





Stéphane Clouet

# I plus haut, plus vite, plus fort où sont les limites ?

**jean-françois toussaint**  
**université paris descartes**  
**insep, inserm, aphp**  
**irmes**

53<sup>e</sup> journées médicales  
Le Havre  
21 janvier 2017

Collège  
de France  
23 mai

2014 <http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/symposium-2014>  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

**JE SUIS  
CHARLIE**





# II

# activité physique ou sportive quels bénéfices, quels risques ?

**jean-françois toussaint**  
**université paris descartes**  
**insep, inserm, aphp**  
**irmes**

53<sup>e</sup> journées médicales  
Le Havre  
21 janvier 2017

Collège  
de France  
23 mai

2014 <http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/symposium-2014>  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>



**LIFEC**

**OURS**

**PERF**

# **lifecourse performance**

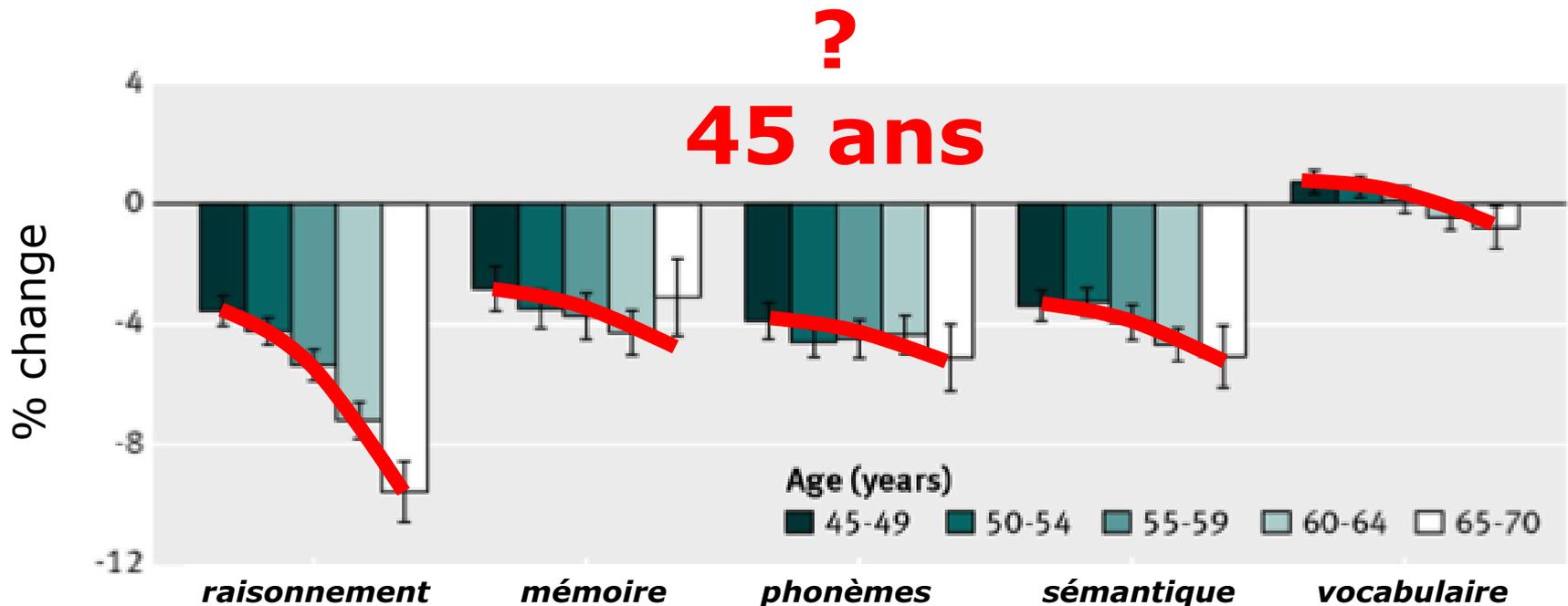
**Roman Opalka**

1931-2011



# déclin exponentiel avec l'âge des performances cognitives

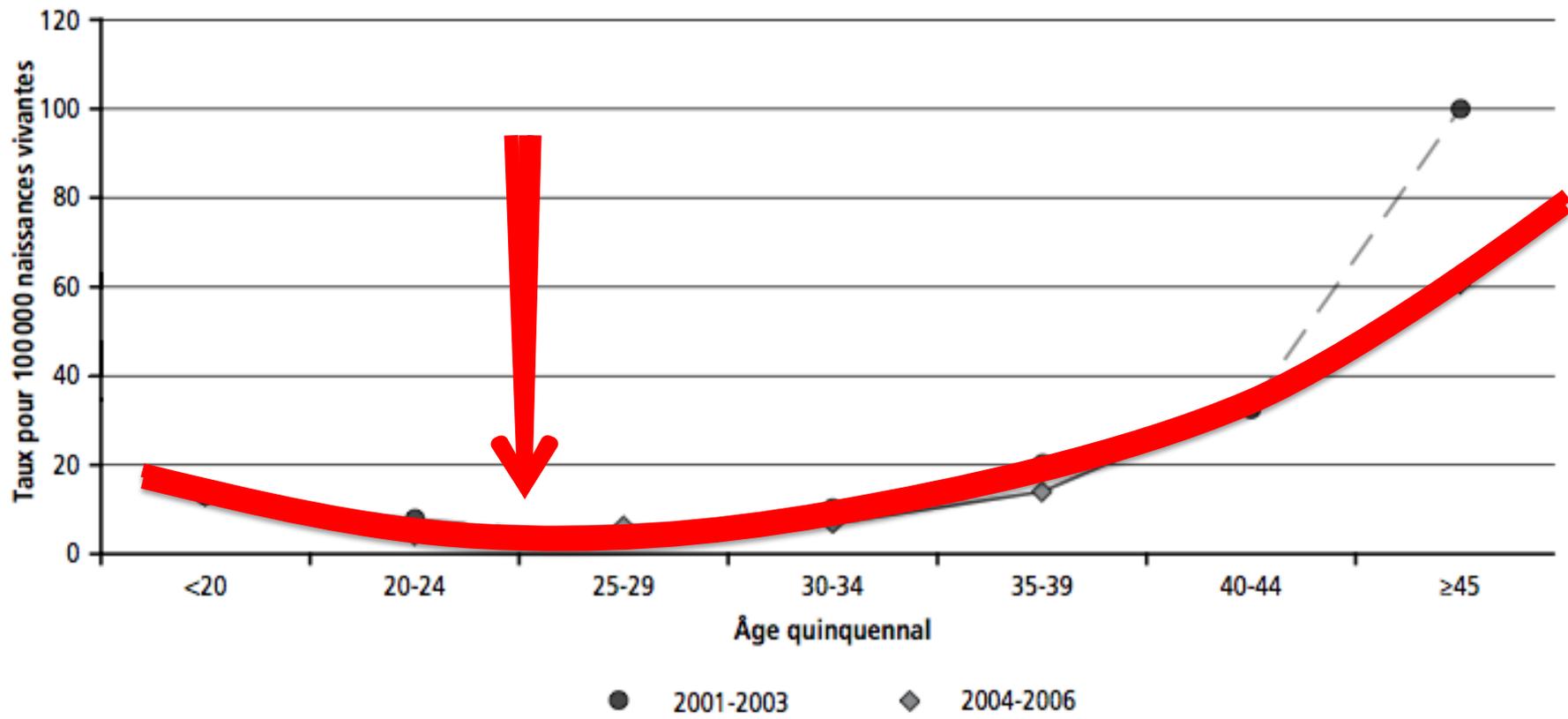
*100 M€: 65 ans (oms)*



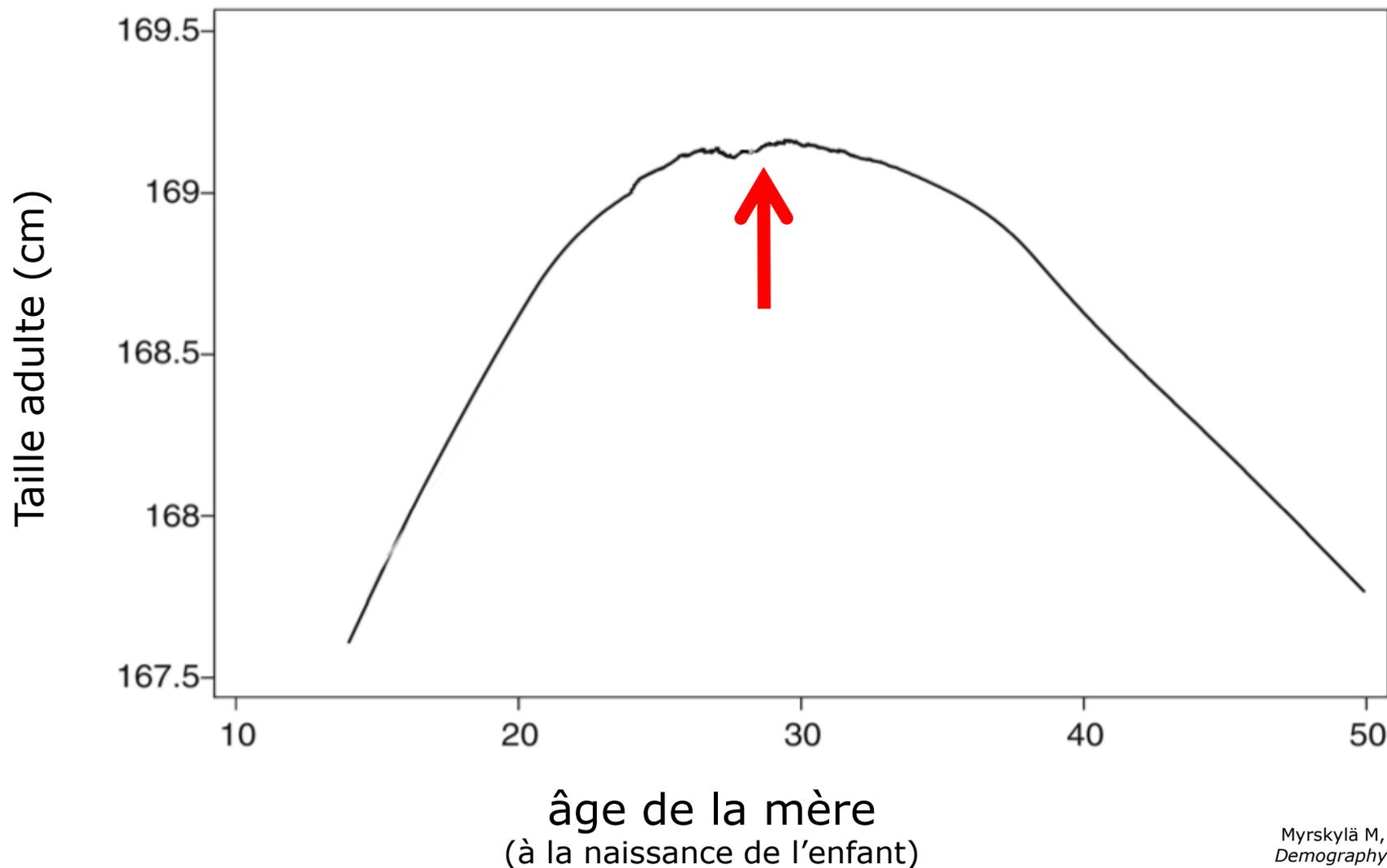
Singh-Manoux A, 2011  
*BMJ* 343, d7622

# taux de décès maternel à la naissance, France

Taux de mortalité spécifique par âge quinquennal, France, 2001-2003 et 2004-2006



# âge de la mère & taille des enfants adultes



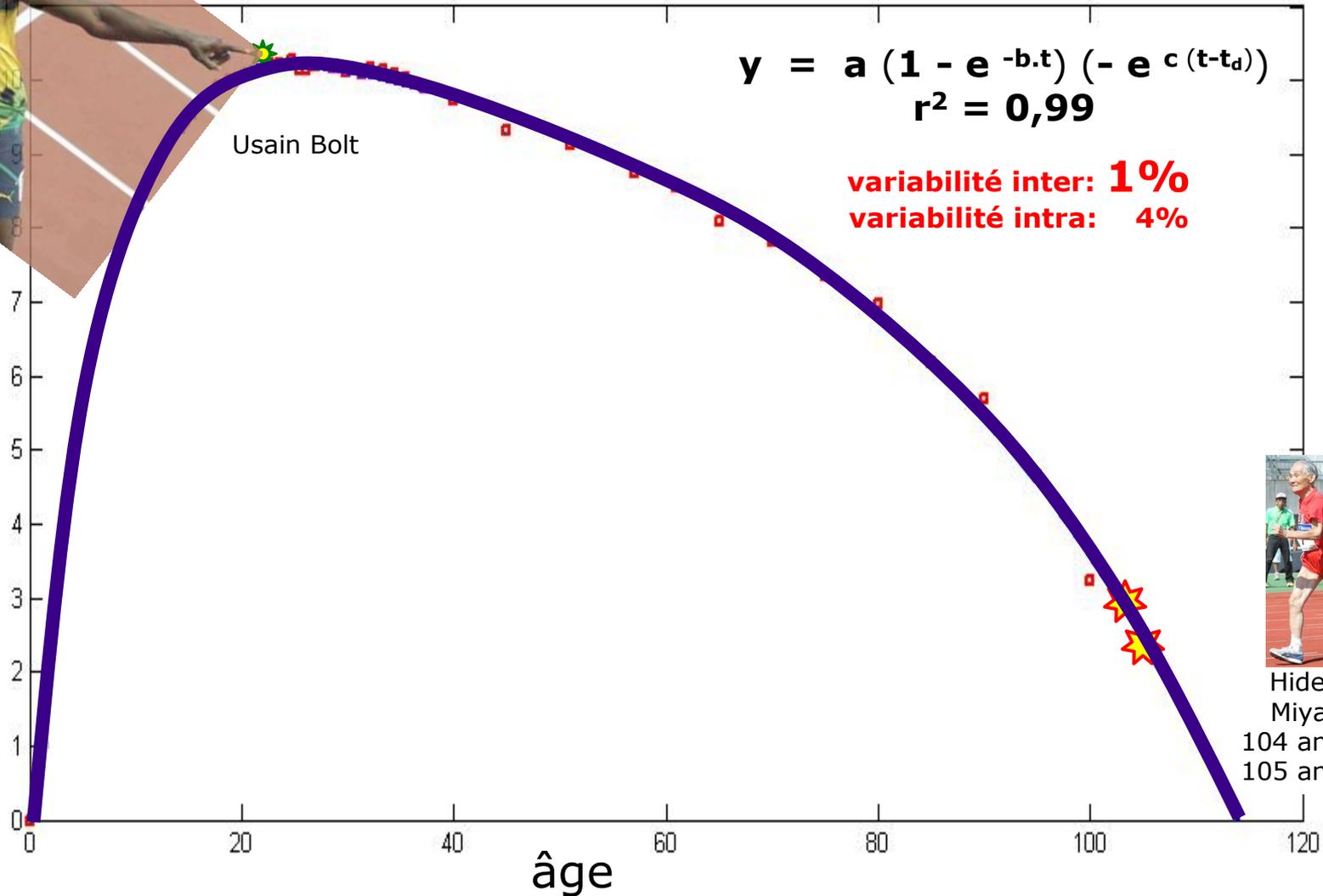
# Record d'espèce 100m masculin

## records du monde selon l'âge

Moore DH  
Nature 1975  
Berthelot G  
Age 2012



vitesse (m/s)



