

Fleur de sel

Joseph Zaccai¹

¹ Directeur de Recherche Émérite, Institut de Biologie Structurale, Grenoble, France

RÉSUMÉ. Mélanie et son époux, scientifique spécialisé dans la biologie de milieux hypersalins, partent en vacances en Camargue pour observer les flamants roses et visiter les salins.

ABSTRACT. Mélanie and her husband, a scientist specialising in the biology of salt lakes, go on holiday to the Camargue to observe pink flamingos and visit the saltworks.

MOTS-CLÉS. Mer Morte, Camargue, salin, flamants-roses, biologie-du-sel, archée, halophile.

KEYWORDS. Dead Sea, Camargue, saltworks, pink-flamingoes, salt-biology, Archaea, halophile.

Le blues de la rentrée. J'en souffrais même si depuis mon départ à la retraite je passais le mois d'août dans ma maison et son petit jardin ombragé. Le blues de voir les autres revenir de vacances ; d'entendre les voitures qui démarrent alimenter les bouchons et chasser le chant des oiseaux des arbres de notre petite rue ; de la cacophonie des enfants dans la cour de l'école à côté. J'avais pris l'habitude de m'enfouir la tête dans l'oreiller et de m'enrouler dans la couverture pour m'isoler... et partir en rêves de vacances. Silence du désert, murmure de la mer. Dunes mouvantes, cimes sculptées par le vent, pieds dans les vagues. Le kayak filait droit propulsé par la force de mes bras. Torse nu rafraîchi par l'évaporation de ma transpiration dans le courant d'air de la course. Je respirais le sel.

– Où es-tu ?

La voix de Mélanie pénétrait dans ma tanière. Je ne répondais pas. Je respirais plus profondément, ronflais un peu. Pas dupe, elle insistait.

– Réveille-toi.

– Je ne suis pas là. Laisse-moi.

– Je t'ai apporté le café.

– Laisse-moi je te dis.

Et je repartais dans mon désert de sable et de sel au bord de mer.

Cette année, Mélanie m'a persuadé de partir pour de vraies vacances. Profitant de notre liberté de retraités nous sommes partis le jour de la rentrée des classes passer quinze jours en Camargue.

Nous sommes arrivés devant les remparts d'Aigues Mortes au coucher du soleil, parmi les reflets dorés sur les salins roses et les pyramides de sel, blanches comme neige. Le sel, ma passion, mon obsession. Cependant, Mélanie n'était pas indifférente au choix de la Camargue pour notre dépaysement. Peintre amateur de tableaux monochromes, elle espérait explorer les possibilités artistiques de la couleur rose. Je me moquais d'elle.

– Tu deviendras célèbre, on t'appellera la Soulages du rose bonbon !

Elle ne daigna pas répondre.



Vue des Salins d'Aigues Mortes.

Nous avons pris une chambre dans un Mas sur la route entre Aigues Mortes et Le Grau du Roi. Une fois installés, j'étais impatient de me rendre aux salins où je connaissais le directeur, un ami de longue date, mais il était tard. Ça attendrait le lendemain. Il faisait doux. On s'est baladé dans les ruelles d'Aigues Mortes avant de déguster un repas de pâtes aux fruits de mer, arrosé d'une bouteille correcte de rosé des sables.



Vue de la Mer Morte

Ma passion pour le sel en biologie date d'un séjour dans un laboratoire en Israël où on travaillait sur la vie dans la Mer Morte. Le sel est utilisé pour préserver les aliments depuis l'antiquité. La pourriture étant dû à l'action de moisissures et de bactéries, il est raisonnable de conclure que la vie sera impossible dans des fortes concentrations en sel. Pourtant le sel, avec modération, est essentiel à la vie, tout autant que l'eau, sans modération.

On n'était pas encore prêts à revenir au Mas et nous nous sommes posés à une terrasse de café de la place Saint Louis pour prendre une glace. Mélanie me fixait avec un drôle de regard.

– Oui ?

– Explique-moi pour le sel.

– Pourtant ça ne t'a jamais intéressée.

