

Voir plus petit

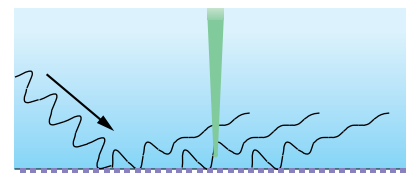
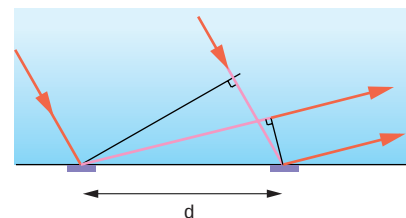
La résolution du microscope optique est améliorée.

La longueur d'onde de la lumière avec laquelle on éclaire un objet limite la finesse des détails que l'on observe. En lumière visible, la résolution d'un très bon microscope, pour un objet en contact avec l'air, ne dépasse pas 0,30 micromètre (ou millionième de mètre). Depuis une dizaine d'années, des opticiens ont franchi cette limite grâce à la «microscopie en champ proche» : ils sondent le champ électromagnétique au voisinage des surfaces à l'aide, par exemple, d'une petite ouverture à l'extrémité d'une fibre optique taillée en pointe et métallisée. La variante technique que nous avons mise au point avec Renaud Bachelot, Ahmed Larech et Philippe Gleyzes, permet d'observer des détails de 0,015 micromètre, indépendamment de la longueur d'onde lumineuse.

Lorsque l'on examine un objet à structure périodique (rideau, surface d'un disque compact, réseau), on observe des rayons lumineux diffractés dans d'autres directions que celle de la lumière transmise ou réfléchi. Plus la période de la structure est petite et plus l'angle entre la direction d'éclairage et la direction des images diffractées est grand. Pour des périodes un peu supérieures à la demi-longueur

d'onde de la lumière rasante utilisée pour éclairer l'objet, les rayons diffractés rasent la surface observée. Pour des périodes inférieures, ils disparaissent. Le rayonnement électromagnétique correspondant subsiste toutefois au voisinage de la surface, sous forme d'ondes évanescentes (elles ne se propagent pas). Si l'on veut des informations sur des détails plus petits que la demi-longueur d'onde, il faut donc sonder le champ électromagnétique tout près de la surface de l'échantillon (d'où le nom de «microscopie en champ proche» pour cette technique).

C'est ce que nous faisons avec une pointe métallique très fine qui oscille près de la surface, avec une amplitude de quelques centièmes de micromètre. L'extrémité de cette pointe, dont le rayon de courbure est de 0,015 micromètre, se comporte comme une particule conductrice plongée dans un champ électromagnétique : elle émet un rayonnement dont les variations spatiales dépendent de la structure du champ lui-même. Ces ondes électromagnétiques engendrées par l'oscillation de la pointe constituent le signal qui est collecté par un objectif de microscope et envoyé sur un détecteur. Il est ensuite traité, afin de quantifier les



Une image de diffraction d'une structure de période d se forme dans les directions pour lesquelles la différence de marche (différence des distances en rose) entre deux réflexions voisines est un multiple de la longueur d'onde λ (en haut). Si d est inférieure à la moitié de λ , il n'y a plus d'interférences. Le rayonnement n'est pas réfléchi, mais crée, près de la surface, des ondes évanescentes (en bas). Une fine pointe vibrante (en vert) détecte les variations spatiales de ce champ électromagnétique «proche».

images et de mettre en évidence les coefficients de réflexion locaux.

En opérant par réflexion, nous avons fait l'image d'un grand nombre de structures de la taille d'un centième de micromètre environ, qui présentent des contrastes optiques (des zones adjacentes ont des coefficients de réflexion différents) et des contrastes topographiques variés (structures en creux ou en bosse, structures en marches d'escalier sur des surfaces de monocristaux). La résolution de ce microscope ne dépend que de la taille de la pointe.

À la longueur d'onde rouge de 0,67 micromètre nous avons atteint une résolution de 0,015 micromètre, voisine du rayon de courbure de nos pointes et bien inférieure à la limite de la demi-longueur d'onde. Nous avons ensuite observé des films d'or avec la lumière rasante d'un laser à gaz carbonique, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les plus petits détails sont toujours du même ordre de grandeur (0,015 micromètres) que la longueur d'onde.