Hidekichi Miyazacki  
104 ans 34'10  
105 ans 42'22

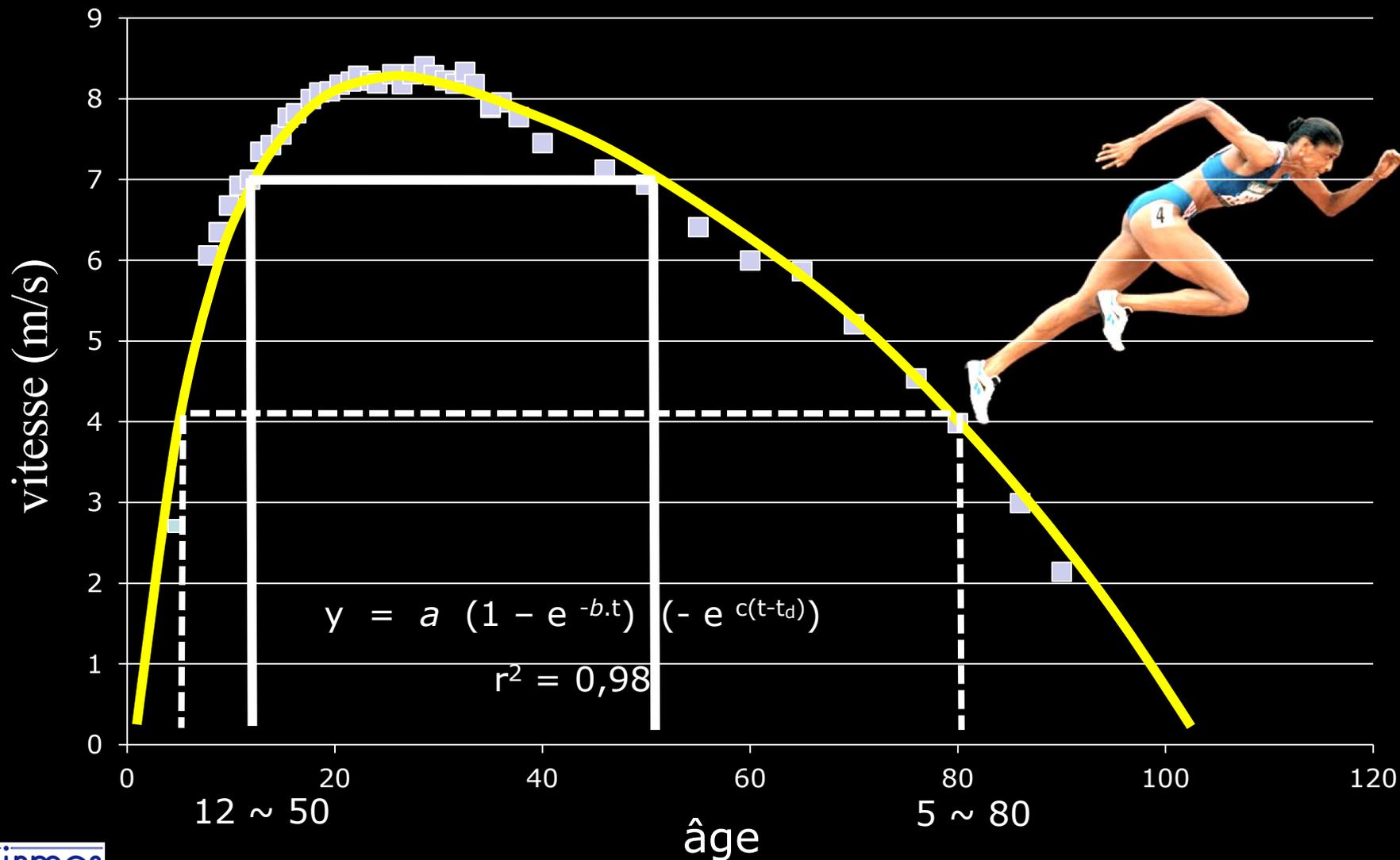


**Robert Marchand, 105 ans**  
4 janvier 2017

# Record d'espèce 400m féminin

## records du monde selon l'âge

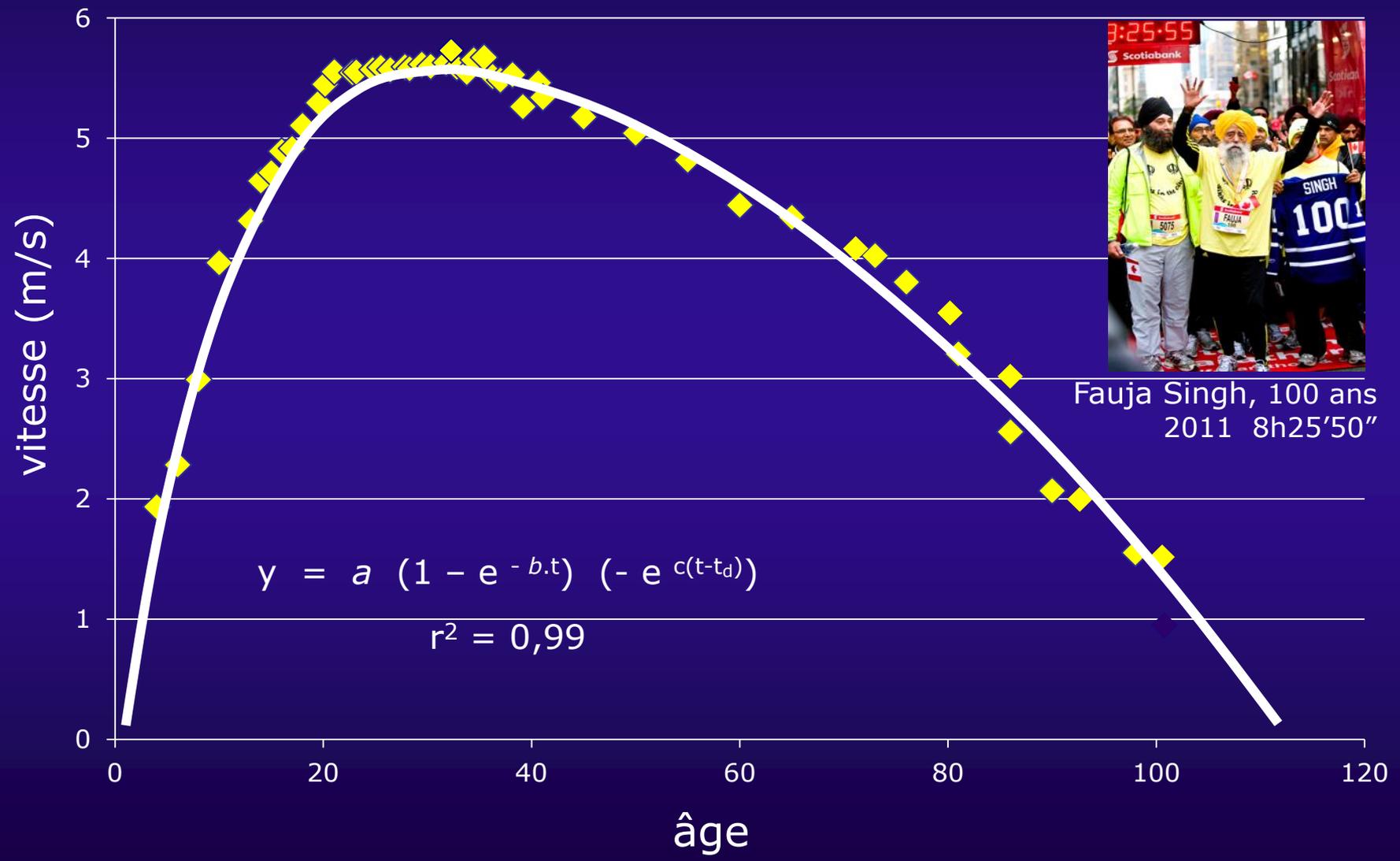
Moore DH  
Nature 1975  
Berthelot G  
Age 2012