– Je sais. Ça m'intéresse maintenant.

– Tu le fais pour me faire plaisir ?

– Mais non. Tu es compliqué. Je veux comprendre... pour mon tableau. Vas-y, explique. Le sel, pourquoi... ? Tu as dû le faire mille fois devant tes étudiants.

– Et bien. Ça commence avec la molécule d'eau.

– La molécule d'eau ?

– H₂O, un atome d'oxygène lié à deux atomes d'hydrogène. Les hydrogènes portent une charge électrique positive, l'oxygène, deux charges électriques négatives. Comme tu le sais les charges de signe opposé s'attirent. Cela mène à une organisation moléculaire où chaque molécule d'eau est entourée de quatre autres. Imagine la molécule d'eau comme un petit bonhomme ; ses bras sont les atomes d'hydrogène de charge positive, ses jambes les charges négatives de l'oxygène.

– Je dois voir les molécules d'eau comme des petits bonhommes qui se tiennent par les pieds ?

– Tout à fait. Et maintenant, suis-moi bien. Dans la glace cette structure est ordonnée, figée, dure ; dans la vapeur d'eau elle n'existe pas et les molécules s'envolent, indépendantes les unes des autres ; en revanche, dans l'eau liquide les petits bonhommes ne se tiennent que pour *une très, très brève fraction de seconde* avant de changer de partenaires. On dit que l'eau liquide est dynamique et désordonnée *C'est la danse de l'eau*. Pas un menuet bien ordonné plutôt une danse primitive, libre, une danse de rave party.

– Les bonhommes dansent en se tenant les pieds. Je vois. C'est ça que tu racontes à tes étudiants et ils ne se barrent pas de l'amphi ?

– Les propriétés extraordinaires de l'eau par rapport à d'autres substances coulent de source, si j'ose dire, de cette liberté chaotique au niveau moléculaire. Des propriétés à la base de la formation des nuages et de la pluie et donc du climat. Des propriétés qui font que la glace, étrangement pour un solide, soit plus légère que l'eau liquide. Dans les océans arctiques et les lacs en hiver, les poissons peuvent vivre tranquilles sous la glace.

– Bien sûr. Je n'y avais pas pensé.

– Les propriétés de l'eau permettent également la mise en place spontanée de structures comme les membranes qui entourent nos cellules, la double hélice de l'ADN ou encore le repliement de la forme active des enzymes. L'eau est essentielle à la vie.

– C'est pour cela que dans la recherche de vie extraterrestre on cherche d'abord la présence d'eau.

– Oui.

– Et le sel ?

– Maintenant, Mélanie, ma chérie, le sel entre en scène. En solution dans l'eau, une molécule de sel se sépare en deux ions — dans le cas du sel de table, NaCl, l'ion sodium, Na⁺, de charge positive, et l'ion chlorure, Cl⁻, de charge négative. Dans cette forme les sels participent aux réactions

biochimiques. Prenons l'exemple de la molécule d'ADN. Elle comporte des groupements phosphate de charge négative. Les charges de même signe se repoussent. Or, dans la structure ordonnée en double hélice de l'ADN, les phosphates sont proches les uns des autres ; comment font-ils pour ne pas déstabiliser la double hélice en se repoussant ?

– Ils perdent leur charge négative ?

– Presque. Leurs charges sont neutralisées par des ions positifs recrutés de l'eau environnante, notamment des ions magnésium, Mg^{++} . Le milieu aqueux du vivant n'est pas de l'eau pure. Il est constitué de solutions d'ions de types et concentrations spécifiques. La solution physiologique de NaCl à 0.9% qu'on utilise en perfusion intraveineuse correspond à la composition du sérum, le milieu extracellulaire du sang. À l'intérieur des cellules, l'ion sodium est remplacé par l'ion potassium, K^+ . Cette différence de milieu ionique entre l'intérieur et l'extérieur des cellules est vitale, dans le sens propre du mot. Elle participe aux processus énergétiques de la cellule, comme dans une batterie. Si on se trompait et on injectait dans une veine une solution de KCl au lieu de NaCl, le cœur s'arrêterait de battre.

