

Utilisation de l'information génétique en biologie : applications et implications scientifiques et sociétales

UE de Bioinformatique : L2 2B2M - BCP - BOPE

Maxime Bonhomme

Laboratoire de Recherche en Sciences Végétales

L'information génétique

variabilité génétique
marqueurs moléculaires

Utilisation de l'information génétique

DNA fingerprinting
association génotype / phénotype, génétique humaine
génétique quantitative et agronomie
génétique des populations, phylogéographie

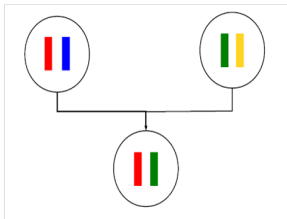
L'information génétique



Qu'est-ce que l'information génétique ?

L'information génétique est l'information héréditaire portée par l'ensemble des gènes des chromosomes d'un individu.

Hérédité mendélienne



- **locus** = segment d'ADN précisément situé dans le génome (cela peut être un gène, mais pas forcément).
- **locus polymorphe** = locus qui présente au moins deux états alléliques.
- **allèle** = version d'un gène (polymorphisme de séquence).
- **génotype** = chez un organisme diploïde, composition allélique d'un individu à un locus donné.

Variabilité inter-individuelle de l'information génétique

Qui dit "information génétique" dit "hérédité" mais aussi "variabilité" de l'information.

Mutations de l'ADN

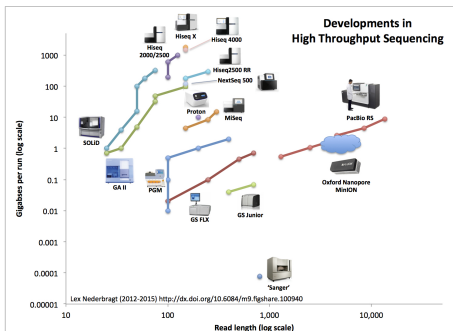
- **substitutions** : 10^{-8} à 10^{-9} nouvelles mutations par nucléotide (base) par génération.
- ou : 10^{-4} à 10^{-6} nouvelles mutations par copie de gène par génération.
- **indels** : $\simeq 10^{-9}$ insertion/délétion d'une base par nucléotide par génération.
- réarrangements génomiques/chromosomiques : variables suivant les organismes.
- **polyploïdisation** : très fréquente chez les végétaux (beaucoup chez les espèces cultivées).

Marqueurs moléculaires

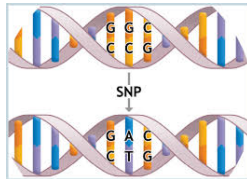
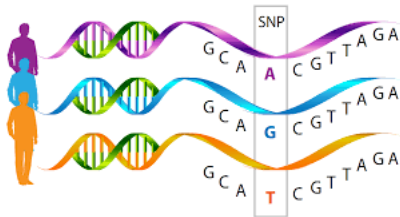
Comment capturer l'information de variabilité génétique des individus ?

Outils de biologie moléculaire

- amplification ciblée de l'ADN (PCR)
- séquençage ou génotypage (enzymes de restrictions, séparation de fragments de tailles variables,...)
- aujourd'hui : apport des Nouvelles Technologies de Séquençage à haut-débit
==> révolution en biologie ! donc en génétique...



Marqueurs moléculaires

Polymorphismes de séquence : les **Single Nucleotide Polymorphisms (SNP)**

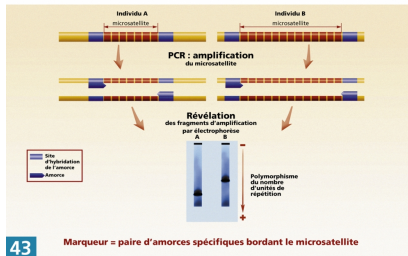
des millions de SNPs dans un génome !

