حركة البطريق الإمبراطوري[1]

بقلم : بيرنهارد بيكرمان Bernhard Beckermann [2]

ترجمة الطالبتين : سمـــــاح حـــمزاوي

فاطمة الزهراء بولنوار

زوج من البطريق الإمبراطوري وصغيرهما.

هل تساءلت يوما عن الاستراتيجية التي يتبناها طائر البطريق الإمبراطوري للاحتماء من البرد أثناء فصل الشتاء؟ تتعرض هذه الطيور لدرجات حرارة تصل إلى 60 درجة تحت الصفر ولرياح تتجاوز سرعتها 200 كلم/سا. تتجمّع البطاريق لتكوّن مجموعة كثيفة تسمى "تشيكلة السلحفاة"[3] (testudo formation) تشبيها بالجنود الرومان. تنعم البطاريق الموجودة في مركز المجموعة بالدفء في حين تتعرض البطاريق المحيطة بها على الحافة إلى التقلبات المناخية. ثم تتبادل هذه الطيور

---

[1] العنوان الأصلي للمقالة : LA MARCHE DE L' EMPEREUR

موقعها الالكتروني :

/http://www.breves-de-maths.fr/la-marche-de-lempereur

[2] صفحته المهنية : /http://math.univ-lille1.fr/~bbecker

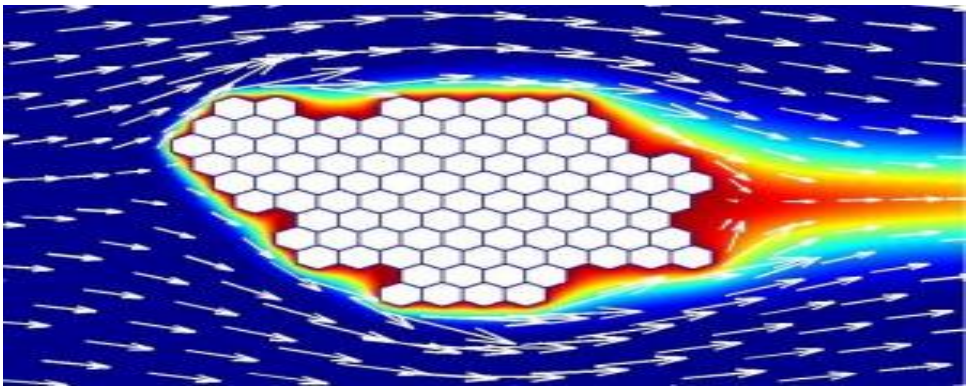
أستاذ جامعي بمختبر الرياضيات بول بينيليفي Paul Painlevé.

[3] انظر الموقع : https://en.wikipedia.org/wiki/Testudo_formation

مواقعها بانتظام حتى يتمتع كل فرد بقسط من الحرارة وتستطيع المجموعة النجاة (انظر تسجيلات لهذا السلوك)[4].

تم اقتراح نموذج رياضياتي لهذه الحركة[5] من قبل فريق باحثين من جامعة كاليفورنيا مارسد Merced[6]، ثم تبناه ونقّحه بعض طلاب ماستر1 ضمن مشروع تقني رياضياتي بجامعة ليل1 الفرنسية[7]. نمثل كل بطريق بقرص من نفس الحجم في المستوي. للتعبير عن رغبة البطاريق في التكتل والتفاف فيما بينها، نسعى لإلى وضع الأقراص جنبا إلى جنب بطريقة تجعل هذه الأقراص تشغل أصغر مساحة ممكنة دون أن تتداخل. حسب أبحاث "جوزيف لويس لاغرانج" Joseph-Louis Lagrange [8] حول "مسألة أفضل تموقع" (best packing problem)[9]، فهذا يرجع إلى اختيار مراكز الأقراص على شبكة شكلها مضلع سداسي أو إلى استبدال كل قرص بالمضلع السداسي الذي يحيط به ذلك القرص. وهذا يسمح برصف جزء من المستوي وتغطيته بمضلعات سداسية.

الريـــاح والحرارة همـــا العاملان المحددان لحركة البطاريق على حـــافة الحشد. نفترض أن سرعة الرياح ثابتة بعيدا عن الحشد، وأن هذه الرياح تنحرف عند اقترابها من الحاجز الذي يشكله تجمّع البطاريق. مع مرور الوقت فإن درجة الحرارة التي نرصدها خارج الحشد تنتشر وتنتقلها الرياح. بذلك نتحصل على معادلة تفاضلية جزئية **لتبادل الانتشار الحراري** (convection-diffusion) المستقر[10] في ساحة غير محدودة من المستوي.



توزيع درجة الحرارة بالقرب من حافة حشد البطاريق.

