, contre les instruments rétifs, contre les sceptiques et les ironiques ? Ce livre les raconte. J'ai beaucoup dû à ma famille, à des amitiés et des émotions, à une longue tradition de science dont je fus héritier sans même en être conscient. Ce récit est ma façon d'évoquer ces héritages, et d'en rendre grâce.

J'ai conscience de n'avoir été qu'un humble relais, un maillon dans une longue histoire. Citant souvent ici les jeunes qui m'ont accompagné, j'ai tenté de mettre en lumière une filiation qui se poursuit de génération en génération et dont j'ai l'intense perception. Ce sont eux qui font les découvertes extraordinaires que j'évoque dans ce livre, eux qui mènent contre le flou d'autres combats encore et les gagnent, eux qui préparent l'avenir.

Tout naturellement, ce livre leur est également dédié.

*Et de cette nuit originelle où tâtonnent deux aveugles-nés,  
l'un équipé de l'outillage scientifique, l'autre assisté  
des seules fulgurations de l'intuition, qui donc plus tôt  
remonte, et plus chargé de brève phosphorescence.  
La réponse n'importe. Le mystère est commun.*

Saint-John Perse,

Discours de réception du prix Nobel de littérature

## Chapitre 1

### Une nuit à Paranal

Sous cette latitude, la nuit tombe rapidement. Ce midi, le désert chilien d'Atacama, noyé de chaleur et d'une lumière presque verticale, avait perdu ses ombres, ses reliefs et ses couleurs, qu'il retrouve à la fin du jour. A l'ouest, une bande blanchâtre, comme collée au sol, souligne maintenant une couche de nuages proches : sous celle-ci se cache, à quelques dizaines de kilomètres, l'océan Pacifique. Au nord-est, très loin, le sommet du volcan Licancabur (5916 m) et la crête enneigée de la Cordillère des Andes marquent l'horizon, au-dessus duquel monte maintenant l'ombre noire de la Terre<sup>1</sup>. À plus de 2 600 mètres d'altitude, je suis seul sur

ce sommet, je m’y sens totalement seul, livré au désert, à son silence, à la nuit qui vient. Au-dessus de moi, le ciel immense vire à un bleu sombre et profond, le vent est tombé. De la vaste et horizontale plate-forme qui m’entoure émerge une demi-douzaine de curieux bâtiments. Quatre, presque alignés, sont immenses, métalliques, accrochant les derniers rayons rougeoyants du couchant. Quatre autres, plus petits et tout blancs, ressemblent à des coquetiers. Posés sur des rails, ils sont dispersés sur la plate-forme.

Rien d’autre n’accroche le regard, il n’est âme qui vive.

## **L’observatoire**

En 1986, je gravissais pour la première fois cette montagne perdue dans l’un des déserts parmi les plus désertiques sur Terre. La plate-forme qui la couronne aujourd’hui n’existait pas, le sommet était une sorte d’arête caillouteuse, sans végétation aucune. J’y avais pourtant cueilli une curieuse plante, faite d’une tige ligneuse, qui orna longtemps mon bureau de Meudon, à l’Observatoire de Paris. Elle ne parvenait à survivre dans cette absolue sécheresse qu’en absorbant aussitôt, avant que ne monte le trop brûlant soleil, la rosée de l’aurore accueillie par ses feuilles.

Ce sommet, identifié en 1983 par l’astronome suédois Arne Ardeberg, sembla alors si prometteur qu’il fit l’objet d’une étude systématique. Lorsque j’y montais trois ans plus tard, trois Chiliens – Francisco Gonzalez, avec ses deux fils Francisco et Italo – y campaient des semaines durant pour relever les données météorologiques et optiques.

Elles établiraient si ce Cerro Paranal allait être propice à la construction du plus grand observatoire optique du monde, construction que projetait alors une petite dizaine de pays européens, dont le mien, la France. Sécheresse, transparence du ciel, stabilité de l'atmosphère, sismicité acceptable étaient au programme de l'examen impitoyable qu'allait passer, parmi quelques autres sommets, le Cerro Paranal. Finalement choisi en 1990, il fut arasé d'une trentaine de mètres à la dynamite pour faire place à la construction d'une plateforme. Celle-ci accueillera les télescopes que nous projetions et qui forment aujourd'hui le Very Large Telescope européen, le VLT, notre bel observatoire.

Ce soir de printemps 2018, plus de trente ans après ma première ascension, je reviens à Paranal. Ce passé de ma jeunesse est presque noyé dans le flou de mon souvenir. La nuit est tout à fait tombée et surgissent, incroyablement brillantes, des myriades d'étoiles qui ne scintillent pas, tant l'atmosphère est stable, semblant dépourvue de turbulence. Leurs obscures clartés s'ajoutent et le ciel est aussi clair que l'étendue du désert est sombre, sans villages ni lumières aussi loin que porte le regard. En contrebas, une voiture soudain rompt le silence du désert, gravit la pente, s'arrête, se parque et débarque trois silhouettes qu'avale en un instant l'entrée d'une galerie creusée dans la montagne.