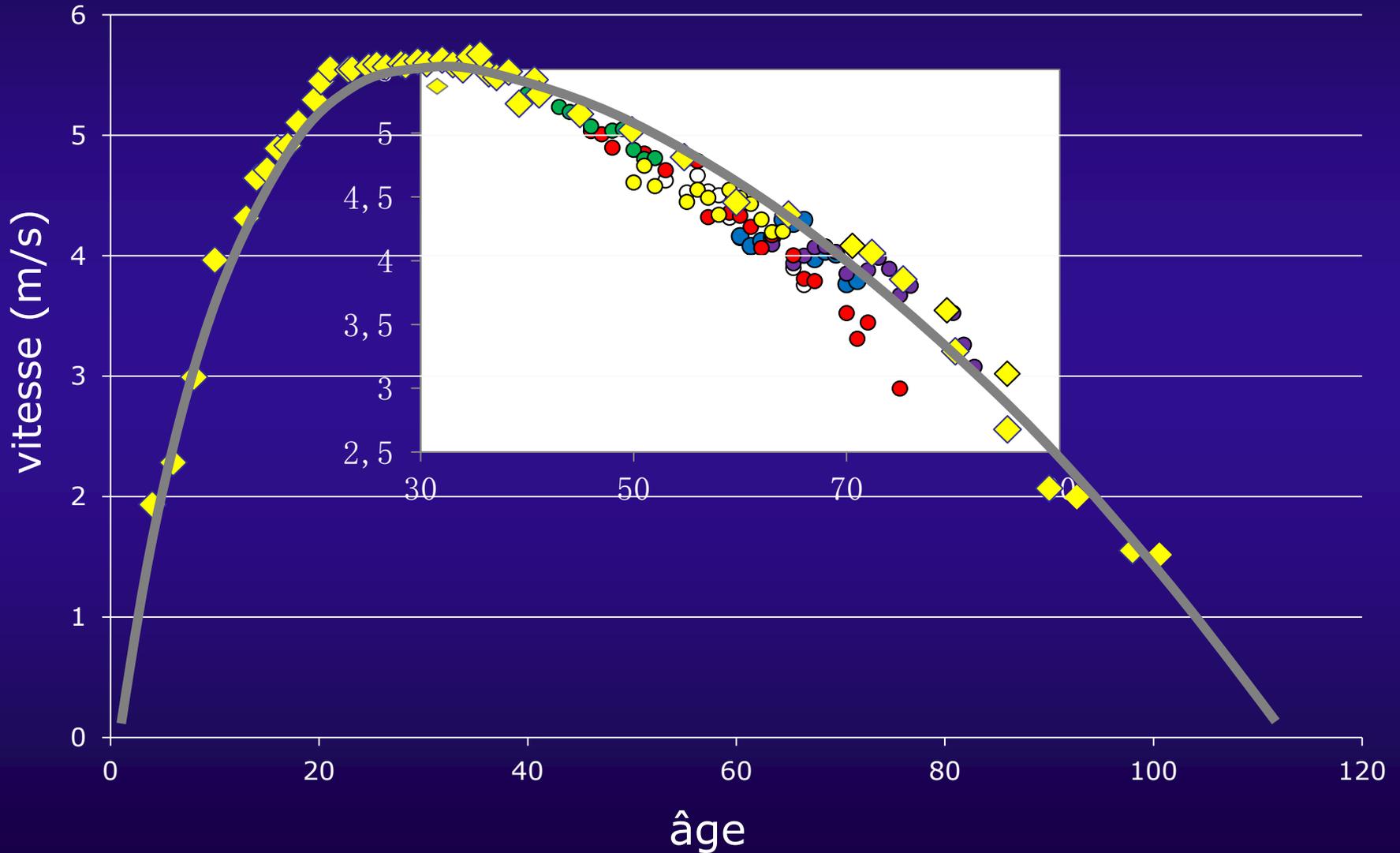
# marathon masculin

## records du monde selon l'âge

Moore DH  
Nature 1975  
Berthelot G  
Age 2012

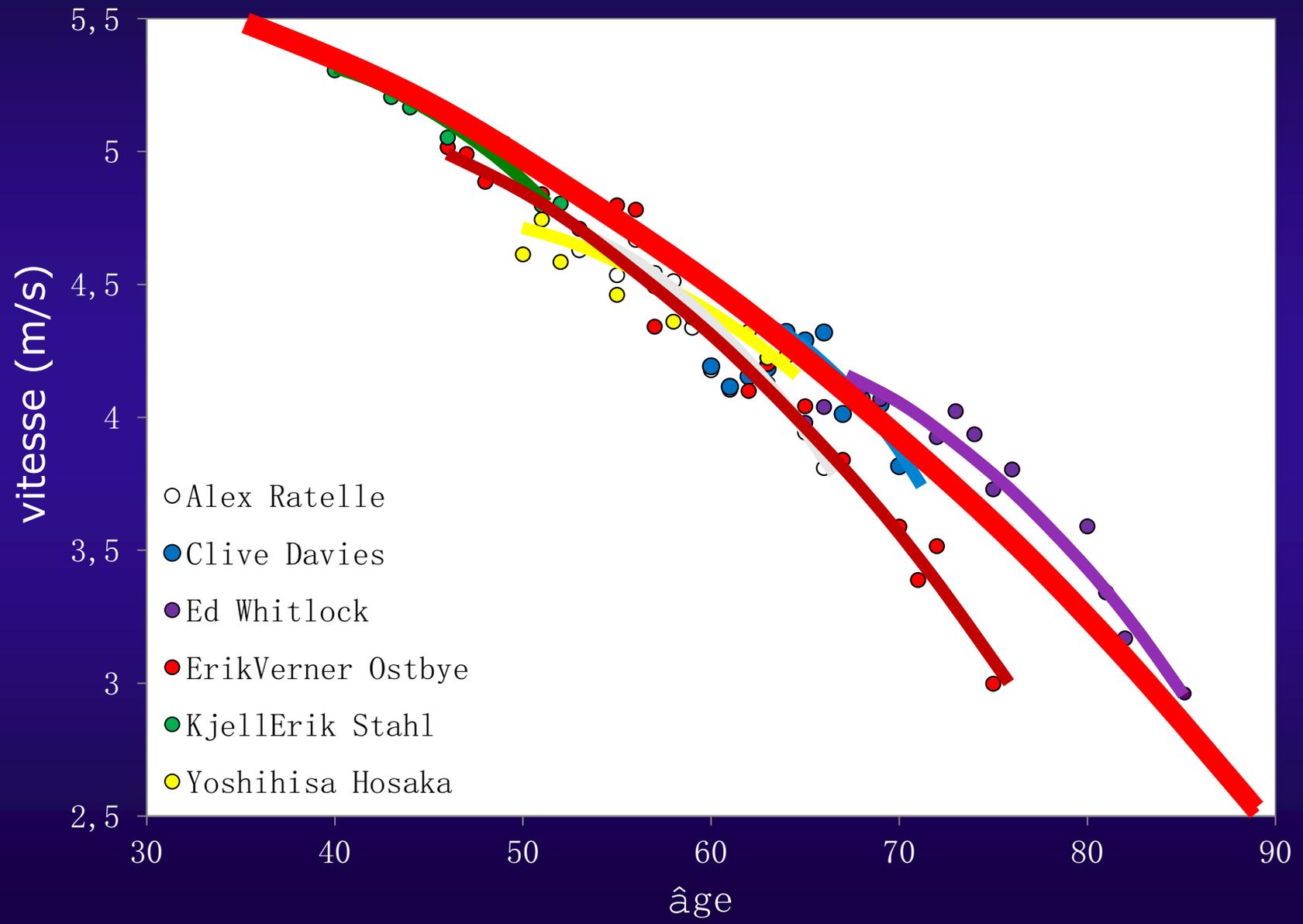


# parcours individuels



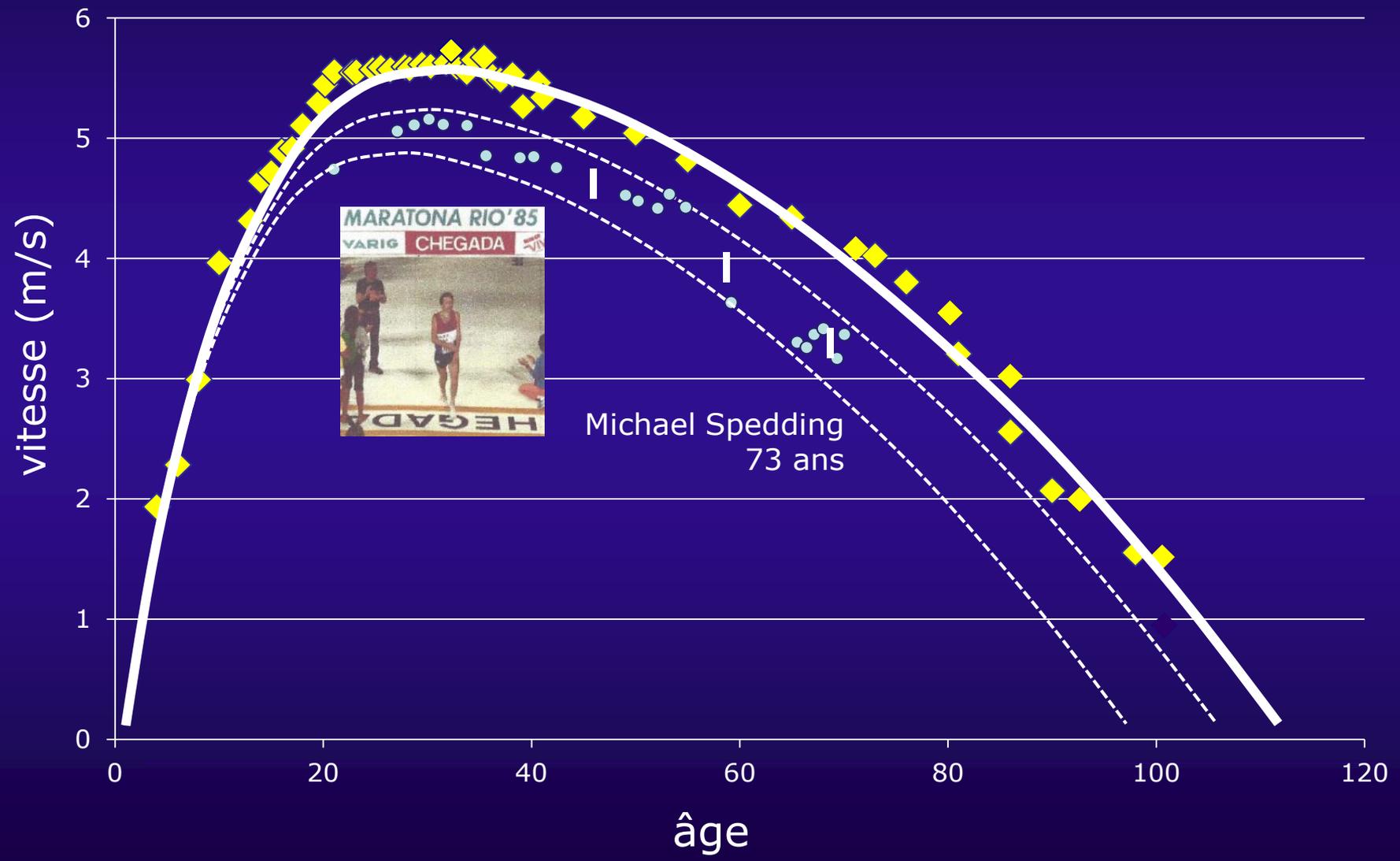
# individu // espèce

Moore DH  
Nature 1975  
Berthelot G  
Age 2012



# marathon masculin

## maxima selon l'âge, population générale



# ubiquitaire





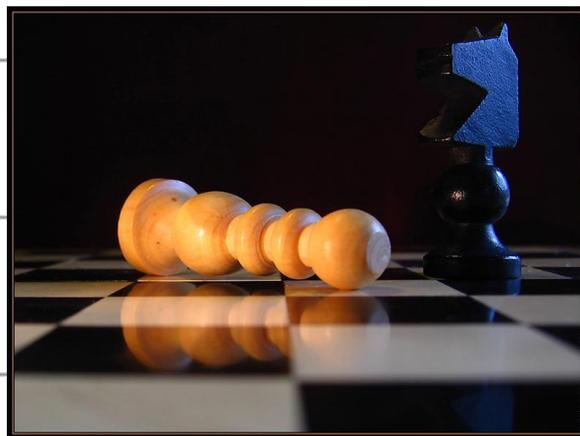
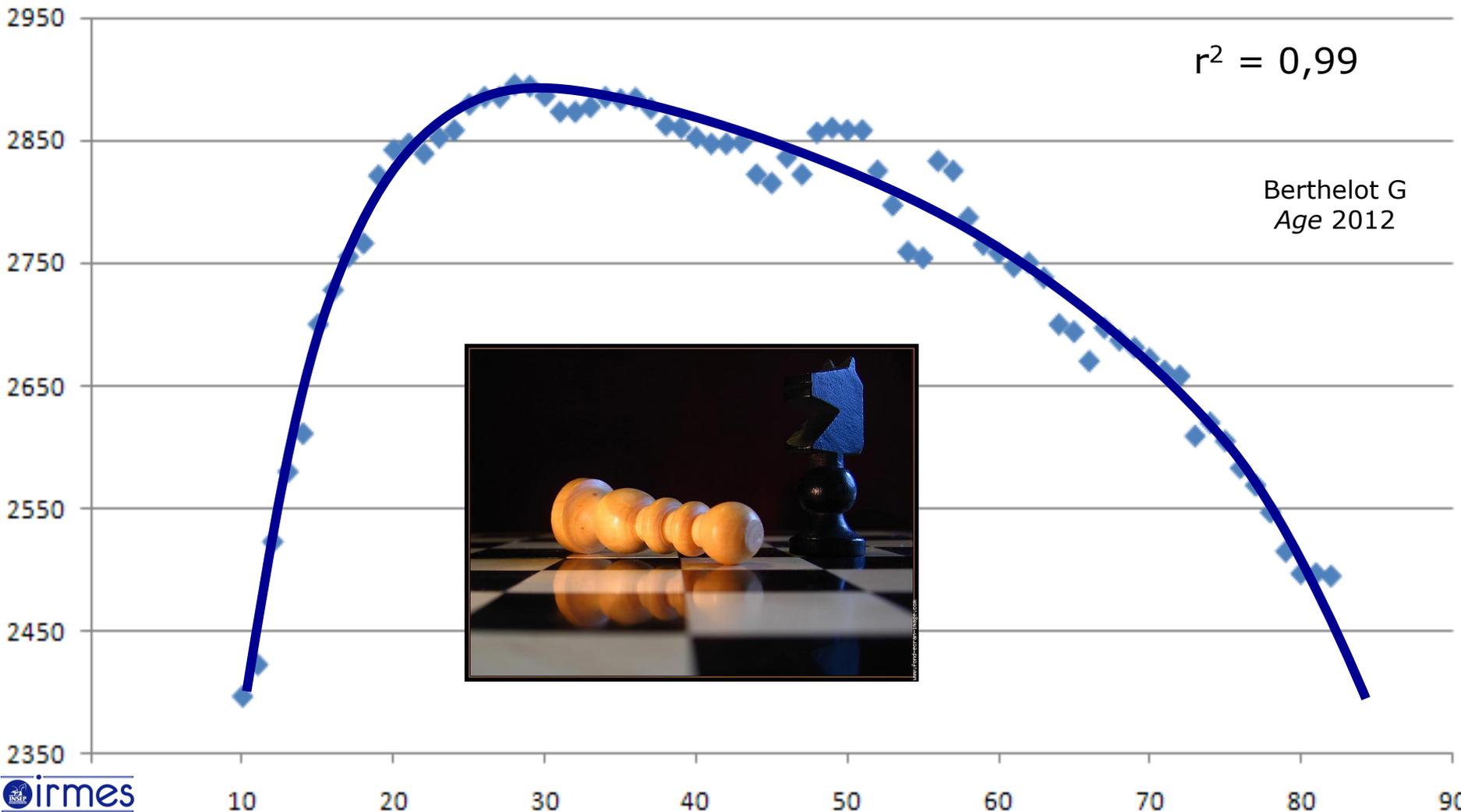
# grands maîtres échecs

## records de points ELO

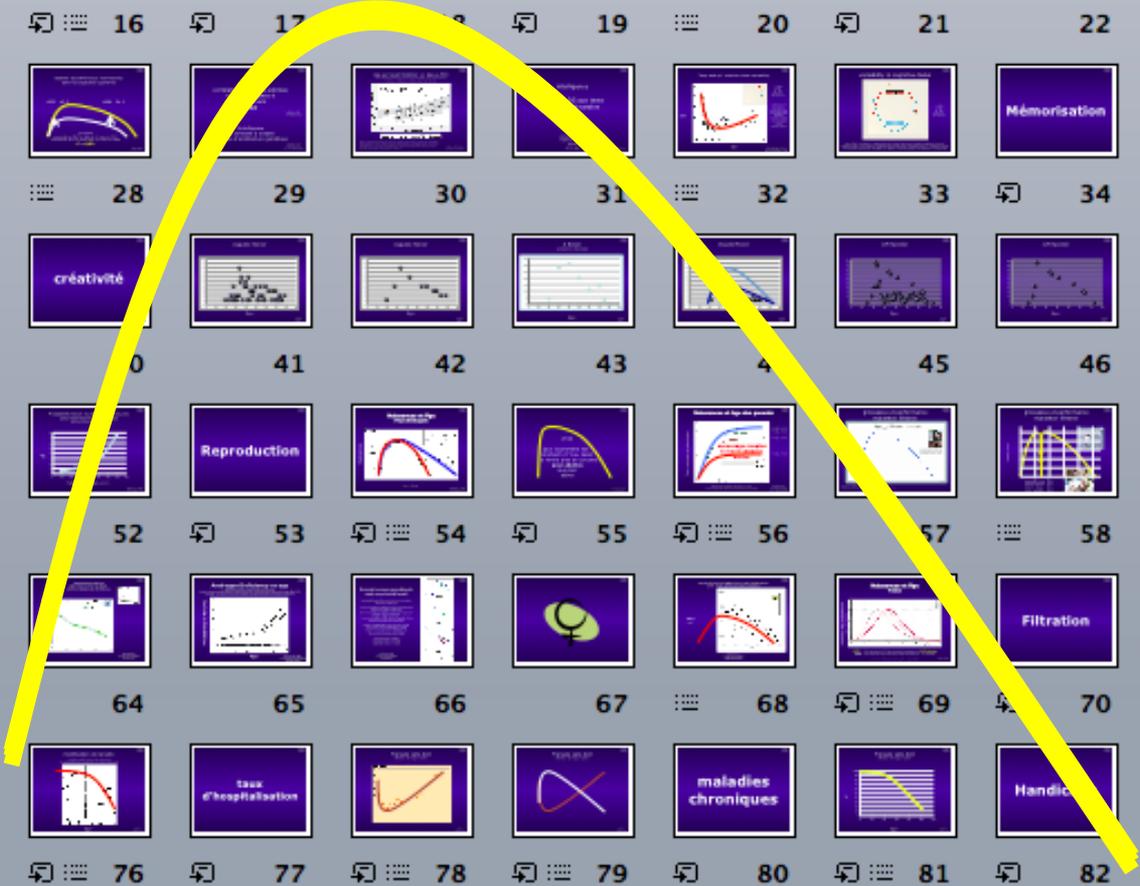
$$y = a \cdot (1 - \exp^{-b \cdot t}) - \exp^c (t - t_d)$$