– C'est effrayant.

– Voici un autre exemple de l'importance des ions concernant l'ADN. Pour remplir sa fonction elle doit former des liaisons avec d'autres molécules. Des charges de signe opposé sur la molécule contribuent aux liaisons.

– Et si la concentration environnante de sel est trop forte, les ions feraient écran...

– Bravo. Tu m'épates. De plus, les ions interagissent avec le réseau dynamique de molécules d'eau, une perturbation qui à forte concentration de sel pourrait inhiber gravement les interactions entre molécules biologiques.

– Donc, pas de vie dans la Mer Morte ou les salins parce que l'ADN et les autres molécules biologiques ne pourront pas faire leurs jobs dans ces conditions ?

– Si. Déjà, Charles Darwin attribua à des microorganismes la couleur rouge des étangs salins découverts pendant ses voyages. Au début du 20^e siècle, au Canada, l'apparition de taches rouges dans les yeux de harengs conservés par salaison a également été attribuée à une pourriture due à des microorganismes adaptés au sel. Tu te souviens de Fadel, mon étudiant sénégalais ; il nous avait rapporté un bloc de sel coloré du Lac Rose. Nous avons d'abord cru que la couleur avait une origine minérale, comme dans le sel de l'Himalaya. Après quelques mois la couleur avait disparu ; les microbes halophiles sont morts quand le bloc a séché. Je t'expliquerai demain. Maintenant, je suis fatigué. La journée a été longue.

*

Le flamant rose allongea le cou et sa tête disparut sous l'eau. Il n'était qu'à quelques mètres de là où nous étions accroupis, cachés par les joncs qui entouraient l'étang. Mélanie prenait des photos avec son téléphone. Plus loin, un vol de flamants roses s'était posé au centre de l'étang. Certains, se tenaient immobiles sur une patte ; d'autres, avançaient lentement en pataugeant ou plongeant le corps dans l'eau pour se baigner puis s'allongeaient en battant des ailes pour se sécher les plumes ; d'autres encore reprenaient leur vol comme des flèches. L'oiseau proche de nous avança de quelques pas puis en courbant le cou, releva la tête, couverte de vase. Mélanie, ravie, le prenait en vidéo.



Flamant rose se nourrissant dans le marais salant.

– Que cherche-t-il à obtenir en enfonçant sa tête dans la boue ?

– Il se nourrit de petits crustacés, *Artemia salina*.

– Salina, eh.

– Tout à fait. L'eau de l'étang est très salée. Tiens, goutte.

J'ai plongé mon doigt dans une flaque et lui ai touché les lèvres.

– Beurk, c'est dégeu, arrête.

– La couleur rose de leur plumage est due à une petite molécule de la famille des caroténoïdes, qu'ils obtiennent d'*Artemia*.

– Tu te souviens quand tu m'avais fait visiter ton laboratoire. J'ai été intriguée par les flacons contenant un liquide rouge, les cultures de microbes halophiles, qui poussent dans des milieux salins. Tu m'avais dit que la couleur provenait de caroténoïdes dans leurs membranes.



Flacon contenant une culture d'archées halophiles

– Tu me tends une perche. *Artemia* est incapable de produire des caroténoïdes. Elle se nourrit de microbes halophiles ainsi que de microalgues du genre *Dunaliella* riches en caroténoïdes.

– Elle est fascinante cette histoire ; la couleur rose passe des microbes et des algues aux crustacés pour finir dans le plumage des flamants roses. On sait pourquoi ?

– Si ça a été sélectionné par l'évolution c'est que ça procure certains avantages.

– Peut-être tout simplement parce que c'est joli.

– Si tu veux.

Et j'ai souri, le scientifique concédant à l'artiste.

Mon ami le directeur du salin nous avait invité à déjeuner. Après, il nous montra sur un plan le chemin à prendre pour voir les sauniers faire la cueillette de la fleur de sel. Les tas blancs scintillaient au soleil comme si c'étaient des piles de petits diamants.