Cette résolution étend le champ d'application de la microscopie optique : vérification des composants micro- et opto-électroniques, observation des propriétés locales d'édifices moléculaires ou d'agrégats. Le rayonnement infrarouge, qui interagit avec les charges électriques de surface, permettra de contrôler les implantations ioniques et les modifications locales dans les composants semi-conducteurs et supraconducteurs, dont les tailles ne cessent de se réduire.

Claude-Albert BOCCARA, ESPCI, CNRS

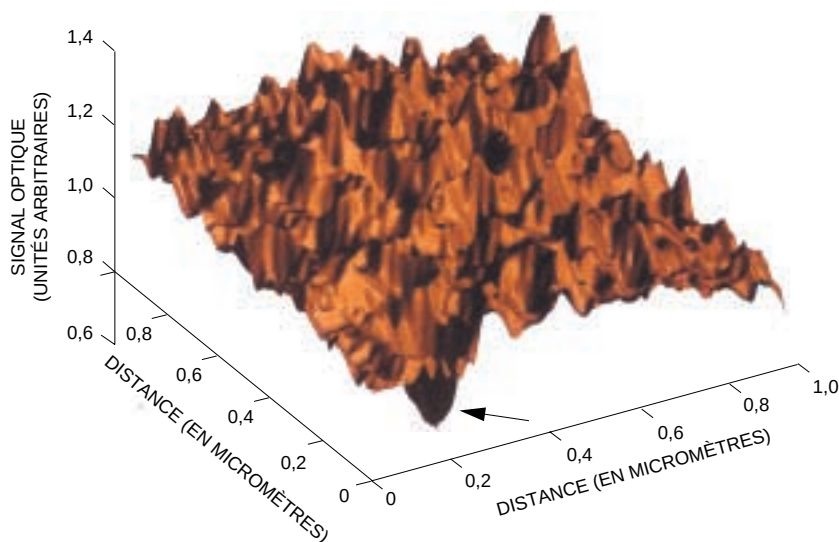


Image en champ proche d'un film mince d'or, à la longueur d'onde de 10,6 micromètres. Les détails (fluctuations de la réflectivité dues à des variations locales des propriétés électroniques) sont 600 fois plus petits que la longueur d'onde utilisée. La chute importante du signal (flèche) est due à la présence d'une particule organique, très absorbante dans l'infrarouge.

L'invasion des moules zébrées

Elles nettoient le lac Érié, mais elles feraient disparaître les poissons.

L'invasion des Grands Lacs américains par la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*), mollusque originaire de la mer Noire et de la Caspienne, a fait craindre le pire pour l'équilibre de l'écosystème. Huit ans après l'arrivée de l'espèce, celle-ci semble au contraire participer à la dépollution des eaux : elle favoriserait même la réapparition d'espèces végétales menacées. Des écologistes l'accusent toutefois d'être la cause de la disparition des poissons.

En 1988, lorsque les premières moules zébrées sont apparues dans le lac Érié, sur la frontière entre les États-Unis et le Canada, les prédictions alarmistes se sont succédées : ces coquillages robustes et prolifiques déclencheraient un désastre écologique et financier. Ils détruiraient la chaîne alimentaire du lac, boucheraient les prises d'eau des usines et des barrages hydro-électriques et bloqueraient les hélices des bateaux.

Ces prédictions n'ont pas survécu à l'épreuve des faits. Le chlore et d'autres produits chimiques ont repoussé les

maudits mollusques loin des prises d'eau, à des coûts inférieurs à ceux que ce que l'on redoutait. En outre, la présence des moules zébrées aurait amélioré la situation écologique du lac. Ces coquillages sont des filtreurs prodigieux, qui purifient l'eau de quantités surprenantes de polluants et qui les accumulent dans leurs graisses. Ils ont aussi dévoré tant d'algues, leur aliment de base, que de grandes étendues du lac sont aujourd'hui plus claires.

Des plantes aquatiques auparavant rares, qui menaient un combat perdu d'avance contre les algues nourries par la pollution, repartent de plus belle. L'herbe à anguilles, une plante endémique qui a échappé de peu, en 1988, à l'inscription sur la liste des espèces menacées, a repoussé en d'immenses forêts sous-marines qui se balancent au fond du lac. Elles s'emmêlent même dans les hélices des bateaux de plaisance près de Put-in-Bay, une ville touristique située sur une île de l'Ouest du lac.