Marqueurs moléculaires

Polymorphismes de longueur (insertions/délétions) : exemple des microsatellites (ou Short Tandem Repeats)

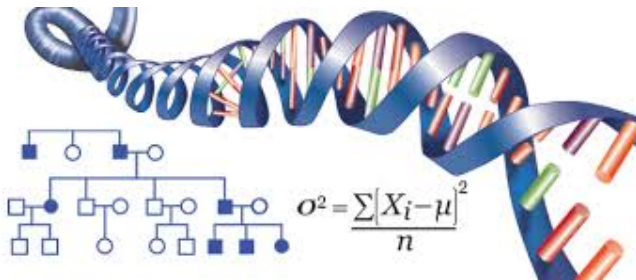


Les marqueurs microsatellites



moins fréquents que les SNPs, mais plus polymorphes (beaucoup d'allèles)

Utilisation de l'information génétique en biologie : implications scientifiques et sociétales



DNA fingerprinting

DNA fingerprinting

Criminologie

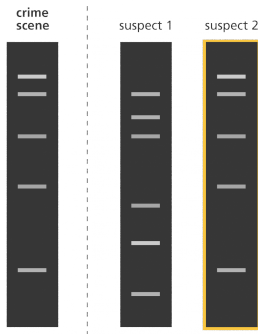


Abby's Lab



DNA fingerprinting

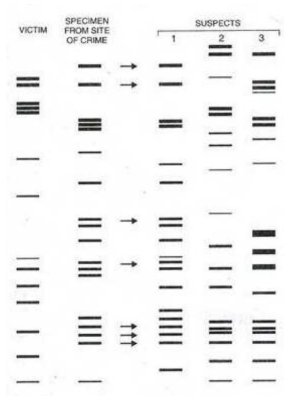
Criminologie



- suspect 2 le plus probable, mais pas à 100% certains! (des bandes supplémentaires pourraient ne pas correspondre)
- utilisation actuelle de dizaines de marqueurs microsatellites pour affiner la probabilité de "matching"

DNA fingerprinting

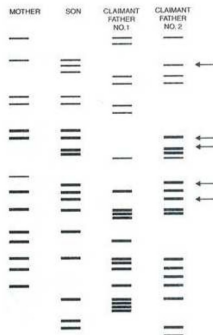
Criminologie



Identification of a criminal through DNA fingerprinting. Suspect number one is real culprit, as its VNTR bands are matching with specimen from site of crime.

DNA fingerprinting

Tests de paternité/maternité





DNA fingerprints of mother under consideration, the child and two claimant fathers. Claimant father No. 2 proved to be the real/biological father.



Médecine légale (identification)

DNA fingerprinting

Commerce illégal

Bio Bulletin  **BUSHMEAT TRACKED BY BARCODE**
 SEPTEMBER 21, 2009  SCIENCE BULLETINS **AFRICA AND SOUTH AMERICA**

From each bushmeat sample, scientists at the American Museum of Natural History sequenced a fragment of DNA called a “barcode.” All individuals in a species have a similar barcode.

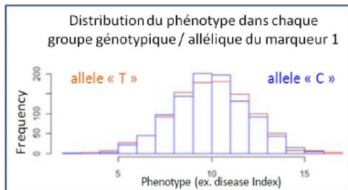
 **Black-fronted duiker**
Cephalophus nigrifrons 

association génotype / phénotype, génétique humaine

Association génotype / phénotype

Principe

individu (haploïde)	phénotype (ex: symptôme)	marqueur 1
1	11	C
2	9	C
3	10	C
4	9.5	C
5	10.3	T
6	9.8	T
..
..

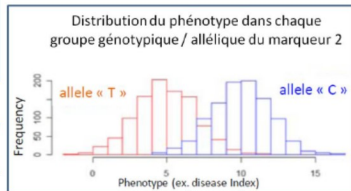


→ Les moyennes sont très proches → pas de différences phénotypiques dues au génotype/allèle → pas d'association → marqueur non causal

Association génotype / phénotype

Principe

individu (haploïde)	phénotype (ex: symptôme)	marqueur 2
1	11	C
2	9	C
3	10	C
4	9.5	C
5	5	T
6	4	T
..
..



