

Lundi 1<sup>er</sup> avril 1996 à 17 h

## *L'adaptation*

Bernard Vuilleumier

Centre informatique  
pédagogique (CIP)  
Rue Théodore-de-Bèze 2  
Case Postale 3144  
1211 GENÈVE 3  
Tél: (022) 318.05.30  
Fax: (022) 318.05.35  
Directeur:  
Raymond Morel

### *Lettre n° 48*

*Biologistes et mathématiciens  
utilisent parfois le même mot  
– adaptation – pour parler de  
choses assez différentes!*

*Le modèle mathématique  
«d'espace de protéines» permet  
de préciser plusieurs concepts  
liés à la notion d'adaptation*

*Il existe des représentations  
visuelles «d'espaces de  
protéines» pour les chaînes  
courtes ne comportant que  
peu d'acides aminés*

Pour un biologiste, la notion d'adaptation s'applique principalement à un organisme entier. Elle fait intervenir la fécondité, la fertilité, ainsi que d'autres facteurs contribuant à la pérennité d'une espèce. La fréquence des variantes génotypiques d'un organisme dans une population, la densité des différents génotypes dans une région, et même l'écosystème entier avec lequel chaque organisme interagit contribuent à la notion d'adaptation. Dans ce contexte général, il est difficile d'assigner une valeur adaptative à un gène, voire même à un génotype, car l'adaptation dépend des relations entre les organismes d'une population et du milieu dans lequel ils vivent.

Il est possible de restreindre la notion d'adaptation en considérant n'importe quelle propriété bien définie et sa distribution parmi un ensemble. Par exemple, la capacité de chaque protéine d'un «espace de protéines» de catalyser une réaction spécifique dans des conditions données est, en principe, une propriété bien définie. La vitesse de la réaction catalysée par une protéine peut alors être définie comme l'adaptation de cette protéine. La distribution des vitesses dans l'espace des protéines constitue le «paysage d'adaptation» de cette réaction. Une évolution adaptative de cette réaction correspond à un «trajet» qui optimise, dans l'espace des protéines, la capacité à catalyser cette réaction spécifique. Mais il ne faut pas confondre l'adaptation de la fonction catalytique d'une protéine avec l'adaptation de l'organisme qui la contient!

Depuis son introduction dans les années 70, le concept d'espace de protéines a été utilisé par de nombreux auteurs<sup>(1)</sup>. Les protéines sont des chaînes d'acides aminés. Les protéines comportant un nombre donné d'acides aminés constituent un ensemble. Chaque protéine de cet ensemble peut être mutée en une autre protéine en changeant n'importe quel acide aminé en un endroit de la chaîne par un autre acide aminé. Ainsi, pour chaque protéine, il existe un certain nombre de protéines «voisines» ayant subi une seule mutation. L'espace des protéines comportant  $L$  acides aminés parmi lesquels  $m$  au plus sont différents est donc un espace à  $L$  dimensions dans lequel chaque point représente une protéine et possède  $L(m-1)$  points voisins. Pour nous faire une idée de tels espaces, considérons des protéines possédant au plus 2 sortes différentes d'acides aminés. La figure 1 représente – de gauche à droite – l'espace des protéines comportant 2, 3 et 4 acides aminés. A chaque point d'un de ces espaces est associée une protéine. Selon la dimension de l'espace, chaque point possède 2, 3 ou 4 points voisins qui correspondent aux protéines n'ayant subi qu'une seule mutation.

