

évolution rapide et ne produit pas de motifs périodiques complexes...

VERS UNE RÉCONCILIATION DES DEUX THÉORIES

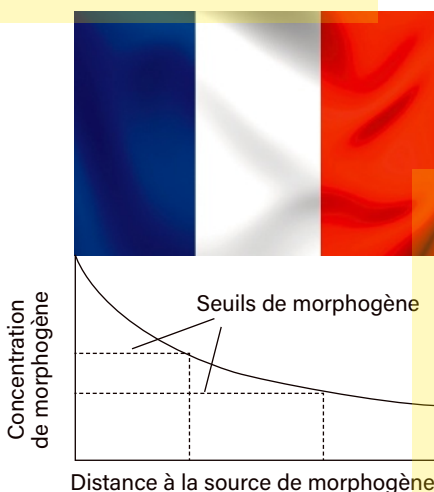
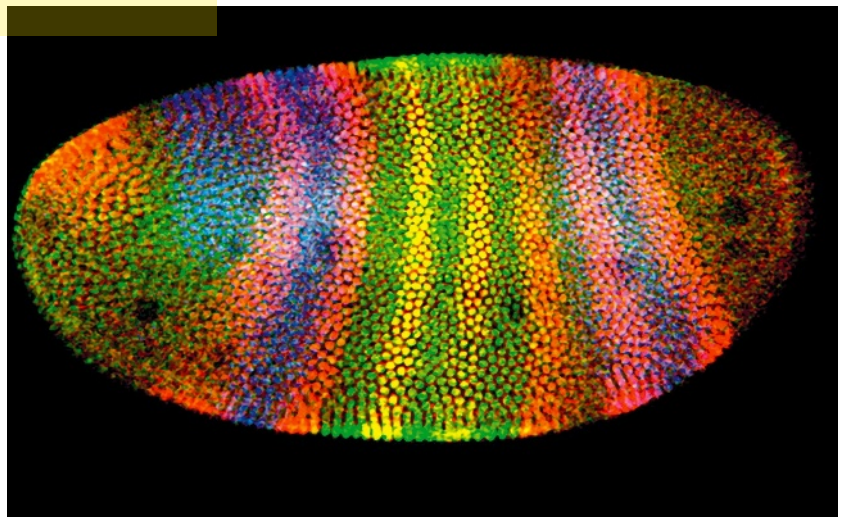
Longtemps, autoorganisation et instruction ont divisé partisans et détracteurs. Mais ces dix dernières années, les progrès de la biologie cellulaire et une meilleure compréhension de l'embryogenèse ont fini par les réconcilier. En effet, il est possible que ces deux stratégies agissent de concert, chacune apportant ses propres bénéfices au système. Par exemple, des signaux instructifs – c'est-à-dire fournis par un gradient de concentration d'une molécule – pourraient orienter l'autoorganisation. Ce serait notamment le cas lors de la formation des doigts, dont la répétition périodique est due à une autoorganisation du membre (voir la figure page ci-contre), mais dont la disposition radiale est contrôlée par un gradient d'une protéine nommée FGF, qui active la migration de certaines cellules.

On peut même extrapoler ce type de combinaison aux motifs comportementaux, par exemple des fourmis et des escargots de mer. En effet, plusieurs équipes françaises et anglaises ont montré que lorsque l'autoorganisation des fourmis en file indienne ou des escargots de mer en agrégats, créée par des fluctuations de leurs trajectoires ou de leurs recherches de nourriture, est simulée par ordinateur, les motifs obtenus sont très variables – un scénario peu souhaitable dans la nature (en trop petits groupes, les escargots de mer dessécheraient à marée basse, et désorganisées, les fourmis ne retrouveraient pas leur colonie). En revanche, si l'on ajoute des facteurs environnementaux comme la température pour les escargots de mer, qui influe sur le comportement des individus, l'autoorganisation se stabilise et reproduit les motifs observés en conditions naturelles.

Aussi, ces dernières années, on invoque souvent une combinaison de l'autoorganisation et de l'instruction dans le temps et l'espace pour

LE MODÈLE D'INSTRUCTION DE WOLPERT

Le Sud-Africain Lewis Wolpert est à l'origine de certaines des plus grandes avancées de la biologie du développement. En 1969, il formula le « French Flag Problem », dans lequel le drapeau tricolore représente des régions ayant adopté une couleur différente en fonction d'une information de position (ci-dessous). Cette information peut provenir d'une autoorganisation similaire à celle du modèle de Turing (ce que Wolpert nomme le « balancing model » ou « modèle d'équilibrage ») ou d'une source externe – ce que l'on nomme aujourd'hui « modèle d'instruction ». Dans ce dernier cas, la source crée un gradient de signalisation (la quantité



de signaux est plus grande dans les régions proches de la source que dans les régions plus éloignées). Le gradient est « lu » par les éléments du système, par exemple les cellules d'un tissu, qui adoptent alors un destin (comme une couleur) en fonction de leur distance par rapport à la source. Ce modèle a servi de base théorique aux études d'embryologie précoce. En particulier, chez la drosophile, divers travaux ont montré que les segments de l'exosquelette sont formés par une série de gradients moléculaires que produisent des « morphogènes », comme l'avait prévu le théoricien. Notamment, à un

stade embryonnaire assez précoce, un gradient de la protéine Bicoid apparaît selon l'axe antéro-postérieur de l'embryon et déclenche la production de plusieurs gènes de segmentation le long de cet axe (sur l'image ci-dessus, on distingue les gènes de segmentation hairy en rouge, krüppel en vert et giant en bleu). Ces gènes déclenchent à leur tour l'expression d'une autre classe de gènes de segmentation, les gènes pair-rule, toujours selon des bandes transversales, qui correspondront aux différents segments du corps de la mouche. Lewis Wolpert s'est tristement éteint cette année, de complications liées au Covid-19.