→ Les moyennes sont significativement différentes → association phénotype/génotype
→ marqueur causal (?)

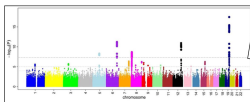
Association génotype / phénotype

Génétique médicale

- identifier des variants (mutations) associés à des pathologies humaines : "Genome-Wide Association Study"

Nature 2009 August 6, 460(7256): 744–747. doi:10.1038/nature08186.

Common variants conferring risk of schizophrenia

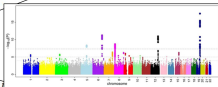


A genome-wide association study identifies novel risk loci for type 2 diabetes

Robert Slade^{1,2,4}, Ghislain Rocheau^{1,2}, John Ross⁴, Christian Dina⁴, Lihuang Shen¹, David Serru¹, Philippe Boutin¹, Daniel Vincent¹, Alexandre Boullet¹, Sany Hadjilov¹, Besenly Bakka¹, Barbara Heude¹, Guillaume Charpentier¹, Thomas J. Hudson^{3,5}, Alexandre Montpetit¹, Aubrey V. Potholletsky¹, Marc Frenck^{1,6,7}, Barry I. Posner^{1,2}, David J. Balding^{1,2}, David Meyre¹, Constantin Polychronakos^{1,2} & Philippe Froguel^{1,2}

Nat. Genet. 2015 April; 47(4): 375–380. doi:10.1038/ng.324

Genome-wide association analysis of more than 120,000 individuals identifies 15 new susceptibility loci for breast cancer



Nat. Genet. 2012 December; 44(12): 1340–1346. doi:10.1038/ng.2462

High density genetic mapping identifies new susceptibility loci for rheumatoid arthritis

Nat. Genet. 2009 June; 41(6): 657–665. doi:10.1038/ng.388.

Genome-wide and fine-resolution association analysis of malaria in West Africa

Association génotype / phénotype

Génétique personnelle (prédictive)



Healthy genome used to predict disease risk in later life

A study by a Stanford University scientist, published in the Lancet, is the first to use the full genome to glean information on somebody's future wellbeing



Detailed genetic analyses will allow doctors to give more targeted health advice and inform them which drugs will work best for particular patients. Photograph: AP

For the first time, doctors have used the genetic profile of an apparently healthy middle-aged man to predict his risk of developing dozens of diseases in later life.

Dr Stephen Quake, a 40-year-old scientist at Stanford University in California, was found to be carrying a rare genetic mutation that can cause a sudden and fatal heart attack, and other genes that boosted his risk of becoming diabetic and obese to more than 50%.

Article d'avril 2010

Association génotype / phénotype

Génétique personnelle (prédictive)

USA

- [23andMe](#) (adoption, deep ancestry, ethnicity, exome sequencing, genealogy, health)
- [Counsyl](#) (inherited cancer gene screening, invasive pre-natal screening, preconception screening)
- [DNA LifeStyle Coach](#) (diet, fitness, wellness, dental and skincare, telomere length)
- [Fitness Genes](#) (fitness, health and nutrition)
- [Full Genomes Corporation](#) (whole genome sequencing)
- [Guardiome](#) (whole genome sequencing)
- [Gene by Gene](#) (research, exome sequencing, whole genome sequencing) (an amalgamation of the companies formerly known as DNA DTC and DNA Traits)
- [Genelex](#) (paternity, pharmacogenetics)
- [Genomic Express](#) (ancestry, nutrition, pharmacogenetics, sports, traits)
- [Healthspek PGT](#) (pharmacogenetics)
- [Helix](#) (to launch in 2016)
- [Interleukin Genetics](#) (health)
- [InVitaе](#) (health)
- [Kailos Genetics](#) (health, pharmacogenetics)
- [LifeNome](#) (allergies, dieting and fitness, nutrition, preventive well-being, skin care, sleep and rejuvenation)
- [Stanford Sports Genetics](#) (sports)
- [Sure Genomics](#) (health, whole genome sequencing)
- [Ubiome](#) (microbiome sequencing)
- [Veritas Genetics](#) (whole genome sequencing, BRCA, prenatal testing)

