

Les Mathématiques pour la Planète Terre en partage

Pierre Pansu

20 novembre 2013



Est-ce vrai que la Terre se réchauffe ?

12 février : **Pourquoi grelotte-t-on alors que la planète se réchauffe ?** Les techniques de classification en statistique indiquent que les vagues de froid récentes sont des pics d'un climat plus chaud que par le passé.

9 avril : **Réchauffement climatique ou fin d'une période glaciaire ?** La statistique montre que la discordance actuelle entre l'insolation, le volume global de glace, et le taux de CO₂ n'a été enregistrée dans aucun des quatre derniers cycles climatiques.

22 avril : **Reconstructions du climat du dernier millénaire** A l'aide d'indicateurs historiques, comme les dates des vendanges, on peut reconstituer la courbe des températures depuis l'an mil.

23 mai : **Pourquoi corriger les séries climatiques ?** Des techniques statistiques permettent de détecter et corriger l'effet des changements (déplacement des stations...) dans les conditions de mesure.

3 juin : **Le climat de chez vous a-t-il déjà changé ?** L'étude statistique montre que l'évolution du climat présente des variations spatiales importantes.



Est-ce vrai que la Terre se réchauffe ?

12 février : **Pourquoi grelotte-t-on alors que la planète se réchauffe ?** *Les techniques de classification en statistique indiquent que les vagues de froid récentes sont des pics d'un climat plus chaud que par le passé.*

9 avril : **Réchauffement climatique ou fin d'une période glaciaire ?** *La statistique montre que la discordance actuelle entre l'insolation, le volume global de glace, et le taux de CO₂ n'a été enregistrée dans aucun des quatre derniers cycles climatiques.*

22 avril : **Reconstructions du climat du dernier millénaire** *A l'aide d'indicateurs historiques, comme les dates des vendanges, on peut reconstituer la courbe des températures depuis l'an mil.*

23 mai : **Pourquoi corriger les séries climatiques ?** *Des techniques statistiques permettent de détecter et corriger l'effet des changements (déplacement des stations...) dans les conditions de mesure.*

3 juin : **Le climat de chez vous a-t-il déjà changé ?** *L'étude statistique montre que l'évolution du climat présente des variations spatiales importantes.*

Importance de reconstruire le climat ancien pour le comparer au climat d'aujourd'hui.



A quel point peut on prédire le temps et les catastrophes climatiques ?

7 juin : « L'Effet papillon » ou l'élément chaotique dans les prévisions météorologiques *Sensibilité du temps qu'il fait aux conditions initiales.*

3 septembre : Des modèles stochastiques pour simuler le temps *En vue d'évaluer la production agricole, où de prévoir les crues.*

29 septembre : Mieux prévoir le temps *Par une méthode statistique (régression), on quantifie des corrections à appliquer aux résultats du modèle.*

3 octobre : Ignorer la météo d'hier, c'est aussi louper celle de demain *Pour assimiler les données, on cherche la condition initiale à injecter dans le modèle pour minimiser l'écart aux observations, et on itère.*

16 octobre : Retour vers le futur *Alternative prometteuse : modifier le modèle par ajout d'un terme qui rapproche des observations, lancer le modèle à l'endroit puis à l'envers, et itérer.*



A quel point peut on prédire le temps et les catastrophes climatiques ?

7 juin : « L'Effet papillon » ou l'élément chaotique dans les prévisions météorologiques *Sensibilité du temps qu'il fait aux conditions initiales.*

3 septembre : Des modèles stochastiques pour simuler le temps *En vue d'évaluer la production agricole, où de prévoir les crues.*

29 septembre : Mieux prévoir le temps *Par une méthode statistique (régression), on quantifie des corrections à appliquer aux résultats du modèle.*

3 octobre : Ignorer la météo d'hier, c'est aussi louper celle de demain *Pour assimiler les données, on cherche la condition initiale à injecter dans le modèle pour minimiser l'écart aux observations, et on itère.*

16 octobre : Retour vers le futur *Alternative prometteuse : modifier le modèle par ajout d'un terme qui rapproche des observations, lancer le modèle à l'endroit puis à l'envers, et itérer.*

Importance de l'assimilation des données pour affiner les prévisions.



Peut-on prédire les tremblements de terre et les éruptions volcaniques ?

