

La soif de nectar

Tristan Gilet¹
 Wonjung Kim²
 John W.M. Bush³

Comment la physique contraint-elle les préférences des pollinisateurs ?

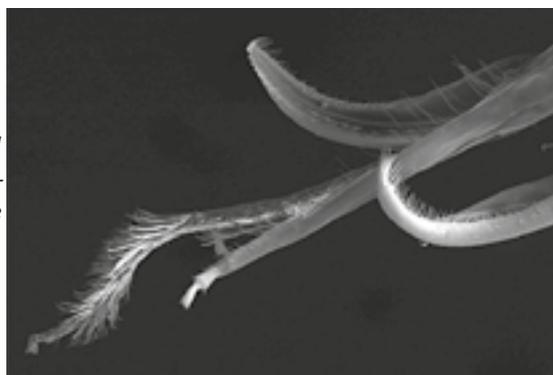
Le nectar des fleurs est une nourriture de choix pour de nombreux animaux : papillons, fourmis, abeilles, colibris, et même chauve-souris à l'occasion. Pour attirer ces pollinisateurs potentiels, les plantes concoctent une variété de nectars plus ou moins riches en sucre. Sous quelles contraintes l'animal fait-il alors son choix ? Y a-t-il des nectars dont il est plus opportun de se nourrir ? Pourquoi les papillons et les colibris se dirigent-ils spontanément vers un nectar moins concentré que celui préféré par les abeilles ?

On entend souvent que l'évolution naturelle a amené les systèmes biologiques vers un *optimum*, mais il est rare de savoir ce que la nature a réellement optimisé. La réponse est parfois très complexe. Lorsqu'il s'agit de se nourrir de nectar, l'objectif est probablement de maximiser les calories (donc ici le sucre) absorbées en un temps donné. Il faut se nourrir efficacement pour ensuite éviter la prédation. Cependant, on ne se nourrit pas aussi vite que l'on veut. Extraire le nectar demande un certain effort, et la puissance musculaire que l'animal peut y consacrer est toujours limitée. Si le nectar est riche en sucre, une petite quantité procurera beaucoup d'énergie. Mais ce nectar sera également plus visqueux, et donc intuitivement plus difficile à sortir de la fleur. On s'attend donc à ce qu'il existe un nectar dont la concentration en sucre soit optimale pour le pollinisateur. Depuis 30 ans, plusieurs équipes de biologistes étudient ces concentrations optimales, chacune pour une espèce pollinisatrice. Ils proposent à l'animal plusieurs solutions sucrées à différentes concentrations, et déterminent celle qui maximise la quantité de sucre ingérée en un temps

donné. Cette dernière varie d'une espèce à l'autre. Pour les papillons et les colibris, elle est toujours entre 30 % et 40 %. Mais certaines espèces d'abeilles et de fourmis se montrent plus efficaces avec des nectars très visqueux, allant jusqu'à 60 % de sucre. Pourquoi ? Dans un travail de recherche publié en 2011 dans la revue scientifique PNAS, nous avons montré que cette concentration optimale dépend essentiellement de la manière dont l'animal extrait le nectar, autrement dit du mécanisme qu'il met en œuvre pour se nourrir. La nature est inventive et l'on y trouve une myriade de mécanismes plus ingénieux les uns que les autres. Néanmoins, trois principes d'extraction sont observés de manière récurrente :

- 1 La pompe active :** Certains animaux (dont les papillons) possèdent une trompe (proboscis) en forme de tube, par laquelle ils peuvent aspirer le liquide comme on le ferait avec une paille.
- 2 La pompe passive :** D'autres (dont les colibris) remplissent cette trompe par montée capillaire, et l'écrasent ensuite en commençant par le bas pour chasser le nectar vers la bouche (comme une tirette que l'on referme).
- 3 Le trempage :** Enfin, certaines abeilles et fourmis trempent leur trompe et la retirent. Celle-ci est alors entièrement recouverte du précieux nectar.

Images en microscopie électronique à balayage : Abeilles etc...
 Mesures Physiques IUT
 de Bourges - France