Séquencer son propre génome

FR LE HUFFINGTON POST EN ASSOCIATION AVEC LE GROUP E21Media

TIQUE ÉCONOMIE INTERNATIONAL CULTURE LE BON LIEN C'EST LA VIE LE HUFFPLAY PLUS

ACTUALITÉS

Pour 999 dollars, le séquençage de votre génome disponible sur une app

10/03/2016 07:31 CEST | Actualité le 08/10/2016 04:02 CEST

Article de mars 2016

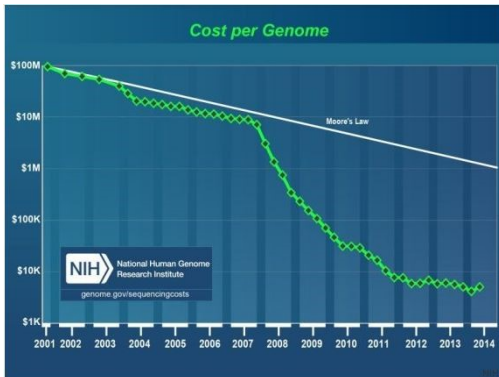
Grégoire Rosières
Le HuffPost



ACTIVITÉ Génétique - imaginez: vous êtes malade et votre médecin veut vous prescrire un médicament. Vous ne pensez pas y être allergique, mais en consultant votre smartphone, vous vous rendez compte que vous y feriez une réaction. Science-fiction? Pas pour [Veritas Genetics](#), une société américaine qui propose le séquençage de votre génome et son analyse (partielle), le tout disponible sur une application. Et pour seulement 999 dollars.

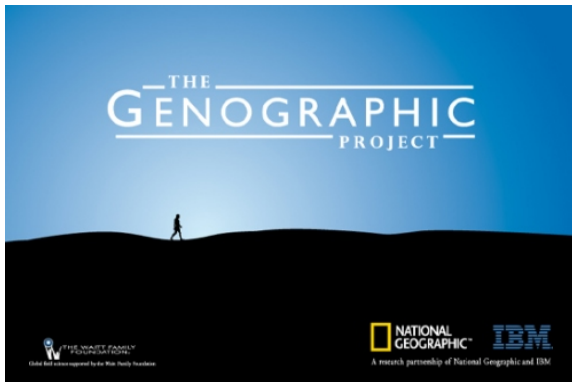
Comment est-ce possible? Depuis le séquençage premier génome humain en 2003, qui a pris 13 ans et coûté 3 milliards de dollars, le prix du séquençage a vraiment été cassé, comme le montre ce graphique:

Séquencer son propre génome



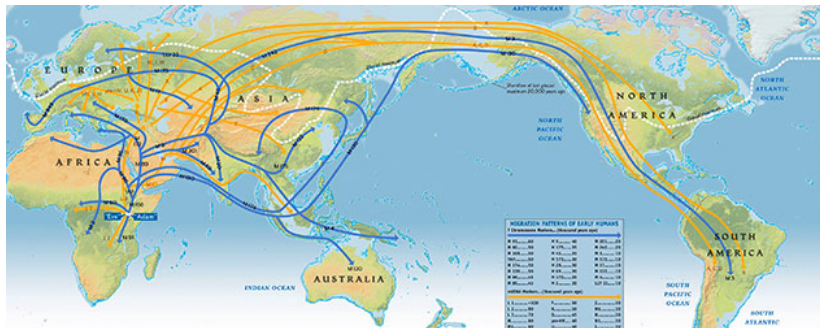
Déjà en 2014, la société Illumina affirmait être en mesure de décrypter les 3 milliards de paires qui composent le génome humain pour 1000 dollars. La différence, c'est que Veritas Genetics propose également une interprétation des résultats, afin de connaître les prédispositions génétiques d'une personne.