Nous sommes revenus au Mas pour prendre une douche et nous allonger un peu. J'ai pris un livre pour m'aider à m'endormir. Mélanie, cependant n'avait pas fini de me questionner.

– La forte concentration en sel empêche la fonction normale des ions en biologie mais il y a de la vie quand même. Comment ?

– Différentes solutions ont été adoptées. Dans *Dunaliella*, l'intérieur des cellules est fortement concentré en glycérol, créant un environnement biocompatible. Dans la Mer Morte, il y a des cultures commerciales de *Dunaliella* pour en extraire le glycérol.

– Et dans tes bactéries rouges ?

– Ce ne sont pas des bactéries mais des archées. Un troisième royaume du vivant découvert après ceux des bactéries, organismes unicellulaires dépourvus de noyaux, et des eucaryotes, organismes unicellulaires ou pluricellulaires où l'ADN est clôturée par une membrane. Il est remarquable que des organismes qu'on appelle extrémophiles, parce qu'ils habitent dans des milieux extrêmes, à haute salinité, à hautes températures dans des sources chaudes ou encore à très hautes pressions dans les grands fonds, font partie des archées.

– Tes archées contiennent du glycérol ?

– Pas du tout. L'intérieur des cellules est quasiment saturé en KCl. Cela pose un défi énorme aux chercheurs.

– Ton sourire béat me suggère que vous l'avez relevé.

– On avance. Et ta réflexion artistique sur le rose ?

– « Dans Arles, où sont les Alyscamps,

Quand l'ombre est rouge, sous les roses,

Et clair le temps,

Prends garde à la douceur des choses.

Lorsque tu sens battre sans cause

Ton cœur trop lourd ;

Et que se taisent les colombes :

Parle tout bas, si c'est d'amour,

Au bord des tombes. »

Contrairement à moi qui peux lire le même livre plusieurs fois sans me rappeler du dénouement, Mélanie a une vaste bibliothèque dans la tête.

– C’est beau. De qui ?

– Toulet. Paul-Jean de son prénom... Je pense aussi aux couchers de soleil de Turner...

*

Pendant les semaines qui ont suivi notre retour de Camargue, Mélanie disparaissait dans son atelier pour travailler sur sa peinture. Elle refusait de m’en parler et comme d’autres sujets de conversation ne l’intéressaient plus, j’ai passé une période bien tranquille.

À la mi-décembre, elle m’a invité dans son atelier. Elle a levé le drap du chevalet pour me présenter *Carré rose*. A première vue, le titre disait tout. Effectivement, un carré rose de soixante centimètres de côté trônait sur le chevalet. Trois mois de travail ? J’étais tenté mais je me suis retenu d’ironiser. Je me suis rapproché du chevalet. La surface du tableau était rugueuse, traversée de bandes qui renvoyaient la lumière. L’œuvre n’était pas monochrome mais un dégradé complexe du spectre des caroténoïdes dilué par du blanc pour produire des teintes de rose. Les couleurs se déstructuraient en régions de minuscules cristaux blancs qui rappelaient la fleur de sel. Un mouchetage de petits points, presque invisibles, couvrait l’ensemble de la surface. J’étais ébloui. Dans ce carré de soixante centimètres de côté, Mélanie avait réussi à exprimer toute la fascination de la vie à haut sel.

Références

Microbiology: Rousing from a salty slumber. *The Economist* (November 18th-24th, 2023, p. 77).

TEHEI, M., FRANZETTI, B., MAUREL, M. C., VERGNE, J., HOUNTONDI, C. & ZACCAI, G. 2002. The search for traces of life: the protective effect of salt on biological macromolecules. *Extremophiles*, 6, 427-30.

TEHEI, M., FRANZETTI, B., WOOD, K., GABEL, F., FABIANI, E., JASNIN, M., ZAMPONI, M., OESTERHELT, D., ZACCAI, G., GINZBURG, M. & GINZBURG, B. Z. 2007. Neutron scattering reveals extremely slow cell water in a Dead Sea organism. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104, 766-71.

ZACCAI, G. 2017. Salt Survivors. *The Biologist*, 64, 24-27.