L'invasion des moules zébrées aurait-elle été un bienfait ? Elles ont

absorbé tant de produits polluants que la moitié de ceux contenus dans le lac Saint-Clair, un plan d'eau de 1 200 kilomètres carrés qui sépare le lac Érié du lac Hudson, sont maintenant accumulés dans leurs tissus. Dans de nombreux secteurs du lac Érié, la clarté de l'eau a sextuplé. Malgré ces relatives améliorations dans le plus pollué des Grands Lacs, les écologistes restent inquiets pour l'avenir.

LE STOCKAGE DES POLLUANTS

Les moules zébrées sont des filtres vivants. Chaque adulte aspire jusqu'à un litre et demi d'eau par jour, retenant les algues et les autres nutriments et, incidemment, le pyralène, la dioxine, les hydrocarbures aromatiques et tous les autres polluants qui se trouvent dans l'eau ou dans les sédiments. La population actuelle de moules zébrées filtre toute l'eau du bassin Ouest du lac en cinq ou six jours. Les produits toxiques s'accumulent dans les tissus adipeux des animaux, qui comptent pour 15 pour cent de leur poids.

Malheureusement, les polluants ainsi éliminés des eaux ne restent pas indéfiniment stockés dans les moules. Les corps et les déjections de celles-ci, qui sont aussi pollués, sont des maillons importants de la chaîne alimentaire qui aboutit aux consommateurs de poisson. Le dépôt des polluants dans les sédiments serait moins dangereux.

Quelles quantités de polluants arrivent-elles sur les tables (et dans les estomacs) des consommateurs ? Plusieurs années seront nécessaires pour savoir comment la répartition des polluants a été modifiée dans le lac depuis l'arrivée des moules zébrées.

Le nettoyage des algues par les moules zébrées aurait aussi des conséquences dévastatrices, car ces algues sont le premier élément de la chaîne alimentaire de tous les êtres vivants du lac. Leur diminution entraînerait ainsi une diminution du zooplancton, qui s'en nourrit. Les poissons, qui consomment du zooplancton à plusieurs étapes de leur développement, manquent donc de nourriture : il ne peuvent pas dévorer des moules zébrées.

Avant l'invasion, le lac Érié, de loin le plus pêché des Grands Lacs, alimentait des pêcheries d'un chiffre d'affaires total de trois milliards de francs par an. Dans les années 1990, les prises ont diminué : le chiffre d'affaires des pêcheries est tombé à un milliard de francs. Coïncidence ou relation causale ? Les zoologistes n'ont pas encore tranché. □



Les amas de moules zébrées, sur les plages des Grands Lacs américains, symbolisent la bataille perdue contre cet envahisseur qui perturbe l'écosystème, en bien et en mal.

Les mesures pour l'emploi

L'absence d'évaluation des mesures anti-chômage est pénalisante.

Face au chômage endémique, les pouvoirs publics instaurent des mesures destinées à faciliter l'insertion des jeunes sur le marché du travail. Ces mesures sont-elles efficaces ? Quels contrats faut-il privilégier si l'objectif est d'assurer un emploi aux jeunes ? L'étude du parcours de 5 500 jeunes âgés de 18 à 29 ans, par Thierry Magnac, économiste à l'INRA, montre que l'obtention d'un emploi permanent est plus aisé lorsque la personne a fait un stage ou un travail temporaire l'année précédente, que lorsque elle a été au chômage pendant la même période. Néanmoins, ces épisodes de contrats permanents après des stages ou des contrats temporaires peuvent être courts, en raison de licenciements ou de départs volontaires. Comment mesurer l'efficacité des stages ?

En France, la mesure des conséquences des dispositifs publics est pénalisée par l'absence d'expériences contrôlées : les études utilisent des données issues de sources administratives ou d'enquêtes par ménage de l'INSEE. Les échantillons des enquêtes présentent alors un biais de sélection : ils ne prennent pas en compte des caractéristiques cachées. Supposons, par exemple, qu'une personne ait rapidement des contacts avec des employeurs potentiels, et supposons que l'État finance des stages, dont la mise en œuvre dépend de l'employeur. Lorsque l'on mesure l'impact de ces stages sur la rapi-

dité d'insertion des jeunes sur le marché du travail, les résultats ont un biais : ce n'est pas le stage qui procure un travail, c'est la faculté de trouver ce stage, difficile, qui détermine l'embauche rapide.

Les données utilisées pour l'étude du travail chez les jeunes consistent en un relevé, mois par mois, de la situation des 5 500 jeunes. Chaque mois, un jeune est dans l'un des six états suivants : emploi à durée indéterminée, emploi à durée déterminée, stage rémunéré, chômage, études, ou inactif. On calcule ensuite, en fonction de ces statistiques, la probabilité pour que partant d'un état donné, un jeune ait un contrat permanent à la période suivante.