10 janvier : **Jeter un oeil « Au centre de la Terre »** *Problématique de l'imagerie sismique à l'échelle planétaire.*

29 janvier : **Imagerie haute résolution du sous-sol** *Optimiser, à l'aide de super-calculateurs parallèles, une description du sous-sol.*

19 septembre : **Rayleigh et les tremblements de terre** *Les ondes de surface se propagent parfois de façon uni-dimensionnelle.*

27 septembre : **La Terre gronde, les mathématiciens écoutent** *Détection des cheminées au moyen des ondes de pression et ondelettes.*

13 novembre : **Sous nos pieds, le manteau bouge** *Modéliser et simuler la convection dans le manteau, qui est à l'origine de la tectonique des plaques.*



Peut-on prédire les tremblements de terre et les éruptions volcaniques ?

10 janvier : **Jeter un oeil « Au centre de la Terre »** *Problématique de l'imagerie sismique à l'échelle planétaire.*

29 janvier : **Imagerie haute résolution du sous-sol** *Optimiser, à l'aide de super-calculateurs parallèles, une description du sous-sol.*

19 septembre : **Rayleigh et les tremblements de terre** *Les ondes de surface se propagent parfois de façon uni-dimensionnelle.*

27 septembre : **La Terre gronde, les mathématiciens écoutent** *Détection des cheminées au moyen des ondes de pression et ondelettes.*

13 novembre : **Sous nos pieds, le manteau bouge** *Modéliser et simuler la convection dans le manteau, qui est à l'origine de la tectonique des plaques.*

Importance de modéliser de façon fine la propagation des ondes sismiques.

La brève absente : prédiction des éruptions volcaniques

L'homme qui écoutait le bruit de la Terre

Ondes en milieu aléatoire



Mesurer le temps de parcours des ondes sismiques entre deux points, sans dépendre des sources naturelles intenses (tremblements de terre), en utilisant le bruit (les vagues!). Astuce : utiliser les interférences (corrélations croisées) entre signaux. En effet, si les temps de parcours sont sensibles aux irrégularités du milieu et des capteurs, les différences de temps de parcours le sont beaucoup moins.

La brève absente : prédiction des éruptions volcaniques

L'homme qui écoutait le bruit de la Terre

Ondes en milieu aléatoire



Mesurer le temps de parcours des ondes sismiques entre deux points, sans dépendre des sources naturelles intenses (tremblements de terre), en utilisant le bruit (les vagues!). Astuce : utiliser les interférences (corrélations croisées) entre signaux. En effet, si les temps de parcours sont sensibles aux irrégularités du milieu et des capteurs, les différences de temps de parcours le sont beaucoup moins.

Application : cartographie de la vitesse de propagation des ondes sismiques. Un changement est un signal annonciateur d'éruption volcanique : succès à l'île de la Réunion en septembre 2010, une éruption a été prédite 3 semaines à l'avance.

Brenguier F, Shapiro N M, Campillo M, Nercessian A, and Ferrazzini V 2007 3-D surface wave tomography of the Piton de la Fournaise volcano using seismic noise correlations Geophys. Res. Lett. 34 L02305



La brève absente : prédiction des éruptions volcaniques

L'homme qui écoutait le bruit de la Terre

Ondes en milieu aléatoire



Mesurer le temps de parcours des ondes sismiques entre deux points, sans dépendre des sources naturelles intenses (tremblements de terre), en utilisant le bruit (les vagues!). Astuce : utiliser les interférences (corrélations croisées) entre signaux. En effet, si les temps de parcours sont sensibles aux irrégularités du milieu et des capteurs, les différences de temps de parcours le sont beaucoup moins.

Application : cartographie de la vitesse de propagation des ondes sismiques. Un changement est un signal annonciateur d'éruption volcanique : succès à l'île de la Réunion en septembre 2010, une éruption a été prédite 3 semaines à l'avance.