Histoire génétique personnelle



- <https://genographic.nationalgeographic.com/>
- On achète un kit (99.95 US dollars) pour prélèvement salivaire ==> analyse ==> information DNA dans une base de données accessible.

Histoire génétique personnelle

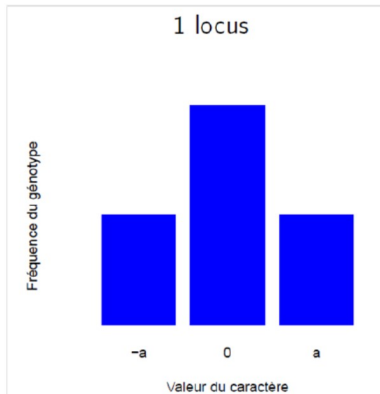


étude de l'ADN nucléaire, mitochondrial, chromosome Y

génétique quantitative et agronomie

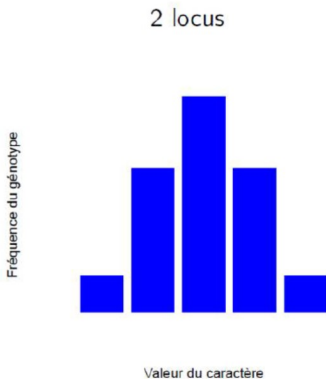
Déterminisme génétique des caractères

Effet de plusieurs gènes sur un caractère



Déterminisme génétique des caractères

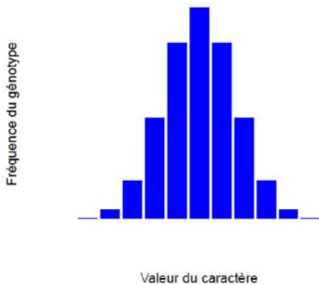
Effet de plusieurs gènes sur un caractère



Déterminisme génétique des caractères

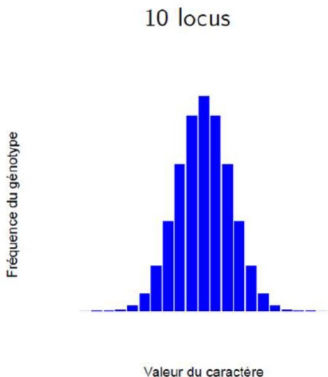
Effet de plusieurs gènes sur un caractère

5 locus



Déterminisme génétique des caractères

Effet de plusieurs gènes sur un caractère

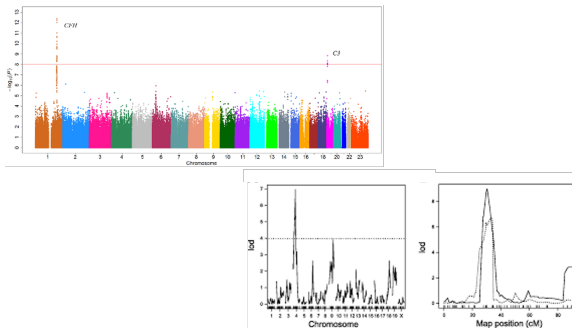


c'est le modèle polygénique infinitésimal (Fischer, 1918)

Déterminisme génétique des caractères

Identification des gènes

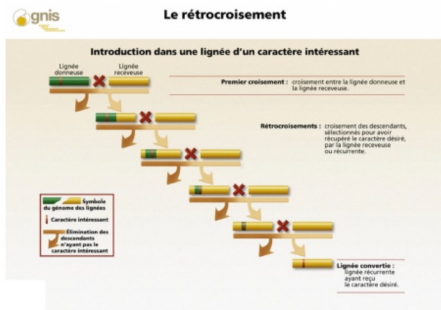
- analyses Quantitative Trait Loci (QTL)
- analyses d'association (GWAS)