L'action est désormais dans cette salle à demi souterraine où je rejoins les trois silhouettes, trois astronomes. Depuis cette salle de contrôle sont commandés chacun des huit télescopes qui occupent la plate-forme. Les postes de travail sont confortables, chaque poste est doté de nombreux

écrans qui affichent toutes sortes de données de mesures. Ils répercutent les ordres qui déterminent le programme de la nuit et sont déjà préparés dans les ordinateurs. Si tout va bien, les opérateurs s’y conforment rigoureusement, car chaque minute est précieuse. Quand la météo est favorable, la nuit sera toujours bien trop courte pour boucler le programme. Dans quelle direction du ciel pointer tel télescope ? Quel instrument choisir ce soir pour analyser la lumière qu’il collecte ? Quel programme de mesure effectuer ? Pour quelle équipe d’astrophysiciens, qui l’a proposé il y a plusieurs mois, puis s’est vu notifier son acceptation et l’attribution d’un certain nombre de nuits d’observation ?

Cette nuit qui m’accueille est quelque peu inhabituelle. Pour sonder les profondeurs de l’univers, seules deux équipes accèdent ce soir à cette armée de huit télescopes – quatre géants aux miroirs de 8,2 m, et les quatre autres plus petits d’à peine 2 mètres, abrités par les blancs « coquetiers ». Nuit inhabituelle, car le plus souvent c’est une demi-douzaine d’équipes qui se partagent les instruments montés sur cet ensemble de télescopes, chacune déroulant son programme d’observation. Les noms des quatre géants, dont ce récit raconte la naissance, ont été proposés dans les années 1990 par une jeune écolière, Albanez Castilla, à la suite d’un concours dans les écoles de la région II du Chili. Ces noms, issus de la langue indienne Mapuche et désignant respectivement les télescopes peu poétiquement identifiés par UT1, UT2, UT3 et UT4, sont Antu (le Soleil), Kueyen (la Lune), Melipal (la Croix du Sud) et Yepun

(Sirius). Ce seront leurs noms dans ce récit. Les miroirs de ces géants, de 8,2 mètres de diamètre, les classent en cette décennie 2010 parmi les plus grands instruments optiques au monde.

## **Notre lointain voisin, le trou noir du Sagittaire**

La première équipe est celle de Guy Perrin, astronome à l'Observatoire de Paris. Il est ce soir à la manœuvre avec Frank. Frank Eisenhauer travaille dans l'un des Instituts Max-Planck de Garching, installé au cœur d'un superbe campus scientifique dans la banlieue de München en Bavière.

Guy, né en 1968, figura parmi mes étudiants passionnés et brillants, au temps lointain où il étudiait physique et astrophysique à l'École Polytechnique et à l'université Paris-VII. Au fil de ce récit, nous rencontrerons souvent cet astronome éminent et le présenterons plus longuement. Ce soir, son équipe a obtenu d'utiliser, pendant plusieurs nuits et simultanément, les quatre télescopes géants du VLT qui, aussi surprenant que cela puisse paraître, travaillent de conserve en mélangeant les lumières que chacun recueille. Le sujet du programme d'observation, sélectionné après une rude compétition entre astronomes, est fascinant puisqu'il s'agit d'obtenir une image, aussi détaillée et précise que possible, de ce qui se passe au voisinage immédiat d'un trou noir, le trou noir super massif qui se trouve quasi certainement au centre de la Galaxie, notre Voie lactée.

Aussi étonnant qu'il y paraisse, l'idée qu'un objet aussi exotique qu'un trou noir puisse exister dans

l'Univers est ancienne, puisqu'elle date de 1783. Cette année-là, un clergyman anglais, astronome, John Michell, s'interrogea sur l'existence possible d'un corps massif, si massif que même la lumière – dont la vitesse était alors approximativement connue – étant retenue par la gravité, ne puisse s'échapper de la surface de ce corps. Michell connaissait la masse du Soleil. Il concluait qu'une étoile, de même matière et densité que le Soleil, de cinq cent fois son rayon, retiendrait toute lumière produite à sa surface. Ce serait, selon le nom qu'il proposa, une « étoile sombre » (*dark star*)<sup>2</sup>. Évidemment, une telle étoile serait invisible au télescope. Mais le Révérend Michell, par un trait de génie, indiqua que l'on pourrait néanmoins en détecter la présence grâce à son intense champ de gravitation, dans le cas favorable où elle formerait un système double avec une autre étoile, celle-ci normale<sup>3</sup>. Observant cette étoile, on constaterait alors un mouvement oscillant, permettant d'inférer la présence de l'invisible compagnon. Beaucoup d'étoiles doubles étaient alors connues mais on ne savait rien de la probabilité qu'une telle configuration se produise : un objet double formé d'une étoile normale et d'une *dark star*. Il n'est donc pas surprenant que, de Michell à 1973, date de la découverte du premier trou noir, observé par les rayons X émis en son voisinage et dénommé « Cygnus-X1 », l'attente ait été longue mais féconde. Nous la racontons au chapitre 7.