$r^2 = 0,99$

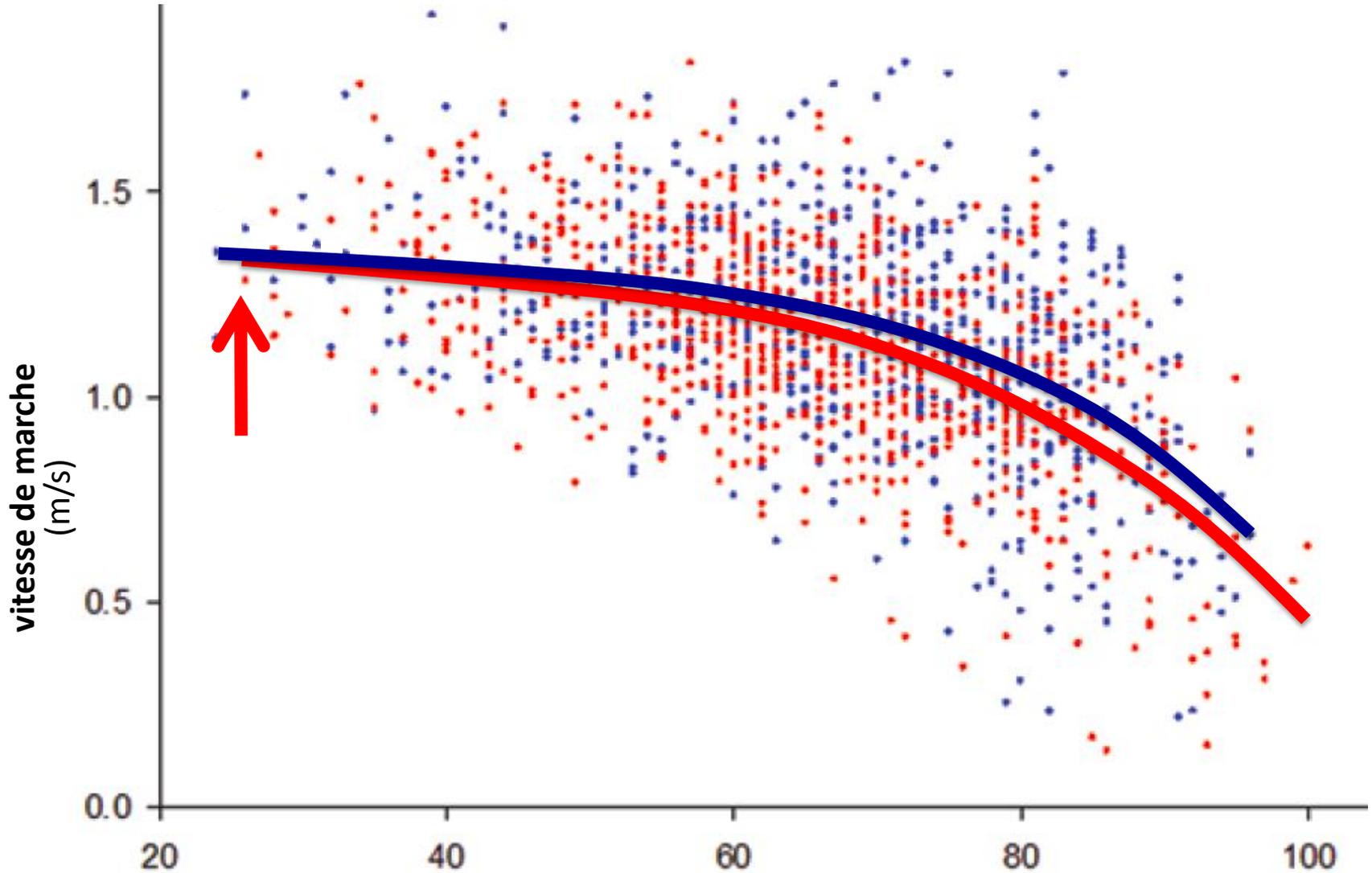
Berthelot G  
Age 2012



biologie cellulaire			physiologie	masse musculaire					VO <sub>2</sub>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
respiration				variabilité du rythme cardiaque		chasse		maturation cérébrale			
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
									Mémoire		
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
			créativité								
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	Sexualité			Reproduction							
49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
									Filtration		
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
		taille		taux d'hospitalisation			maladies chroniques		Handicap		
73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84



# mobilité

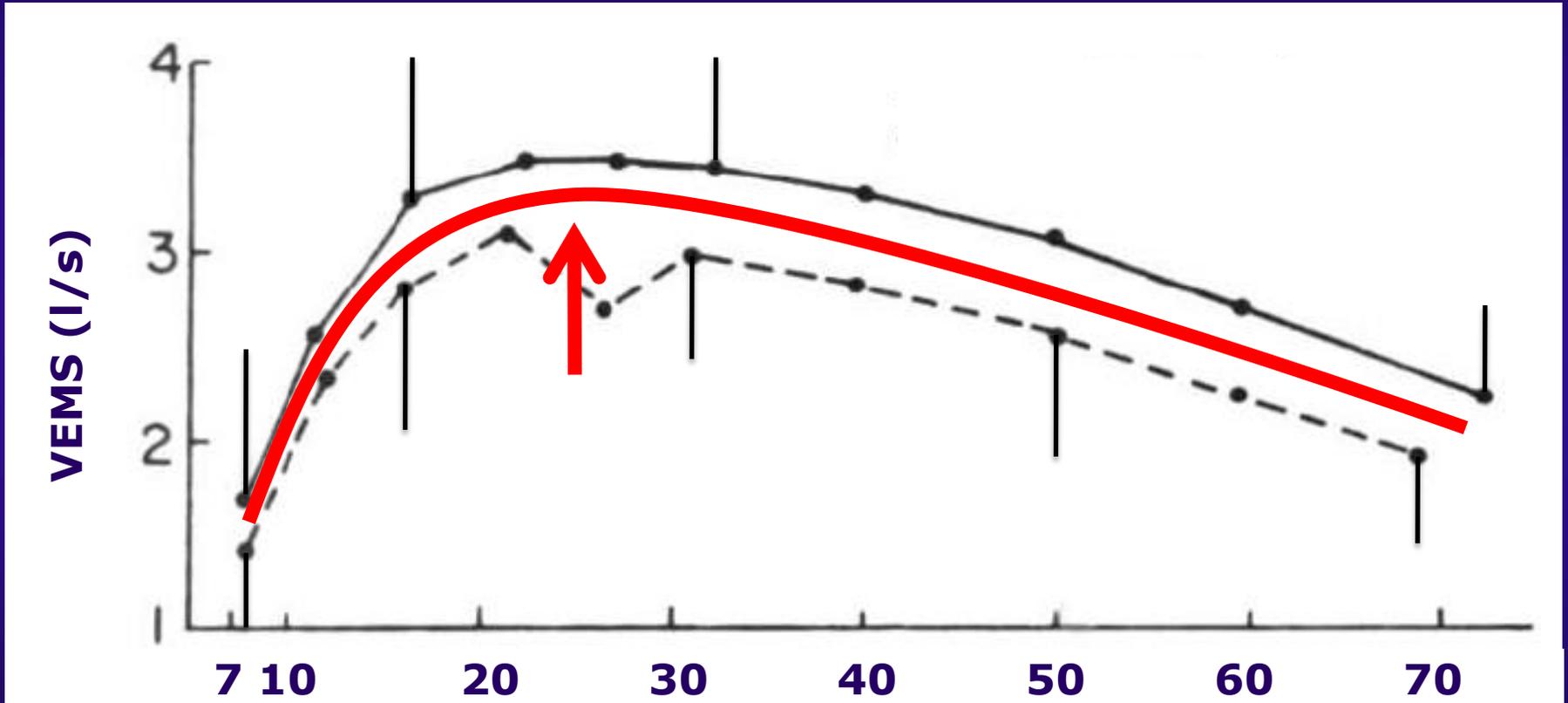


Baltimore Longitudinal Study of Aging

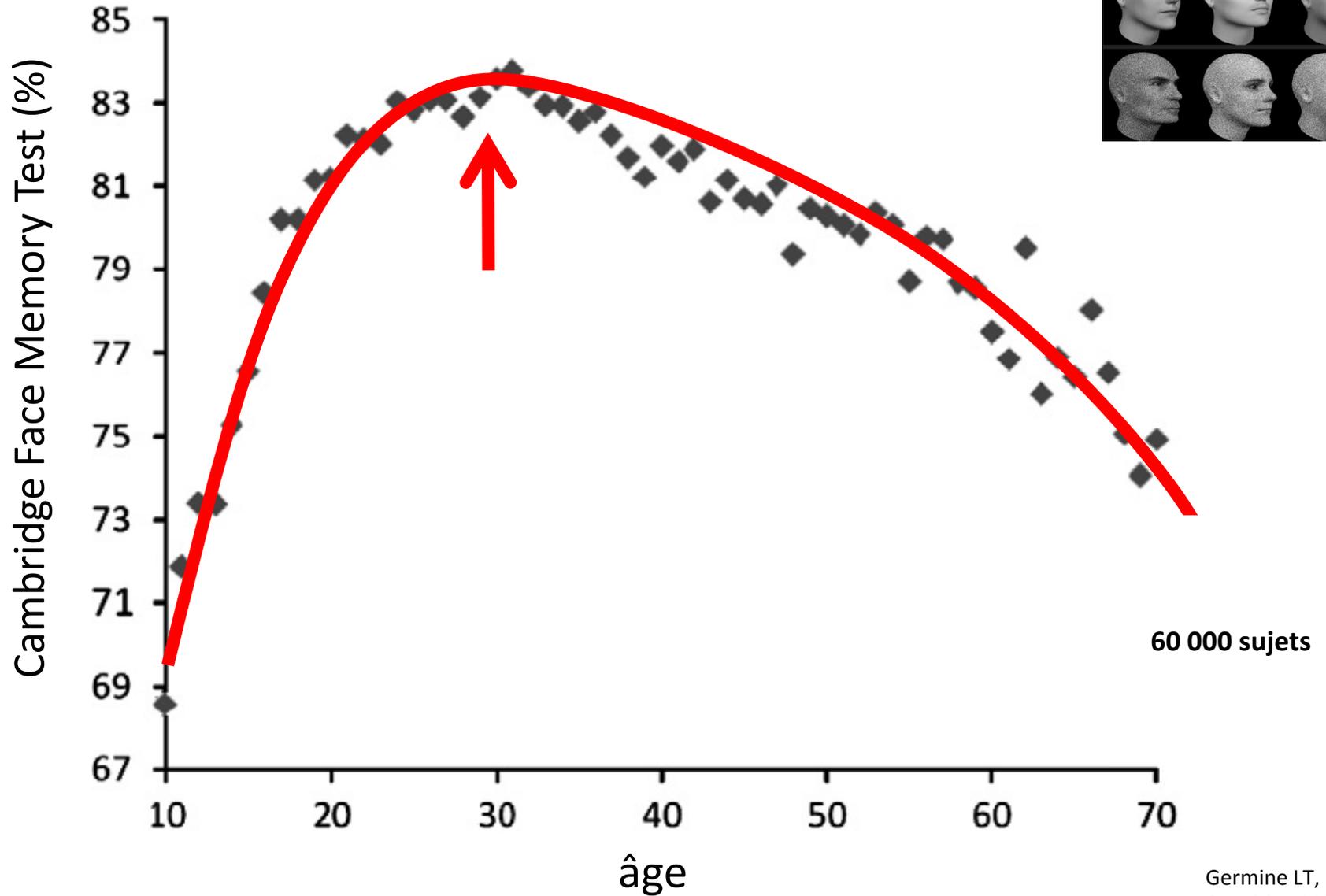
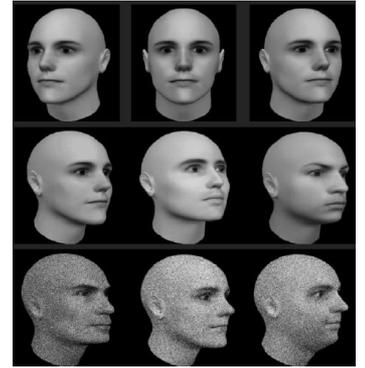
Ferrucci L, 2016  
*J Gerontol A Biol Sci Med Sci*  
doi:10.1093/gerona/glw043



# expiration



# mémoire des visages



# physiopathologie

The grid contains 20 numbered slides, each with a title and a chart:

- 1: mortality from ischaemic heart disease (World and selected countries)
- 2: insuffisance cardiaque Framingham Heart Study
- 3: maladies chroniques
- 4: prévalence des handicaps & troubles sensoriels (audition, vue)
- 5: 5-year mortality
- 6: ACFA (Framingham Study, CHS (USA), W. Aarand's, H. Keizer, C. Radford)
- 7: incontinence urinaire
- 8: cancers
- 9: Maladies dégénératives (France, Tr. Cognitive, Insuffisance cardiaque, Thaïlande, Démence)
- 10: prévalence des handicaps et limitations fonctionnelles
- 11: Prévalence Maladie Artérielle
- 12: maladies dégénératives (ALLEMAGNE, ESPAGNE, THAÏLANDE, FRANCE)
- 13: maladies cardio vasculaires
- 14: Mortalité du Mélanome
- 15: progression des pathologies (burden of chronic diseases)
- 16: insuffisance rénale
- 17: handicaps
- 18: personnes déclarant souffrir fréquemment de douleurs importantes au dos importantes en 1996, 2003 et 2008
- 19: biomarker summary score vs age men and women from the Estonian Biobank cohort

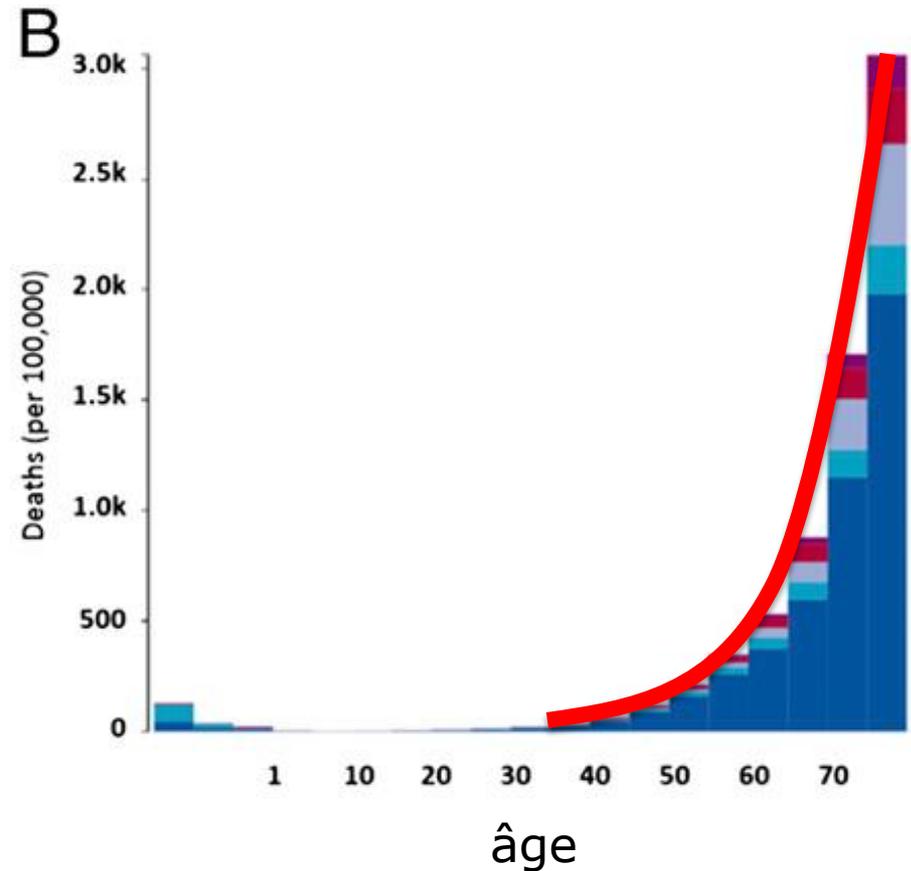
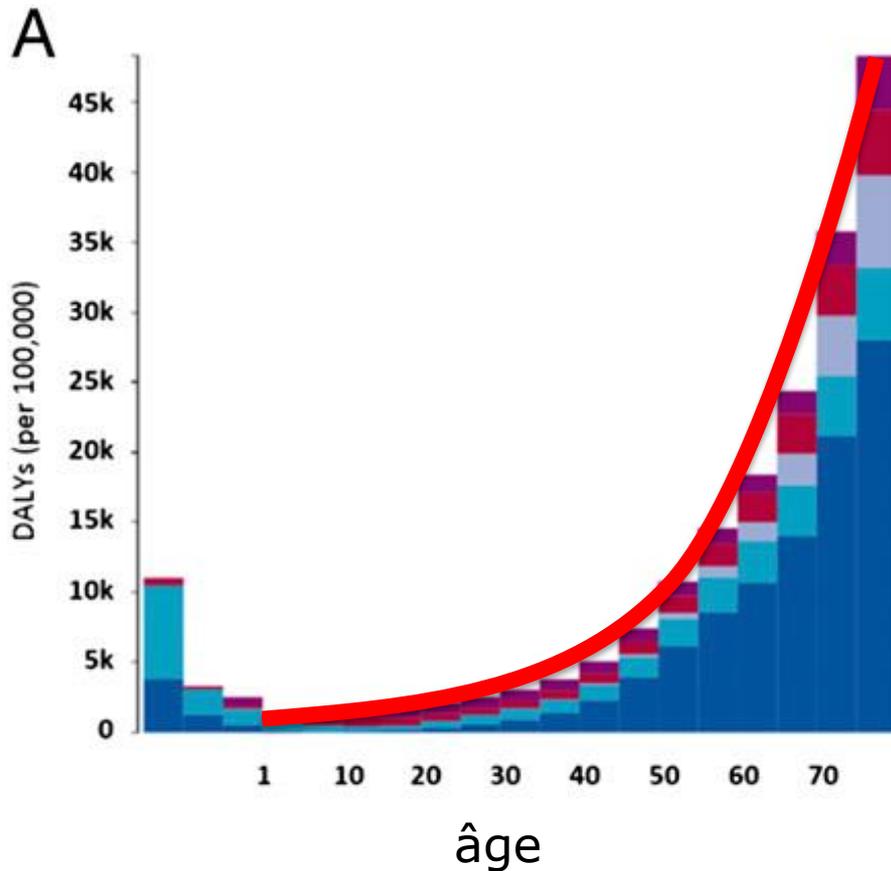
# progression des pathologies