L'ÉLABORATION DES STATISTIQUES

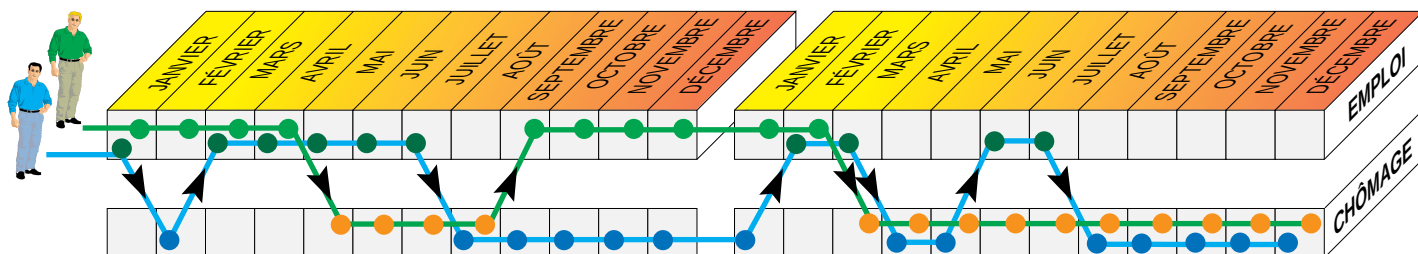
Pour s'affranchir du biais de sélection, on suppose que toutes les personnes qui ont été le même nombre de fois dans les différents états forment un ensemble homogène, sans tenir compte de l'ordre des transitions. Ces personnes constituent alors un ensemble dont les caractéristiques inobservables, la facilité à nouer des contacts, par exemple, sont identiques. Dans chaque ensemble homogène, on compare les trajectoires. Par exemple, si dans la population des individus qui « visitent » pendant deux périodes consécutives une fois l'état stage rémunéré et une fois l'état chômage, il existe un plus grand nombre

de trajectoires où une personne passe de l'état chômage vers l'état stage que l'inverse, on en déduit que les transitions sont plus probables de l'état chômage vers l'état stage.

Sur ces bases, T. Magnac a confirmé que la probabilité d'avoir un emploi permanent est maximale si, l'année précédente, on avait un emploi permanent, un stage ou un contrat temporaire. Cette probabilité est inférieure si l'on était chômeur. Alors que le but des stages est d'assurer l'insertion vers un emploi stable, on constate que l'état stage et l'état emploi temporaire sont équivalents.

De surcroît, la probabilité de conserver un emploi permanent d'une année sur l'autre est minimale pour les personnes qui étaient précédemment au chômage, en stage, ou avaient un emploi temporaire. La précarité n'est donc pas éradiquée avec le début d'un emploi à durée indéterminée. La raison est double : les entreprises peuvent licencier d'abord les personnes recrutées le plus récemment ou les jeunes peuvent démissionner, car de bas salaires dans les premiers emplois ne les satisfont pas.

Même si ce modèle permet de calculer des probabilités, les économistes font une hypothèse simplificatrice pour s'affranchir du biais de sélection. Pour cette raison, une conclusion ferme sur l'efficacité d'une mesure donnée est difficile. Aux États-Unis, les mesures publiques ne sont votées que si elles sont accompagnées de tests d'évaluation. Ces tests suivent le principe général des expériences biomédicales où l'on oppose un groupe qui suit un traitement, ici les personnes suivant un stage, à un groupe de contrôle. Si, en France, on instaurait des expériences contrôlées analogues, on pourrait utiliser des modèles simples qui serviraient à simuler les effets de différentes mesures publiques. On saurait ainsi aider les décideurs publics dans leurs mises en œuvre de politiques économiques. □



Suivi, mois par mois, de la situation de personnes qui sont au chômage ou ont un emploi. Pour s'affranchir d'une sélection hétérogène, on choisit des classes de personnes qui ont été le même nombre de mois en emploi et au chômage (respectivement 10 mois et 14 mois) deux années consécutives. La trajectoire des

personnes de la classe verte (trajectoire verte) comporte trois transitions tandis que celle des personnes de la classe bleue (trajectoire bleue) en comporte sept. Si le nombre de personnes dans la classe bleue est supérieur au nombre de personnes dans la classe verte, la mobilité entre état est plus facile que dans le cas contraire.