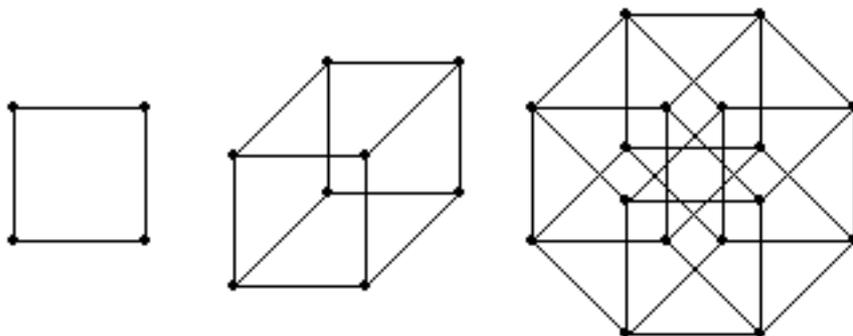


Fig. 1: Carré, cube et hypercube. Ces espaces, qui possèdent respectivement 2, 3 et 4 dimensions, peuvent être utilisés pour représenter les espaces des protéines comportant 2, 3 ou 4 acides aminés construites à partir d'un «alphabet» de 2 acides aminés.

<sup>(1)</sup> Voir par exemple Kauffman, S. A. - Principles of adaptation in complex systems. In: E. Stein. - Lectures in the Science of Complexity. - New York: Addison-Wesley, 1989.

# Travaux pratiques

## Mots clefs

adaptation, mutation, espace de protéines, chaîne de caractères, alphabet, arrangement.

*Pour prendre pied dans le monde complexe et fascinant des briques élémentaires de la vie*

## Exercice 1

- Qu'est-ce qu'une protéine?
- Quel est le nombre typique d'acides aminés contenus dans une enzyme?
- Calculez le nombre de protéines différentes que l'on peut composer avec 200 acides aminés choisis parmi 20 acides aminés.
- Combien chacune de ces protéines comporte-t-elle de protéines «voisines» ne différant que par un seul acide aminé?
- Donnez toutes les protéines composées de 4 acides aminés et en comportant au plus 2 différents.

*Pour établir la correspondance entre protéine et acides aminés d'une part, chaîne de caractères et alphabet d'autre part*

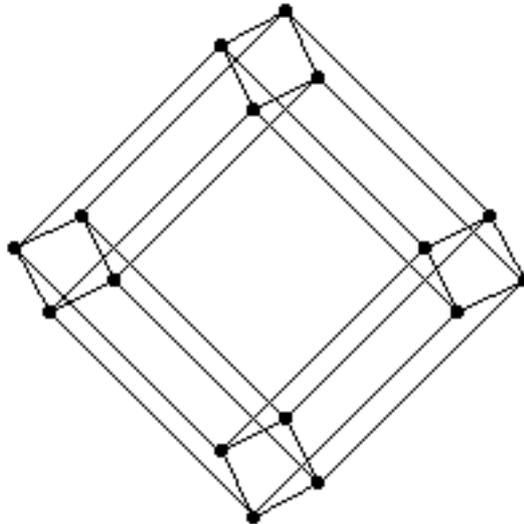
## Exercice 2

- Combien existe-t-il de chaînes composées de  $L$  maillons et en comportant au plus  $m$  différents.
- Représentez ces ensembles de chaînes:
  - pour  $L=2$  et  $m=2$ ;
  - pour  $L=3$  et  $m=2$ ;
  - pour  $L=4$  et  $m=2$ .

*Pour explorer quelques propriétés des espaces de protéines*

## Exercice 3

L'espace des protéines composées de 4 acides aminés choisis parmi 2 différents peut être représenté par l'hypercube ci-dessous:



- Attribuez à chaque sommet – au hasard et sans répétition – une valeur d'adaptation prise dans l'ensemble des nombres allant de 1 (mauvaise adaptation) à 16 (meilleure adaptation).
- Etablissez les évolutions adaptatives en dessinant sur l'hypercube les «trajets» qui augmentent la valeur d'adaptation des protéines.
- L'espace des protéines que vous obtenez présente-t-il des maxima locaux?
- Comment faut-il attribuer les valeurs d'adaptation pour que l'espace des protéines ne présente pas de maximum local?

*Prochaine réunion: lundi 6 mai 1996 à 17h.*