## MNT

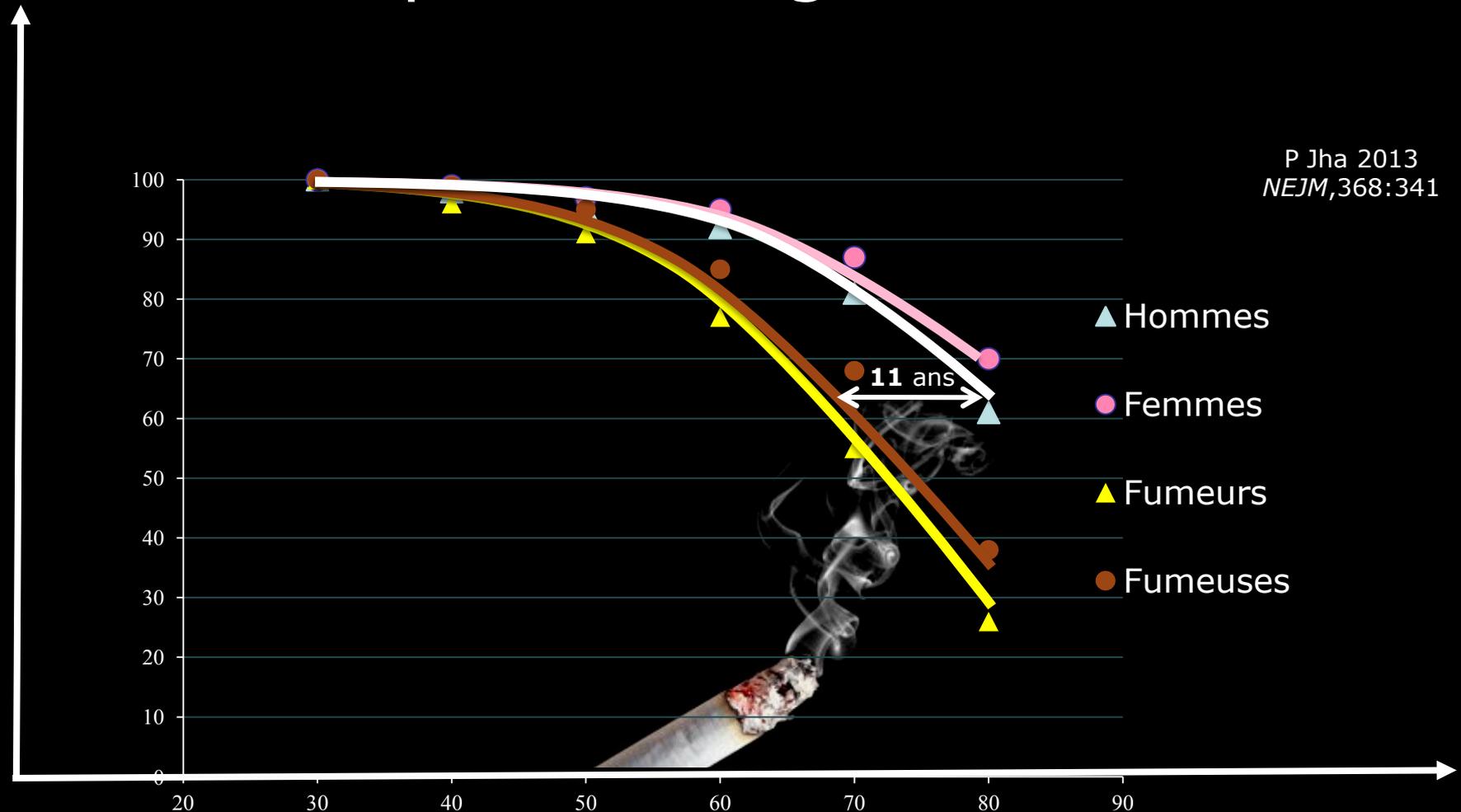
bottom to top: burden of CV diseases (navy), type-2 diabetes (light blue)  
stroke (lavender), chronic respiratory disease (red), neurological disorders (purple)