[4] انظر : http://lpmt.biomed.uni-erlangen.de/research/21-penguin-huddling-dynamics

[5] انظر : https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0050277

[6] انظر : https://www.ucmerced.edu/

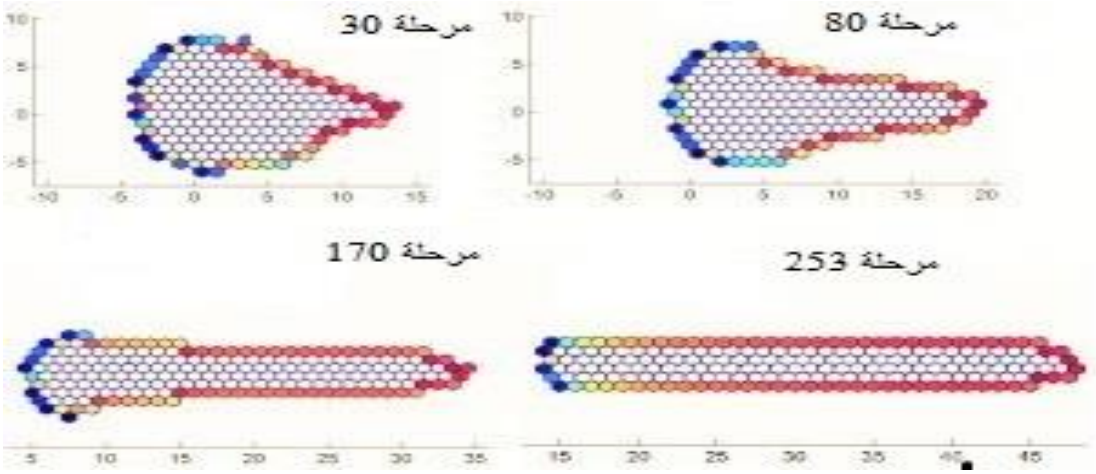
[7] انظر : http://aisn.free.fr/Manchots/

[8] انظر : http://www.bibmath.net/bios/index.php?action=affiche&quoi=lagrange

[9] انظر الموقع :https://en.wikipedia.org/wiki/Packing_problems

[10] انظر الموقع : https://en.wikipedia.org/wiki/Partial_differential_equation

في الشكل أعلاه، تم تمثيل الرياح عن طريق الأسهم، والتـــوزيع الحـــراري عن طريق الألوان من الأحمر (الأكثر حرارة) إلى الأزرق (الأكثر برودة). نلاحظ بصفة خاصة أن درجة الحرارة غير متجانسة بالقرب من الحافة. نحصل على معيار الإحساس بالبرودة لدى البطاريق الموجودة على حافة الحشد عن طريق حساب التدفق الحراري عبر المنطقة المشتركة بين حافة المضلع السداسي وحافة الحشد. يتحرك الحشد بحيث، في كل مرة، ينتقل البطريق تلقائيا من المكان الأبرد إلى جانب البطريق الماكث في الحافة الأقل برودة.



تحرك حشد البطاريق خلال 4 مراحل زمنية راعيناها في الحسابات.

بالرغم من بساطة هذا النموذج الرياضي والتبسيطات الأخرى التي ندخلها لحله على الحاسوب، فإنه يسمح بتسليط الضوء على بعض الظواهر البيولوجية المهمة. في فيديوهات المحاكاة الرقمية[11]، نلاحظ أولا وجود ظاهرة تنظيم مستلقة عن الحالة الابتدائية : يأخذ الحشد شكلا بيضوياً أو شكل مضلع سداسي (حسب طريقة الوصف الوسيطي للحافة). ثم إن مجموعة البطاريق تتقدم على الجليد البحري في اتجاه الريح محافظة على شكلها كما يمكن ملاحظته في الميدان.

يظهر الحشد (انظر الشكل الأخير) أثناء تحركه، حيث لوّنا حافة المضلعات السداسية حسب درجة الشعور بالبرودة. وفضلا عن ذلك، يمكن ملاحظة أن إستراتيجية البطاريق فعالة إذا ما نظرنا إليها من الزاوية الفردية، لكنها لا تساهم في تدفئة الحشد بأكمله.

[11] انظر : http://aisn.free.fr/Manchots/video.html

للاستزادة :

- الموقع http://aisn.free.fr/Manchots/ المنجز من قبل الطالبين رومين راغونيت Romain Ragonnet ورومين جومنتيه Romain Jumentier بعد انتهاء مشروعهما في السنة الأولى من شهادة ماستر في التقنيات الرياضية (جامعة ليل 1).
- Aaron Waters, François Blanchette , Arnold D. Kim (2012), "Modeling Huddling Penguins", PLOS.
  https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0050277
- مقال في matapli 102 حول هذا الموضوع، بقلم رومين راغونيت Romain Ragonnet ورومين جومنتيه Romain Jumentier و برنهاد بيكارمن Bernhard Beckermann.
  http://math.univ-lille1.fr/~bbecker/abstract/article_MATAPLI_2013_revu.pdf
- مصدر الصور : Flickr, R. Ragonnet et R. Jumentier