Précisément au centre de notre Galaxie – avec une majuscule, car c'est celle où se trouve le Soleil et son cortège de planètes –, se trouve un objet, distant d'environ 26 000

années-lumière de nous et dont la masse est d'environ quatre millions de fois celle du Soleil. C'est le seul personnage présentant une telle concentration de masse dans la Galaxie, ce qui conduisit progressivement à penser qu'il s'agissait presque certainement d'un trou noir. Nous l'appelons Sagittarius A\*, car il se trouve dans la belle constellation du Sagittaire, superbe dans le ciel d'été. Son A\* désigne une source d'ondes lumineuses émises aux fréquences radio, par lesquelles il fut découvert. Notre collègue allemand Reinhard Genzel et son équipe exploraient le voisinage de cette source dès les années 1990. Ils ont émis l'hypothèse, que depuis chaque observation vient confirmer, qu'un trou noir supermassif est présent là, si proche de nous dans l'espace comme dans le temps – 26 000 ans, à peine plus que la durée nous séparant du Néolithique. D'autres trous noirs massifs existent, mais ils sont perdus dans l'espace mille fois plus loin ou davantage. Aussi l'environnement de SgrA\* forme-t-il un véritable laboratoire, qui nous est plus accessible que tous les autres. Là, nous pouvons observer depuis la Terre les phénomènes prévus par la relativité générale lorsque l'intensité de la gravitation atteint des valeurs gigantesques. Sagittarius A\* est donc un des héros de ce récit.

Frank, venu de Bavière, collaborateur de Reinhard, et Guy sont deux astrophysiciens, rompus à leur métier, qui ce soir orchestrent l'équipe installée au poste de commande. De là, chacun des quatre opérateurs, qui seuls ont le droit de mettre en mouvement les télescopes, exécutent le programme de la nuit, déroulant les ordres aux ordinateurs. Ceux-ci, dociles, orientent parallèlement les quatre télescopes



– Antu, Kueyen, Melipal et Yepun – vers la constellation du Sagittaire. Ils suivent dans le ciel le mouvement apparent des étoiles, provoqué par la rotation régulière de la Terre au cours de la nuit. Par des jeux de miroirs, la lumière recueillie par les quatre miroirs géants est canalisée vers une salle souterraine. Les pupitres de commande y activent à distance l'imposant instrument *Gravity* qui s'y trouve, construit par les laboratoires de Frank, Guy et quelques autres. Cet instrument reçoit, mesure et analyse cette lumière qui est partie de la région centrale de la Galaxie il y a 26 000 ans, alors que l'Europe était encore couverte de glaces. Cette lumière apporte aux astronomes de précieuses informations. Des programmes informatiques, longuement préparés, traduisent cette analyse en graphiques, figures, courbes et nombres sur lesquels, tout au long de la nuit, Frank et Guy se penchent, entourés d'une demi douzaine de collègues qui veillent à tous les détails de ce complexe et céleste processus.

Le but ultime, poursuivi avec ténacité depuis plus d'une décennie, est d'une ambition extrême. Il veut distinguer individuellement les étoiles présentes à très courte distance du trou noir, prisonnières de l'intense champ gravitationnel qui l'entoure et qui donc tournent rapidement autour de lui. Cette nuit, l'équipe met donc en œuvre l'instrument *Gravity*, qui délivre une incroyable finesse d'image, jamais obtenue encore dans ce domaine de la lumière infrarouge. Nuit après nuit, il détermine la position changeante d'une de ces étoiles, appelée S2. La distance qui sépare S2 de SgrA\* est d'environ quatorze heures-lumière. La finesse d'image recherchée, permettant de distinguer le trou noir de l'étoile