(A) disability-adjusted life years

(B) mortalité / 100 000

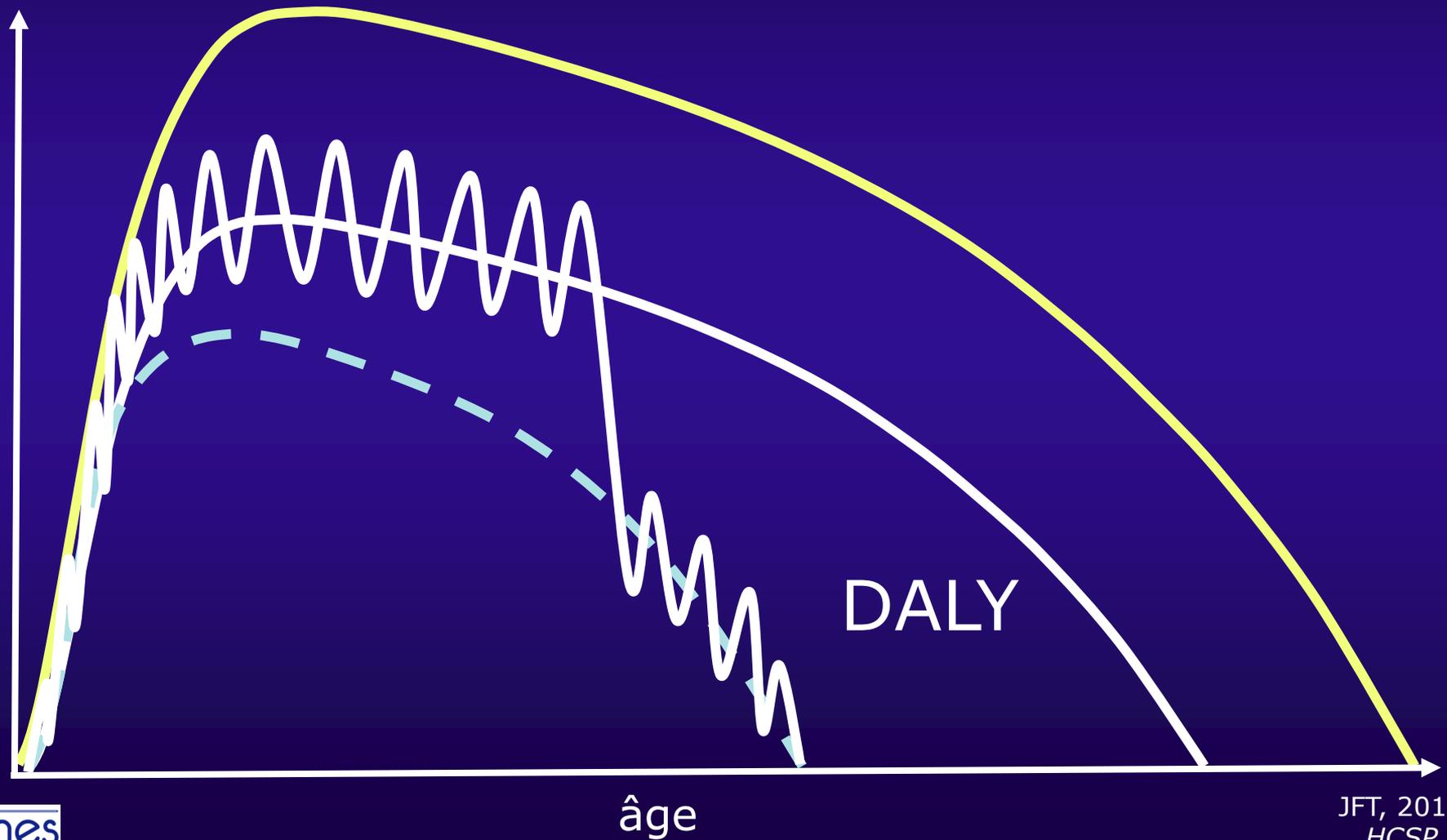


# facteur de risque accélération du vieillissement par le tabagisme



# séquelle

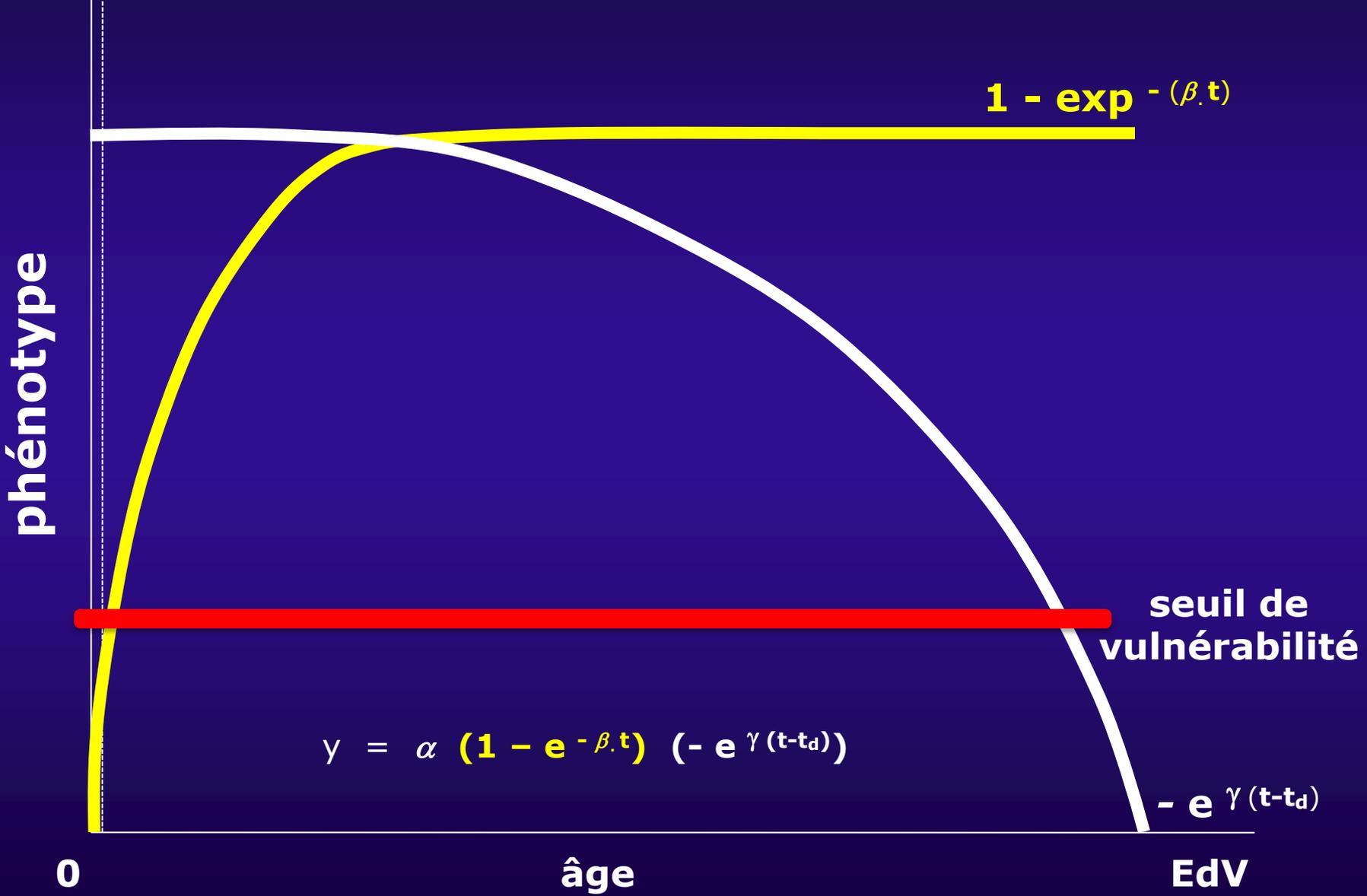
phénotype



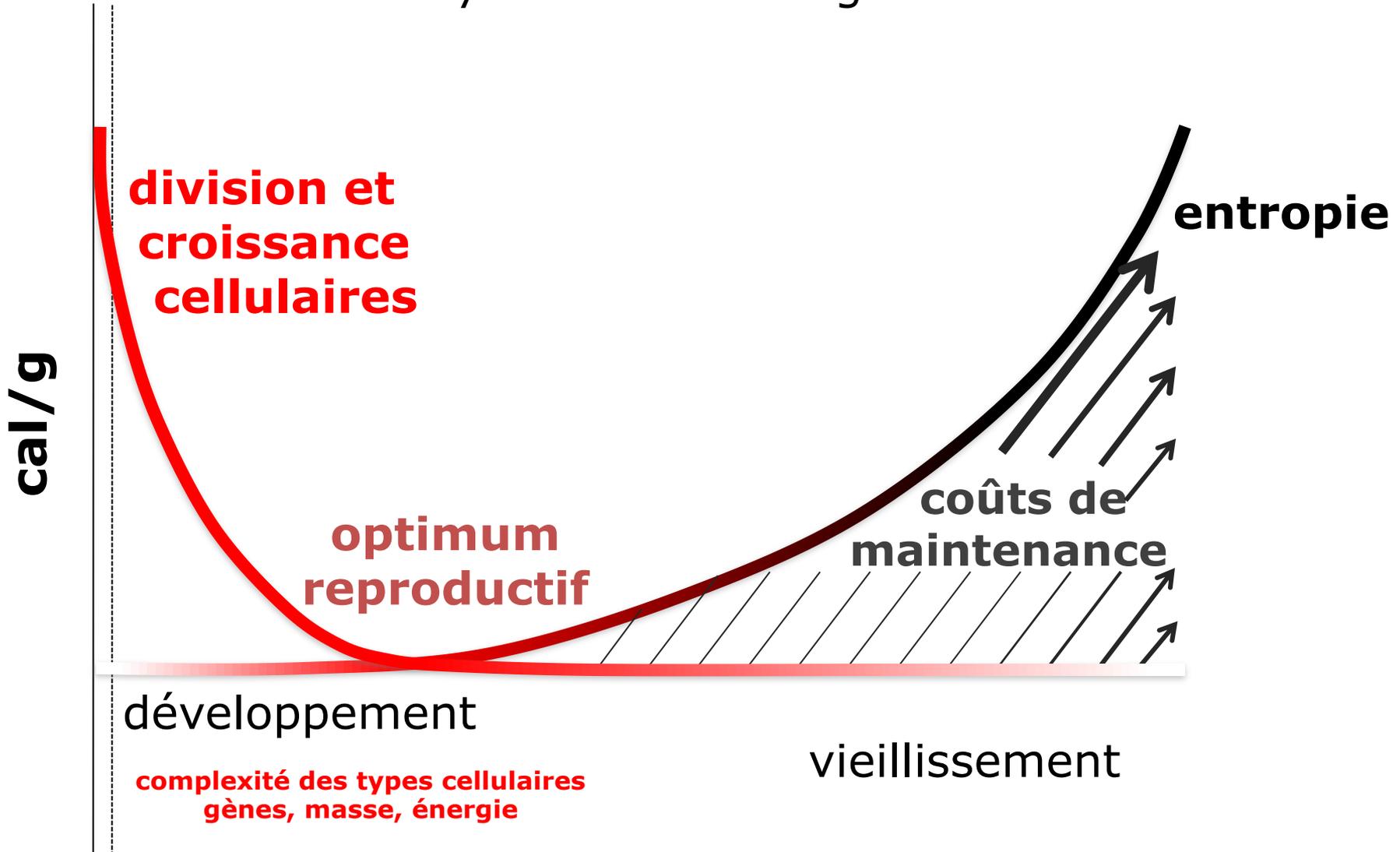


Gag Schmöringer  
Public Aviation U

# physiologie

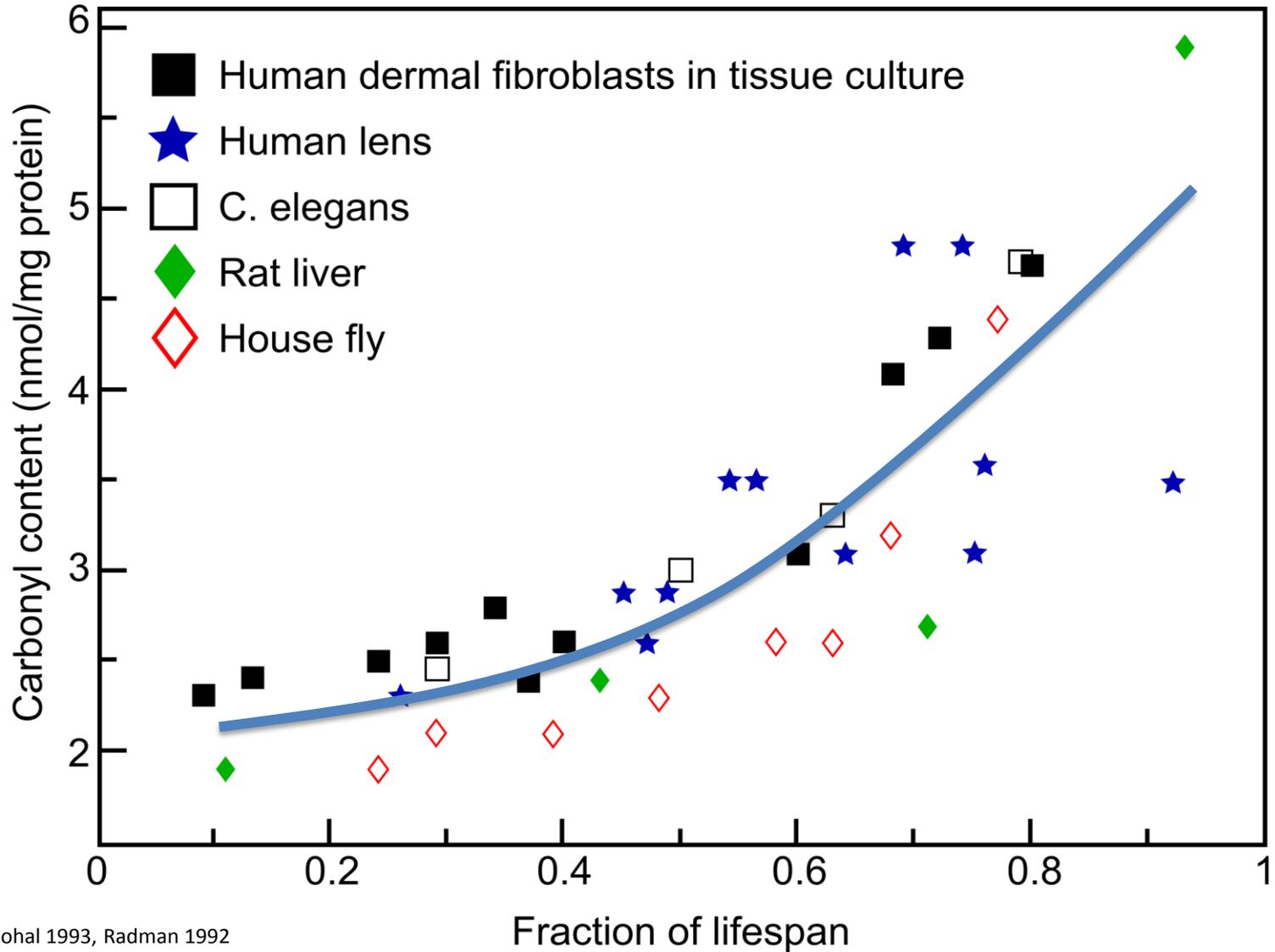


# thermodynamique des systèmes auto-organisés

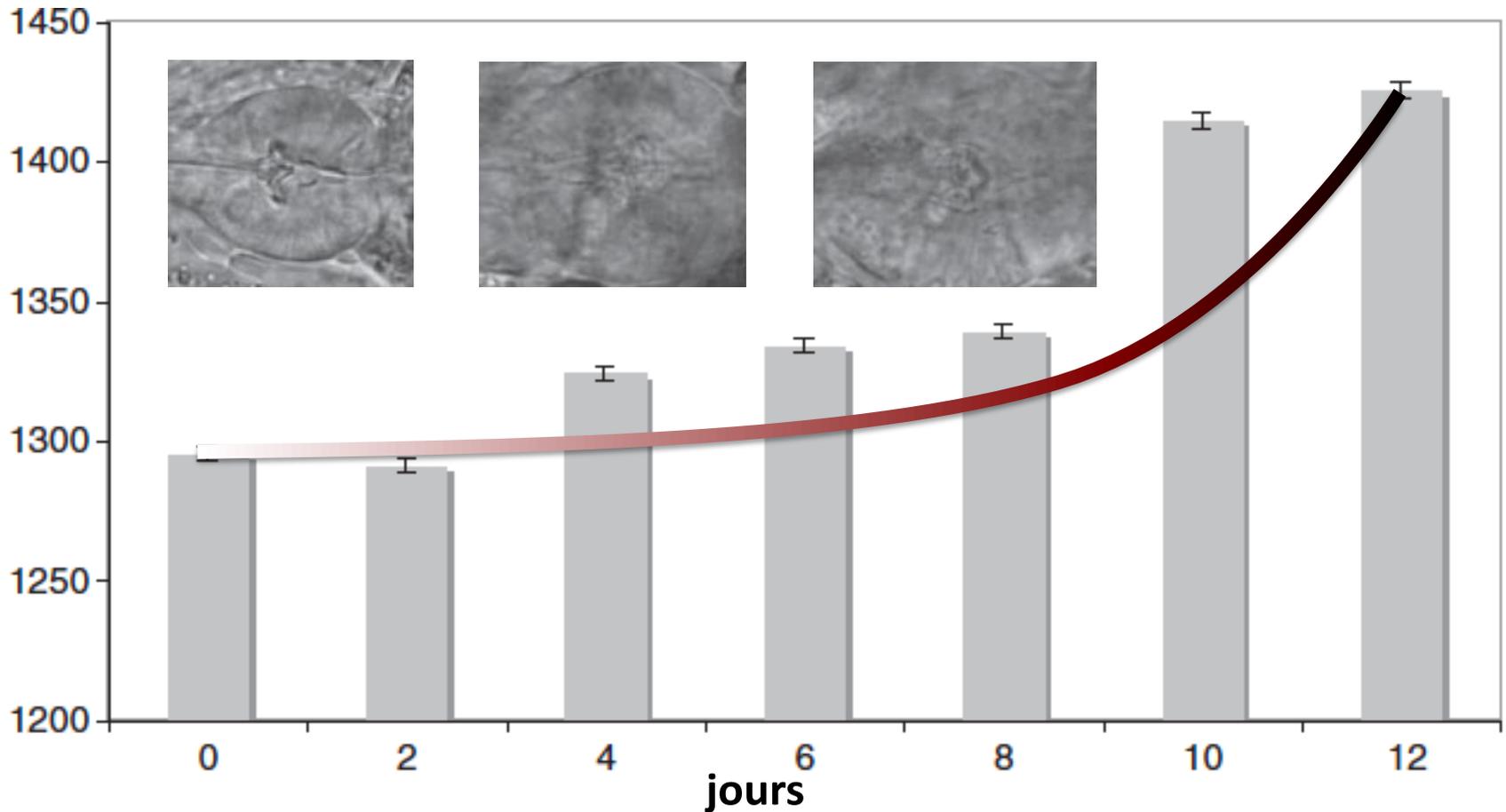


# progression entropique

carbonylation intracellulaire des protéines

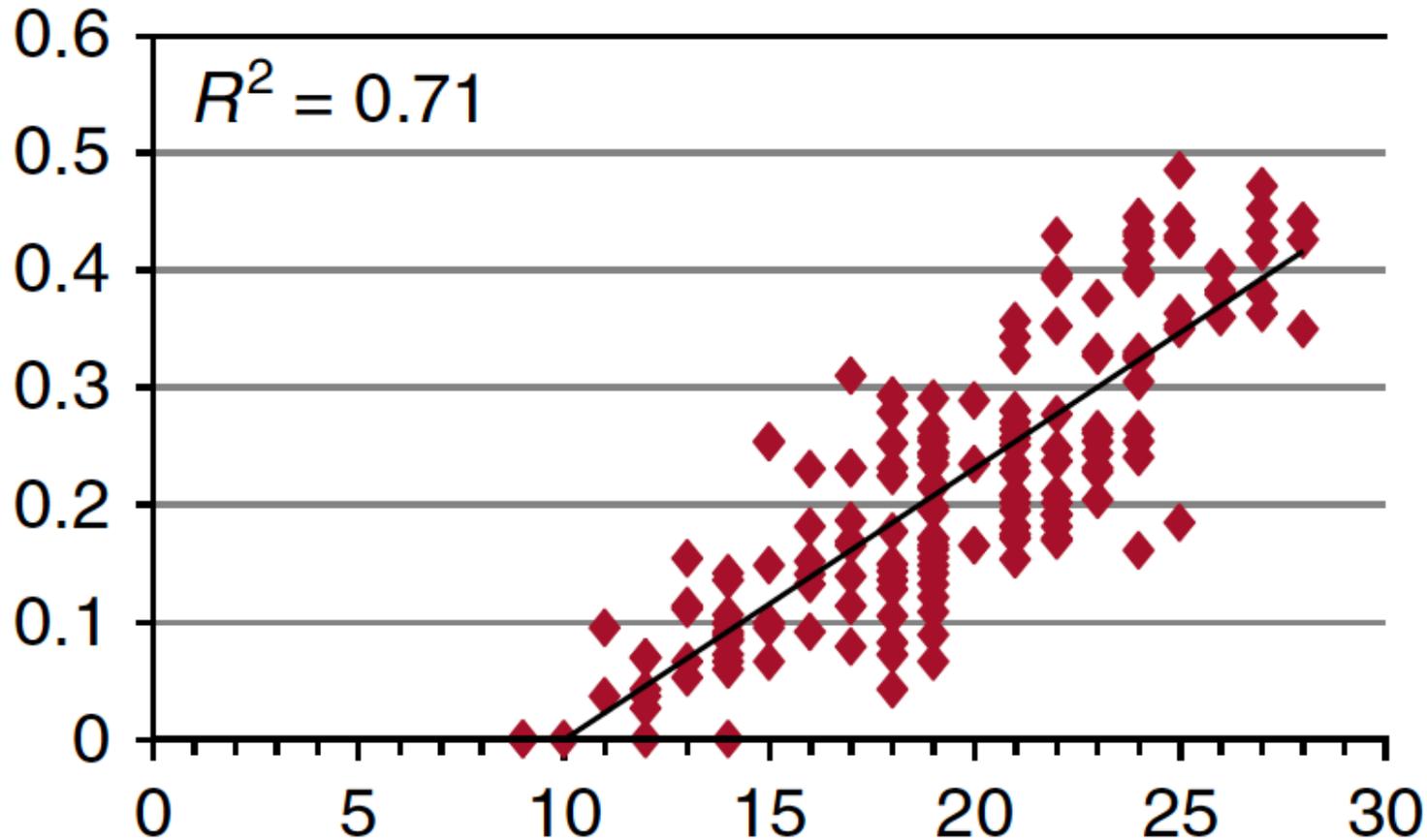


# croissance entropique



Entropie des structures pharyngées  
(*C. elegans*, n = 50, Haralick texture)