Mécanisme	Nom	Espèce	Optimum	Référence
Pompe active	Fourmis	<i>Atta</i>	30	Paul2003
		<i>Camponotus</i>	40	Paul2003
	Abeilles	<i>Euglossa</i>	35	Borrell2004
	Papillons	<i>Agraulis</i>	40	May1985
		<i>Phoebis</i>	35	May1985
		<i>Speryeria</i>	35	Boggs1988
		<i>Thymelicus</i>	40	Pivnick1985
		<i>Vanessa</i>	40	Hainsworth1991
	Papillons de nuit	<i>Pseudaletia</i>	40	Pivnick1985
		<i>Macroglossum</i>	35	Josens2001
<i>Manduca</i>		30	Stevenson1991	
Pompe passive	Colibris	<i>Selasphorus</i>	35-45	Roberts1995, Tamm1986
	Méliphagidés	<i>Anthochaera</i>	50	Mitchell1990
		<i>Phylidonyris</i>	40	Mitchell1990
	<i>Acanthorhynchus</i>	30	Mitchell1990	
Nectariniidés	<i>Cinnyris</i>	30	Köhler2010	
Trempage	Fourmis	<i>Pachycondyla</i>	50	Paul2003
		<i>Rhytidoponera</i>	50	Paul2003
	Abeilles	<i>Bombus</i>	55	Harder1986
		<i>Apis</i>	55	Roubik1984
		<i>Melipona</i>	60	Roubik1984
	Chauve-souris	<i>Glossophaga</i>	60	Roces1993

Le tableau ci-dessus fait la synthèse de ces 30 années d'études, et ordonne les espèces selon le mécanisme qu'elles emploient. Nous avons constaté que les concentrations optimales associées aux mécanismes (1) et (2) sont essentiellement entre 30 et 40 %, alors que celles du mécanisme (3) sont toujours supérieures à 50 %. Il y a donc visiblement un lien fort entre le nectar le plus indiqué et le mécanisme utilisé pour l'extraire.

Nous avons ensuite utilisé les lois de la mécanique des fluides pour savoir comment le débit pompé à puissance fixée diminue lorsque la viscosité du liquide (et donc sa teneur en sucre) augmente. Ces lois nous indiquent que pour les deux mécanismes de pompe (active et passive), doubler la viscosité fait perdre 29 % de débit. En revanche, cette même

augmentation de viscosité ne fait perdre que 11 % du débit dans le cas du trempage. Ce dernier est donc bien moins sensible à la viscosité, ce qui permet aux pollinisateurs concernés de se diriger vers des nectars plus riches en sucre sans avoir à payer le prix d'un débit diminué. Les concentrations optimales prédites par ces modèles de mécanique des fluides sont de 33 % pour les pompes (1-2) et de 52 % pour le trempage. Ces chiffres sont en excellent accord avec les *optima* mesurés en laboratoire.

En conditions naturelles également, les fleurs d'intérêt pour les trempeurs offrent un nectar significativement plus concentré (35 %) que celles attirant les suceurs (20-25 %). Et de manière remarquable, cette préférence semble dépendre essentiellement du mécanisme de récolte. Ceci semble indiquer un nouvel exemple de coévolution entre

les plantes et leurs pollinisateurs. Le résultat doit cependant être nuancé : les concentrations offertes par les fleurs sont moindres que les *optima* observés en laboratoire. En effet, l'optimisation ne prend pas en compte plusieurs autres contraintes environnementales auxquelles les plantes et pollinisateurs doivent faire face, dont le coût du transport et la compétition avec les autres individus, colonies et/ou espèces. Certaines études ont également suggéré que les fleurs essaient de maintenir leurs pollinisateurs affamés et fidèles : une récompense trop grande et ces derniers se sentiraient moins obligés de voguer de fleur en fleur; une récompense trop petite, et ça serait la désertion. Et d'ainsi suivre les conseils de Valère à Maître Jacques : « Pour se bien montrer ami de ceux que l'on invite, il faut que la frugalité règne dans les repas qu'on donne » (Molière, *L'Avare*).

Lors d'une évolution sans relâche, la nature semble s'efforcer de tirer le meilleur parti des lois de la physique. Elle constitue à ce titre une source d'inspiration intarissable pour les ingénieurs rencontrant des problèmes similaires. Et lorsqu'il s'agit de choisir son nectar, on y retrouve la sagesse populaire de ce proverbe kurde : « Le doigt long peut manger du miel ».

Publication scientifique associée dans laquelle vous trouverez toutes les références :

Wonjung Kim, Tristan Gilet & John W.M. Bush, *Optimal concentrations in nectar feeding*, PNAS 108 (40), 16618-16621 (2011)

<http://www.pnas.org/content/108/40/16618.full>

1. Microfluidics Lab, Département Aérospatiale et Mécanique, Université de Liège, Belgique

2. Bio/Micro Fluid Mechanics Laboratory, Department of Mechanical Engineering, Sogang University, South Korea

3. Department of Mathematics, Massachusetts Institute of Technology, MA-USA

MOTS CLÉS :

flore et miellée, biologie, nectar, dynamique des fluides, optimisation

RÉSUMÉ :

Comment les pollinisateurs choisissent-ils leur nectar ? La concentration en sucre qui leur sera optimale dépend du mécanisme qu'ils utilisent pour extraire le précieux liquide de la fleur. Les lois de la dynamique des fluides nous renseignent alors sur cette concentration, et ce pour chaque espèce nectarivore.