S2, se caractérise donc par un simple angle. Celui-ci est l'angle entre la direction de S2 et celle de SgrA\*, vus de la Terre. Cet angle est égal au rapport de deux longueurs, soit : *quatorze heures – lumière / vingt six mille années – lumière* =  $14 / (26\,000 \times 365 \times 24) \sim 50.10^{-9}$ , soit encore cinquante milliardièmes de radians<sup>4</sup>, soit encore un angle de douze *millièmes de seconde d'arc*, soit douze « millisecondes » d'arc. Autant dire que l'acuité d'image obtenue permettrait de discerner la silhouette d'une fusée posée sur la Lune ! Voici donc la tâche de Guy, de Frank et des quatre-vingt-dix-sept chercheurs qui forment l'équipe *Gravity* et attendront demain matin les nouvelles de la nuit, penchés sur leur courrier électronique dans leurs laboratoires d'Europe. Car cette nuit, les mesures obtenues avec cet instrument unique au monde sont l'aboutissement d'une quête patiente engagée vingt-six ans plus tôt. Dans quelques semaines, un article intitulé « Détection du décalage gravitationnel vers le rouge dans l'orbite de l'étoile S2 au voisinage du trou noir massif du Centre de la Galaxie » annoncera au monde scientifique qu'une prédiction majeure d'Albert Einstein est, pour la première fois, solidement vérifiée en présence d'un énorme champ gravitationnel<sup>5</sup>. Comment en est-on arrivé là ?

## **Exoplanètes, autres mondes si proches**

Dans l'immense salle, silencieuse tant l'attention de chacun est concentrée, une seconde équipe, conduite ce soir par Anne, se prépare pour la nuit suivante. Aujourd'hui, lors des

heures qui ont précédé le crépuscule, Anne a soigneusement testé le fonctionnement de l'instrument, dénommé Sphere, qui équipe l'un des foyers du télescope Melipal et que son laboratoire a contribué à concevoir puis à construire. Puis elle a rendu la main, c'est-à-dire l'utilisation de Melipal, à l'équipe de Gravity. Mais demain soir, la nuit sera pour Anne, aussi vérifie-t-elle point par point que l'instrument Sphere sera en mesure d'exécuter le programme prescrit.

J'ai connu Anne-Marie Lagrange – nous l'appellerons Anne – toute jeune, lorsqu'étudiante elle aussi à l'École polytechnique, elle cherchait quel serait son chemin dans la science et se décida pour l'astrophysique. C'est alors que chaque semaine, son beau regard attentif et volontaire se distinguait parmi les visages de celles et ceux qui suivaient le cours de master<sup>6</sup> que j'enseignais alors à l'université Paris-VII. Anne, elle aussi, est une héroïne de ce récit. Dès son doctorat, entre 1985 et 1988, alors que le projet européen n'est encore qu'un défi sur le papier, Anne s'intéresse à une étoile entourée de poussières qui, peut-être, possède des comètes comme le Soleil. Or qui dit poussières et formation de comètes, dit peut-être formation de planètes? L'étoile  $\beta$  Pictoris et son anneau sont situés dans la constellation australe du Peintre (*Pictor*). Celle-ci, comme d'autres constellations australes, fut nommée lors des voyages de Magellan. L'étoile Beta Pictoris va devenir le tremplin sur lequel s'élance la superbe carrière d'Anne. Elle ira de découvertes en découvertes, sans qu'elle ne perde jamais sa simplicité ni son charme, jusqu'à ce qu'en France elle soit désignée comme *Femme scientifique de l'année 2011*.

La quête d'Anne est bien différente de celle de Guy. Ce n'est pas l'exploration de l'environnement tourmenté et mystérieux d'un trou noir lointain, situé à plus de vingt mille années-lumière de notre Terre, mais la recherche de l'existence et des propriétés d'une planète, en orbite autour d'une autre étoile que le Soleil, à quelques années-lumière de nous, donc tout près. Anne est mondialement reconnue et respectée en tant que spécialiste de ce sujet – ces autres mondes que l'on appelle les « exoplanètes ». D'où vient-il que ce sujet tienne une pareille place dans le présent récit ?

Le Grec Démocrite inventa la notion d'atome, par pure intuition, plus de deux mille ans avant que Jean Perrin en démontre l'existence et obtienne pour cela le prix Nobel de physique en 1926. Démocrite s'intéressa aussi à l'éventuelle pluralité des mondes dans l'Univers. Pure spéculation ici encore, qui mérite d'être citée : « Certains mondes n'ont ni Soleil ni Lune, pour d'autres ils sont plus grands que dans le nôtre, pour d'autres encore plus nombreux. En certains endroits il y a davantage de mondes, en d'autres moins [...]; là ils émergent, ici ils sont en décadence. Certains sont privés de créatures vivantes, de plantes ou de toute humidité »<sup>7</sup>. Ces « autres mondes » hypothétiques, comme ce texte l'indique, sont des objets bien différents du Soleil. Les analogies évoquées les rapprocheraient de la Terre, tout en s'en distinguant dans leur diversité. La spéculation sur leur existence dure plus de vingt-trois siècles, en passant par les *Entretiens sur la Pluralité des Mondes* (1686) de Bernard Le Bouyer de Fontenelle, qui fut secrétaire perpétuel de l'Académie royale des sciences à Paris, ou