Brenguier F, Shapiro N M, Campillo M, Nercessian A, and Ferrazzini V 2007 3-D surface wave tomography of the Piton de la Fournaise volcano using seismic noise correlations Geophys. Res. Lett. 34 L02305

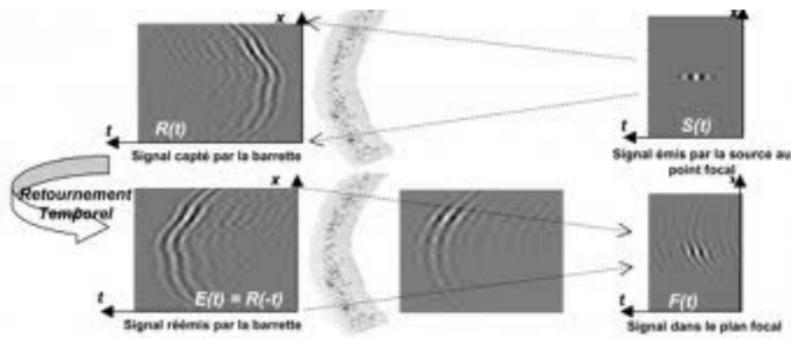


Cela ne marche pas pour les tremblements de terre.

D'où vient l'idée d'utiliser les interférences ?

D'où vient l'idée d'utiliser les interférences ?

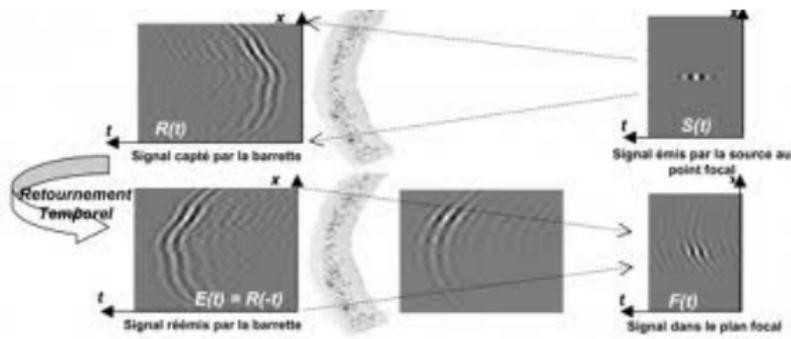
Retournement temporel (Mathias Fink, ESPCI), motivé par la destruction des calculs rénaux (fin des années 90). Réseau de transducteurs = capteurs et émetteurs.



Une source ponctuelle émet une onde, elle atteint le miroir, on l'enregistre. Dans l'ordinateur, on inverse le signal temporellement, on le réémet, ça focalise sur la position originale de la source. Plus le milieu est hétérogène, mieux la refocalisation fonctionne.

D'où vient l'idée d'utiliser les interférences ?

Retournement temporel (Mathias Fink, ESPCI), motivé par la destruction des calculs rénaux (fin des années 90). Réseau de transducteurs = capteurs et émetteurs.

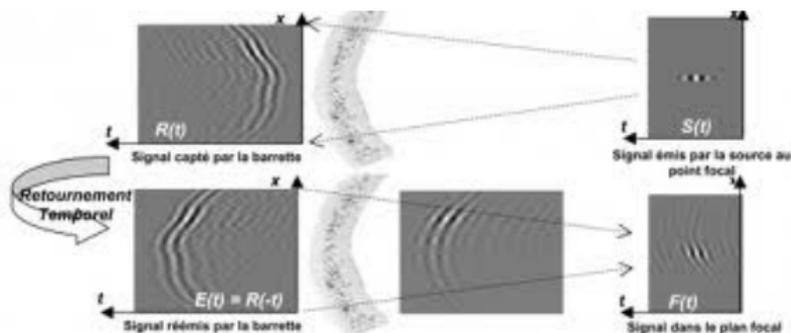


Une source ponctuelle émet une onde, elle atteint le miroir, on l'enregistre. Dans l'ordinateur, on inverse le signal temporellement, on le réémet, ça focalise sur la position originale de la source. Plus le milieu est hétérogène, mieux la refocalisation fonctionne.

Les mathématiciens (Garnier, Papanicolaou,...) ont su expliquer le phénomène par un théorème nouveau. Comment transposer la manip en sismologie ? Ça passe par les corrélations croisées. C'est le même opérateur qui intervient, du point de vue des mathématiques.

D'où vient l'idée d'utiliser les interférences ?

Retournement temporel (Mathias Fink, ESPCI), motivé par la destruction des calculs rénaux (fin des années 90). Réseau de transducteurs = capteurs et émetteurs.