- ==> sélection et amélioration génétique des animaux et des plantes, sur la base des allèles aux gènes d'intérêts identifiés

Sélection et amélioration génétique des animaux et des plantes

Sélection assistée par marqueurs

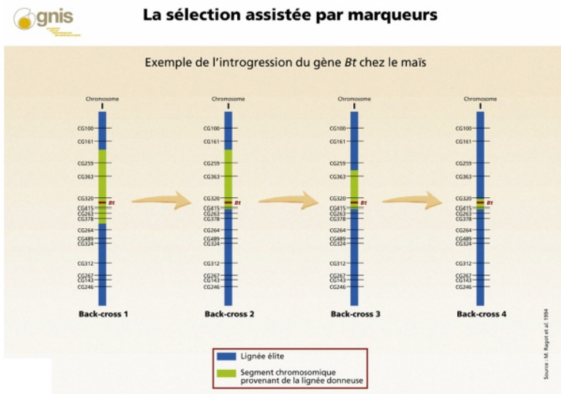


Les [rétrocroisements](#) sont utilisés pour réaliser l'introgression d'un [gène](#) dans une [variété élite](#). Mais en dépit d'un grand nombre de rétrocroisements, il reste toujours dans la lignée receveuse des segments chromosomiques du parent donneur autour du gène d'intérêt. Les [marqueurs](#) moléculaires sont souvent utilisés pour conduire l'introgression car ils permettent de réduire les temps de sélection. En effet, par sélection classique, un minimum de 7 back-cross est nécessaire afin d'obtenir un retour vers le parent récurrent de 97 %. Avec l'aide des marqueurs moléculaires, quatre rétrocroisements suffisent pour arriver au même résultat car on peut à chaque [génération](#) choisir les plantes ayant recombiné le plus petit segment chromosomique.

Les marqueurs moléculaires sont ainsi beaucoup utilisés pour les conversions de [lignées](#) pour un [transgène](#). A chaque génération, les plantes ayant récupéré le transgène sont sélectionnées sur la base de caractérisation à l'aide de marqueurs moléculaires. **Source: GNIS**

Sélection et amélioration génétique des animaux et des plantes

Sélection assistée par marqueurs



croisements assistés par marqueurs pour intégrer les allèles d'intérêt dans le génome d'une variété (plante), race (animaux d'élevages)

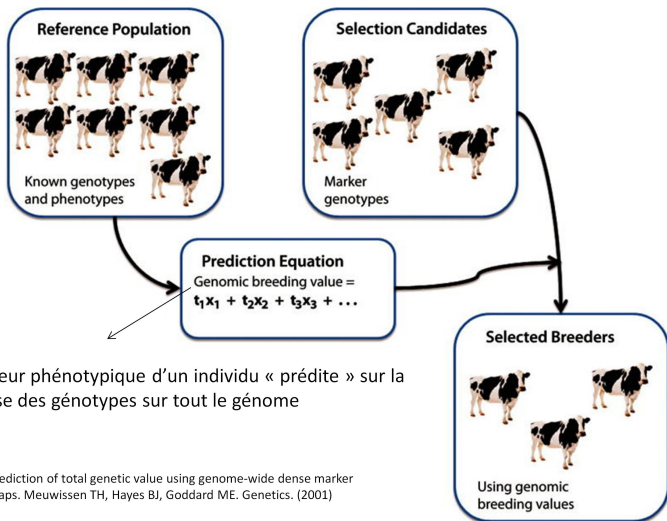
Sélection et amélioration génétique des animaux et des plantes

Avancée récente : sélection génomique

- bénéficie de l'apport des technologies de séquençage et génotypage haut-débit, qui permettent d'obtenir le génotype d'un individu à des milliers de marqueurs moléculaires (ex : SNP).
- on s'intéresse à prédire l'effet de milliers de marqueurs SNP sur la valeur phénotypique d'un individu.
- les généticiens/agronomes/sélectionneurs utilisent des modèles linéaires généralisés pour estimer l'effet de chaque SNP sur le phénotype.
- le but est ensuite de prédire la valeur phénotypique future d'un individu à partir de son génotypage.