# vitesse maximale corrélée à la durée de vie



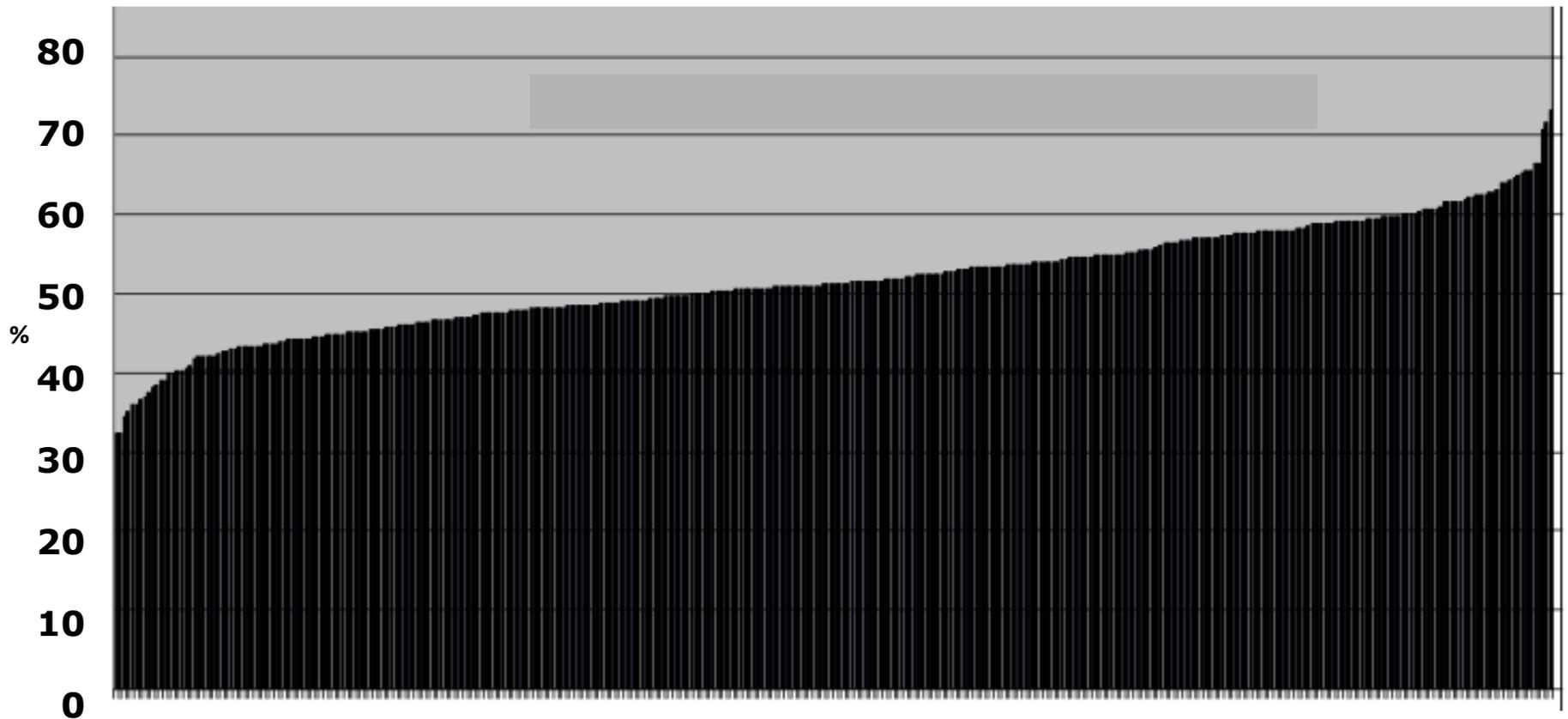
Vmax mesurée à J9 et durée de vie  
chez 173 nématodes, *C. elegans*

**DISTRI  
CONTIN  
URISQ**

**quantifier les  
gradients de risque**

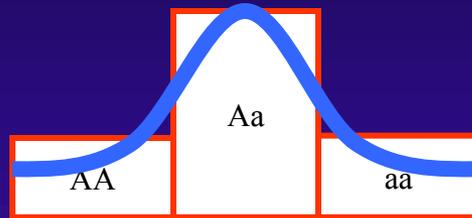
# distribution des indicateurs

## résultat de l'ECN



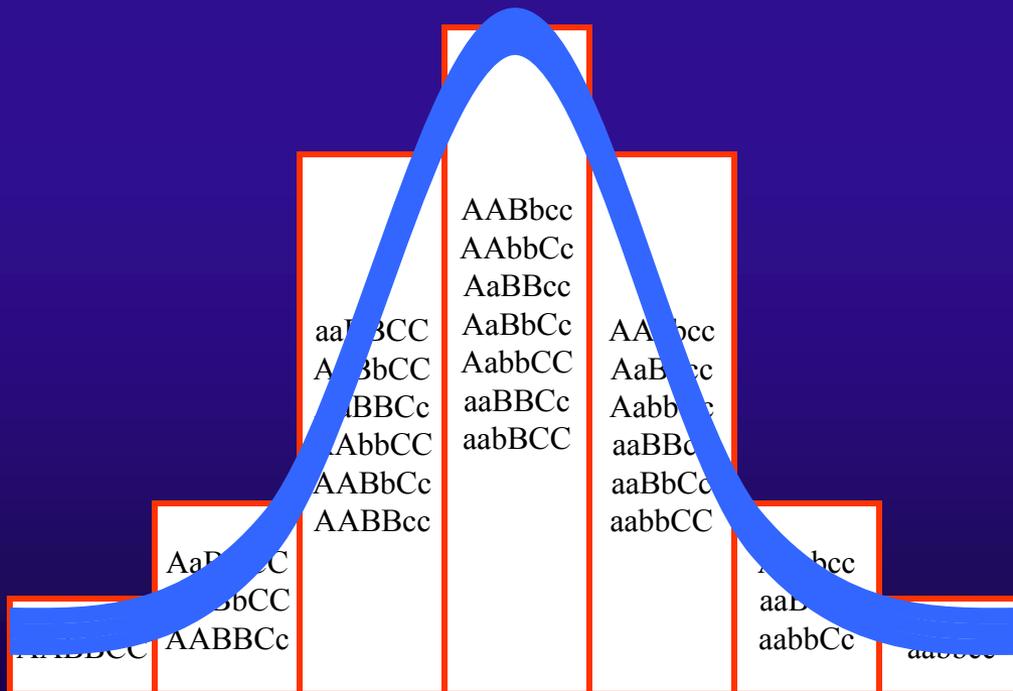
# séquençage du génome entier (GWAS)

maladies communes : extrêmes d'une **distribution continue du risque**



## maladies monogéniques

2 allèles (A,a) hors dominance  
3 génotypes, 3 phénotypes



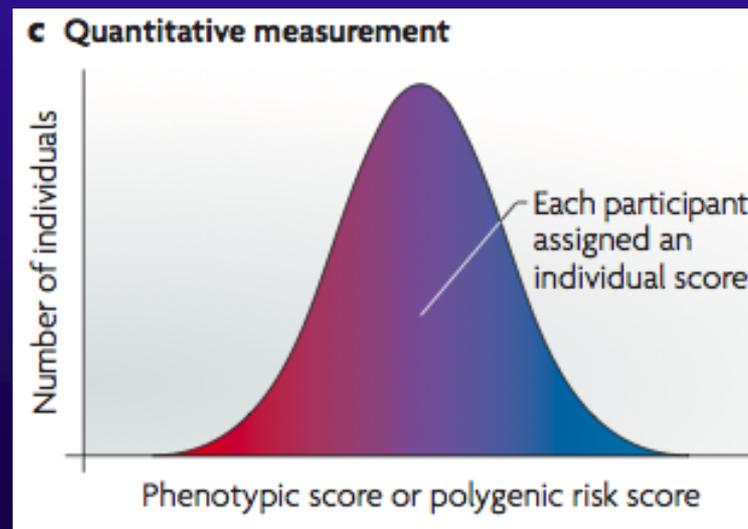
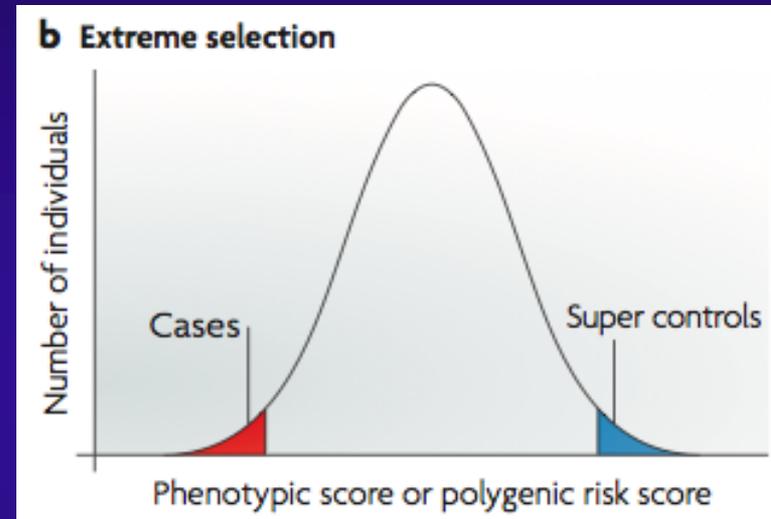
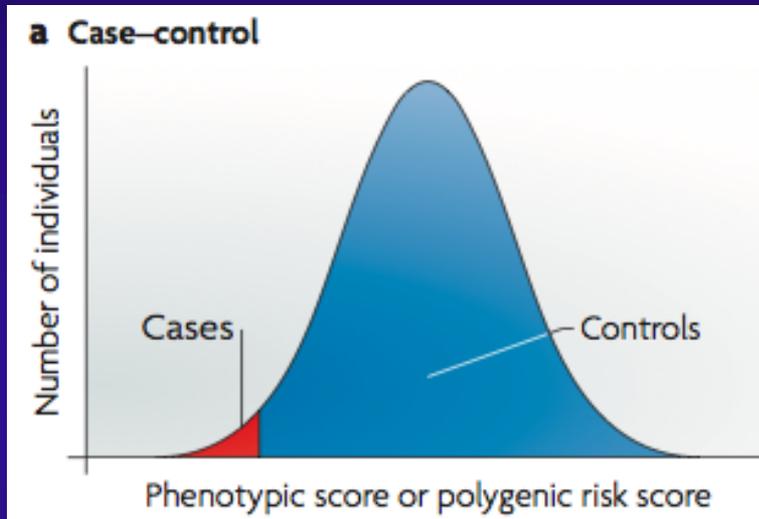
## maladie polygénique biométrie (taille..)

performance  
indicateur

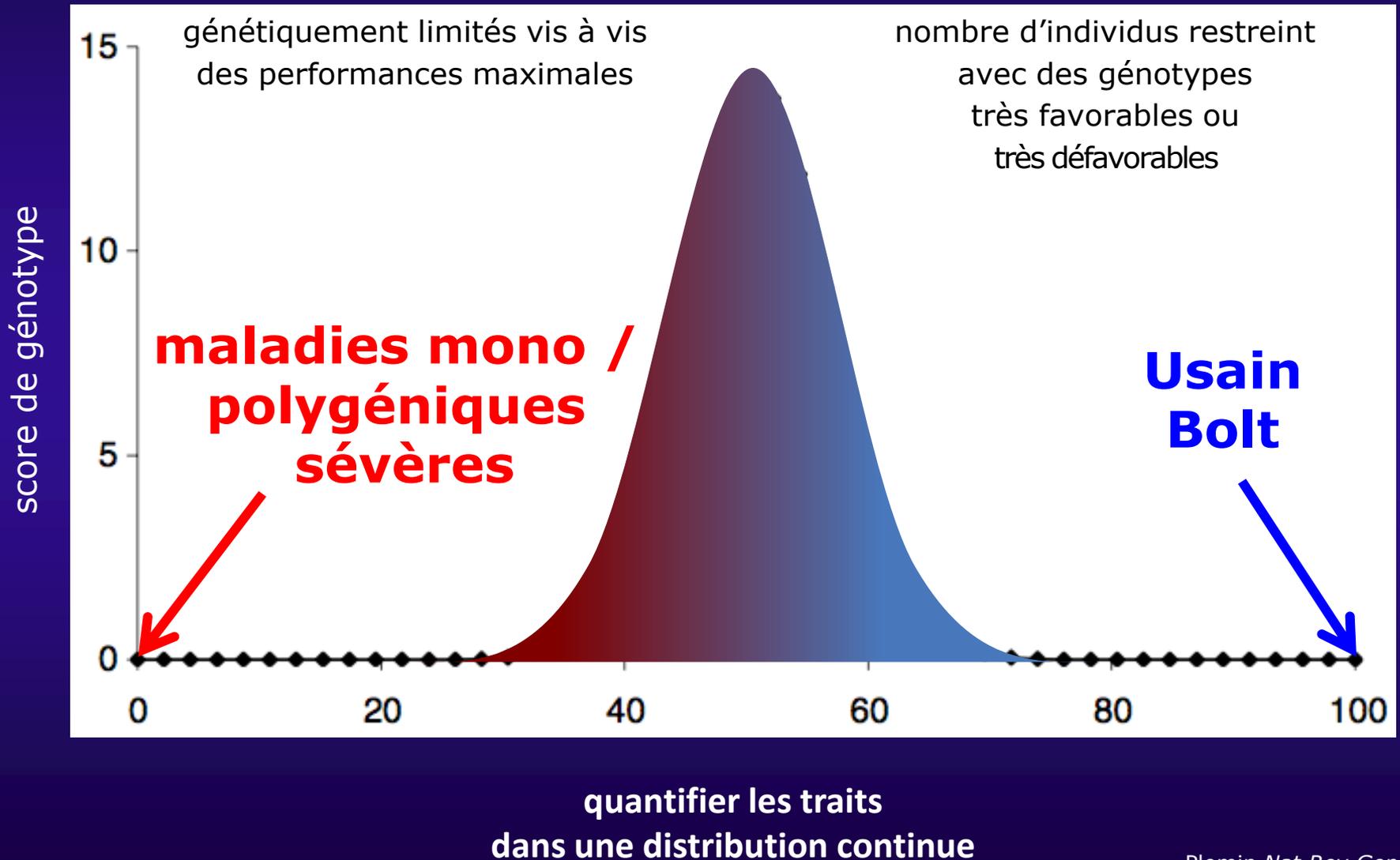
3x2 allèles (AaBbCc)  
27 génot, 7 phénot