Une source ponctuelle émet une onde, elle atteint le miroir, on l'enregistre. Dans l'ordinateur, on inverse le signal temporellement, on le réémet, ça focalise sur la position originale de la source. Plus le milieu est hétérogène, mieux la refocalisation fonctionne.

Les mathématiciens (Garnier, Papanicolaou,...) ont su expliquer le phénomène par un théorème nouveau. Comment transposer la manip en sismologie ? Ça passe par les corrélations croisées. C'est le même opérateur qui intervient, du point de vue des mathématiques.

Une idée venue d'une science expérimentale a fait progresser les mathématiques. Il arrive même que des chercheurs non mathématiciens fassent eux-mêmes progresser les mathématiques.

Un géophysicien, Jean Morlet, et un physicien théoricien, Alex Grossman, ont fait naître la théorie des ondelettes.

Un géophysicien, Jean Morlet, et un physicien théoricien, Alex Grossman, ont fait naître la théorie des ondelettes.

Soit $N(d)$ le nombre de courbes algébriques planes rationnelles de degré d passant par $3d - 1$ points prescrits.

$d = 1$, il passe une et une seule droite par deux points.

$d = 2$, il passe une et une seule conique (ellipse, parabole ou hyperbole, suivant les cas) par 5 points.

Les premières valeurs de $N(d)$ sont 1, 1, 12, 620, 87304, 26312976, 14616808192... (M. Kontsevitch, Yu. Manin 1994). C'est un sous-produit d'un vaste programme initié sous la forme d'une série de prédictions par des physiciens théoriciens, la "symétrie miroir", dans les années 80, qui alimente une théorie mathématique florissante.

Un géophysicien, Jean Morlet, et un physicien théoricien, Alex Grossman, ont fait naître la théorie des ondelettes.

Soit $N(d)$ le nombre de courbes algébriques planes rationnelles de degré d passant par $3d - 1$ points prescrits.

$d = 1$, il passe une et une seule droite par deux points.

$d = 2$, il passe une et une seule conique (ellipse, parabole ou hyperbole, suivant les cas) par 5 points.

Les premières valeurs de $N(d)$ sont 1, 1, 12, 620, 87304, 26312976, 14616808192... (M. Kontsevitch, Yu. Manin 1994). C'est un sous-produit d'un vaste programme initié sous la forme d'une série de prédictions par des physiciens théoriciens, la "symétrie miroir", dans les années 80, qui alimente une théorie mathématique florissante.

Votre lecteur de musique propose un tirage aléatoire du morceau. Un générateur de nombres pseudo-aléatoires, c'est un procédé physique (horloge) suivi d'un algorithme qui augmente le caractère aléatoire. Les algorithmes existants sont fondés sur l'arithmétique, la théorie des groupes. Augmenter leurs performances, diversifier leurs applications, occupent une branche des mathématiques à laquelle de nombreux informaticiens théoriciens contribuent.

Un géophysicien, Jean Morlet, et un physicien théoricien, Alex Grossman, ont fait naître la théorie des ondelettes.

Soit $N(d)$ le nombre de courbes algébriques planes rationnelles de degré d passant par $3d - 1$ points prescrits.

$d = 1$, il passe une et une seule droite par deux points.

$d = 2$, il passe une et une seule conique (ellipse, parabole ou hyperbole, suivant les cas) par 5 points.

Les premières valeurs de $N(d)$ sont 1, 1, 12, 620, 87304, 26312976, 14616808192... (M. Kontsevitch, Yu. Manin 1994). C'est un sous-produit d'un vaste programme initié sous la forme d'une série de prédictions par des physiciens théoriciens, la "symétrie miroir", dans les années 80, qui alimente une théorie mathématique florissante.

Votre lecteur de musique propose un tirage aléatoire du morceau. Un générateur de nombres pseudo-aléatoires, c'est un procédé physique (horloge) suivi d'un algorithme qui augmente le caractère aléatoire. Les algorithmes existants sont fondés sur l'arithmétique, la théorie des groupes. Augmenter leurs performances, diversifier leurs applications, occupent une branche des mathématiques à laquelle de nombreux informaticiens théoriciens contribuent.

Faire avancer les mathématiques, ce n'est pas réservé aux mathématiciens.