Sélection et amélioration génétique des animaux et des plantes

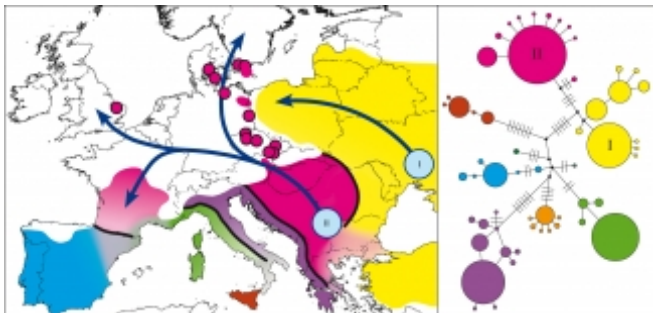
Avancée récente : sélection génomique



génétique des populations, phylogéographie

Histoire démographique des populations

Retracer les événements migratoires



Histoire démographique des populations

Estimer la taille des populations

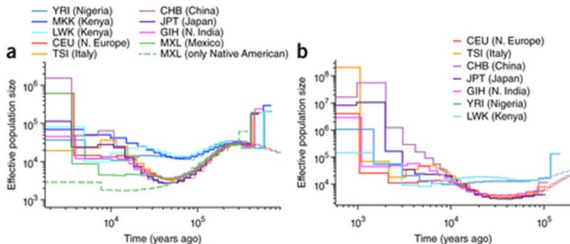
Molecular Ecology (2008) 17, 1009–1019

doi: 10.1111/j.1365-294X.2007.03645.x

Origin and number of founders in an introduced insular primate: estimation from nuclear genetic data

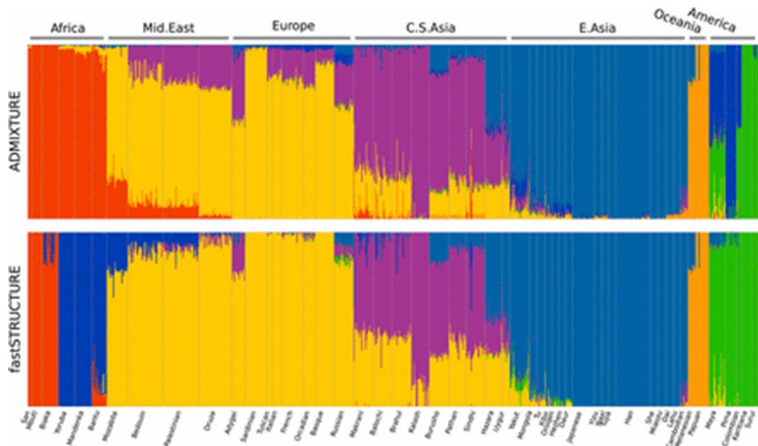
M. BONHOMME,* A. BLANCHER,† S. CUARTERO,* L. CHIKHI* and B. CROUAU-ROY*†

*Université Paul Sabatier, 118 route de Narbonne, Laboratoire UMR CNRS 5174 'Evolution et Diversité Biologique' EDB, Bat1VR3b2, Toulouse 31062 cedex 9, France, †Faculté de Médecine de Rangueil, Bat A2, 133 route de Narbonne, Toulouse 31062 cedex 9, France



Histoire démographique des populations

Estimer la structure des populations



Conclusion

... une grande variété d'applications à partir de données génétiques...
faites de la bioinformatique et de la génétique !!