**la distribution  
des phénotypes  
se normalise**

# penser le génotype et le phénotype en termes quantitatifs



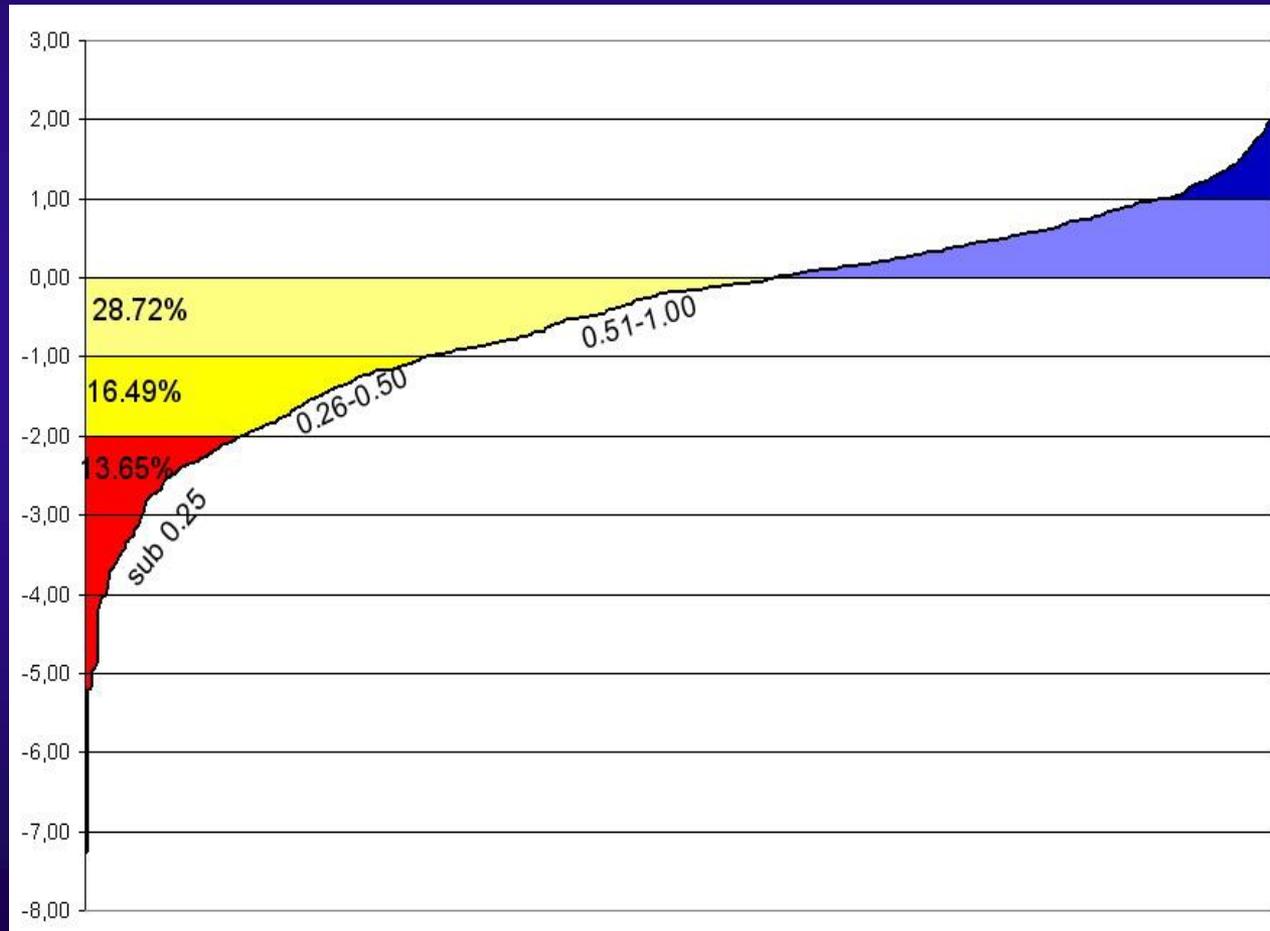
# penser le génotype et le phénotype en termes quantitatifs



# indicateurs environnementaux

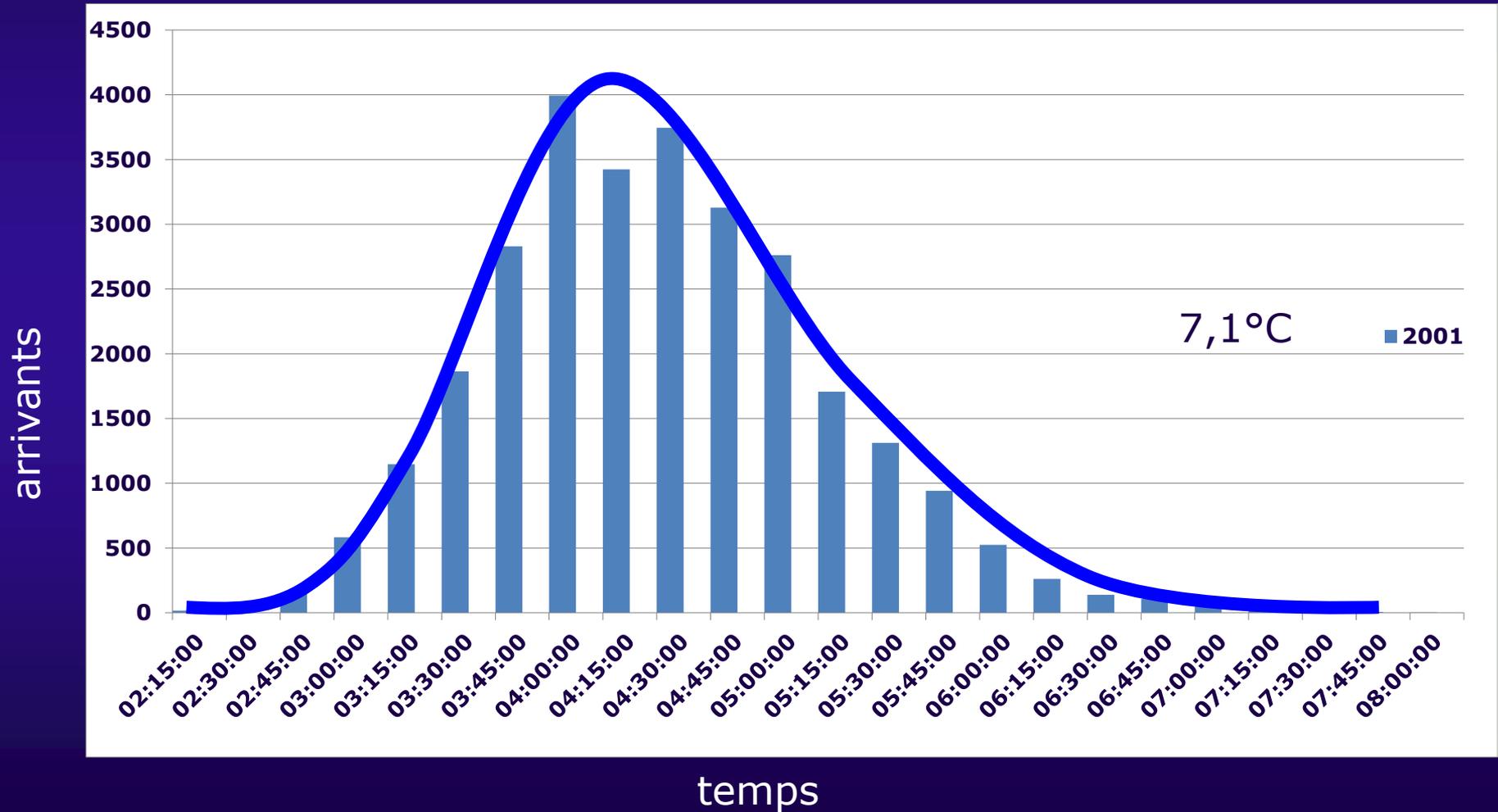
logarithme des déviations thermiques

Bârlad (1961-2007)



# distribution des performances

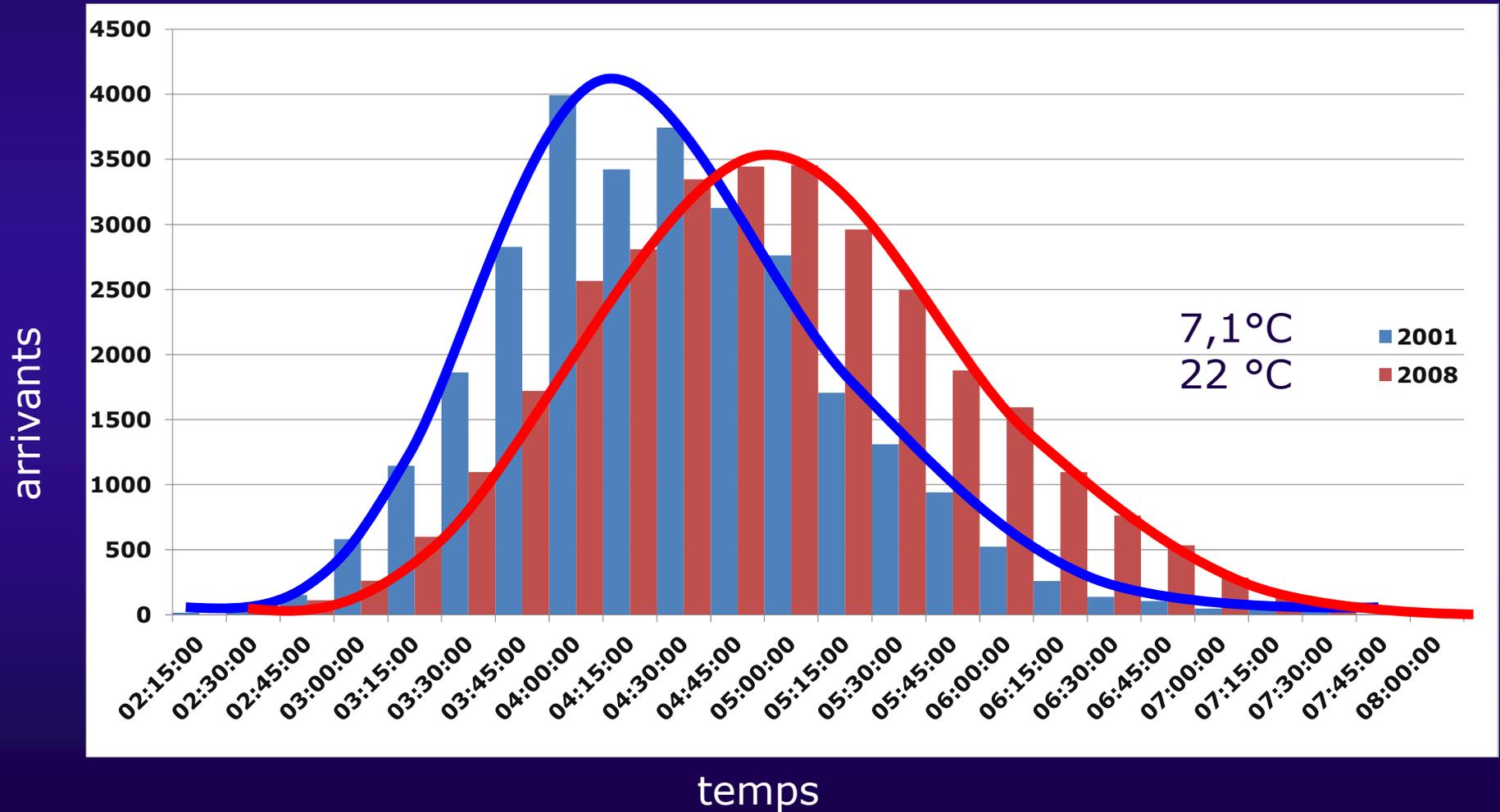
## Marathon de Chicago



N = 31120, 95% des inscrits

# température et performances

## Marathon de Chicago



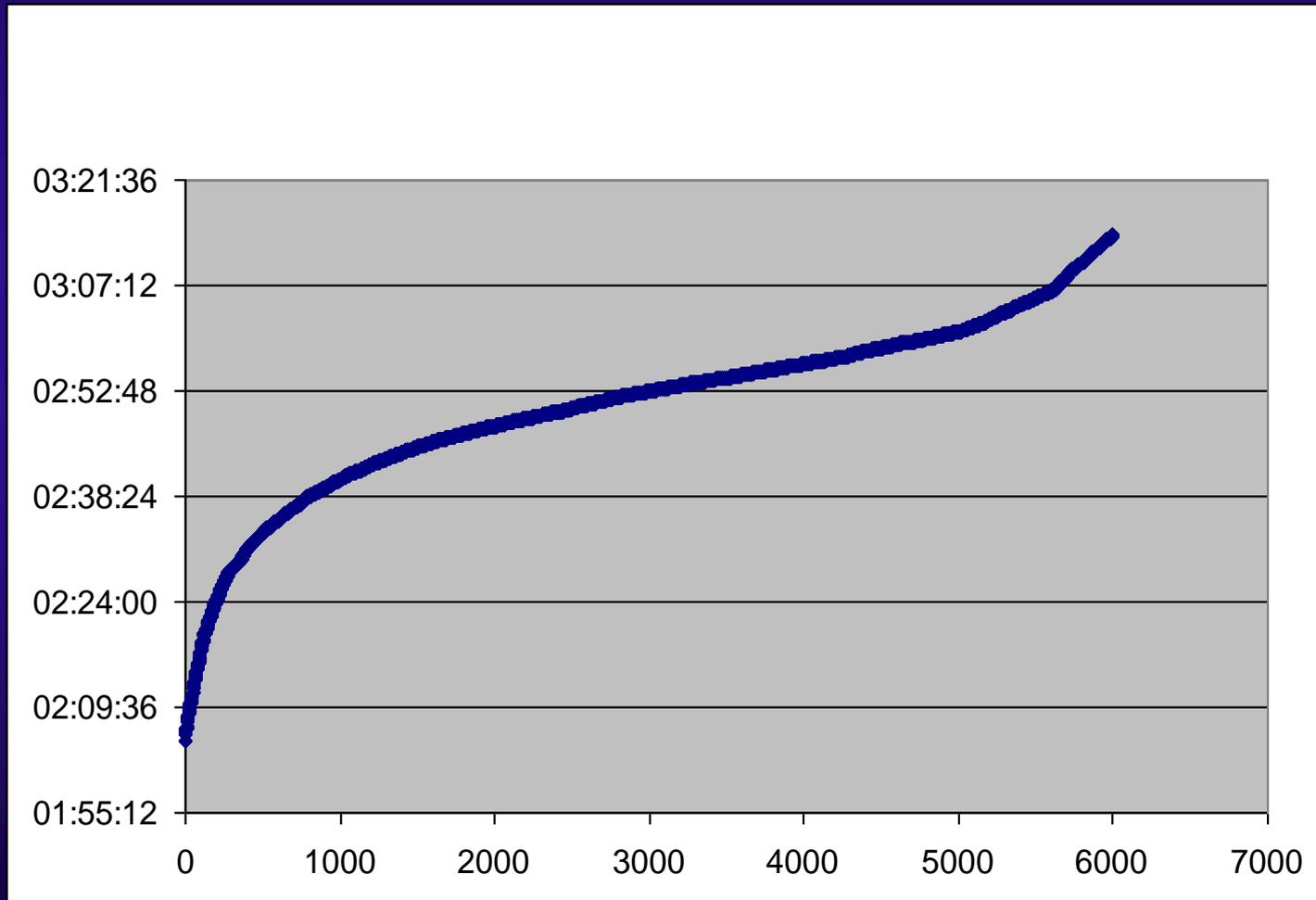
7,1°C  
22 °C

■ 2001  
■ 2008

N = 31120, 95% des inscrits

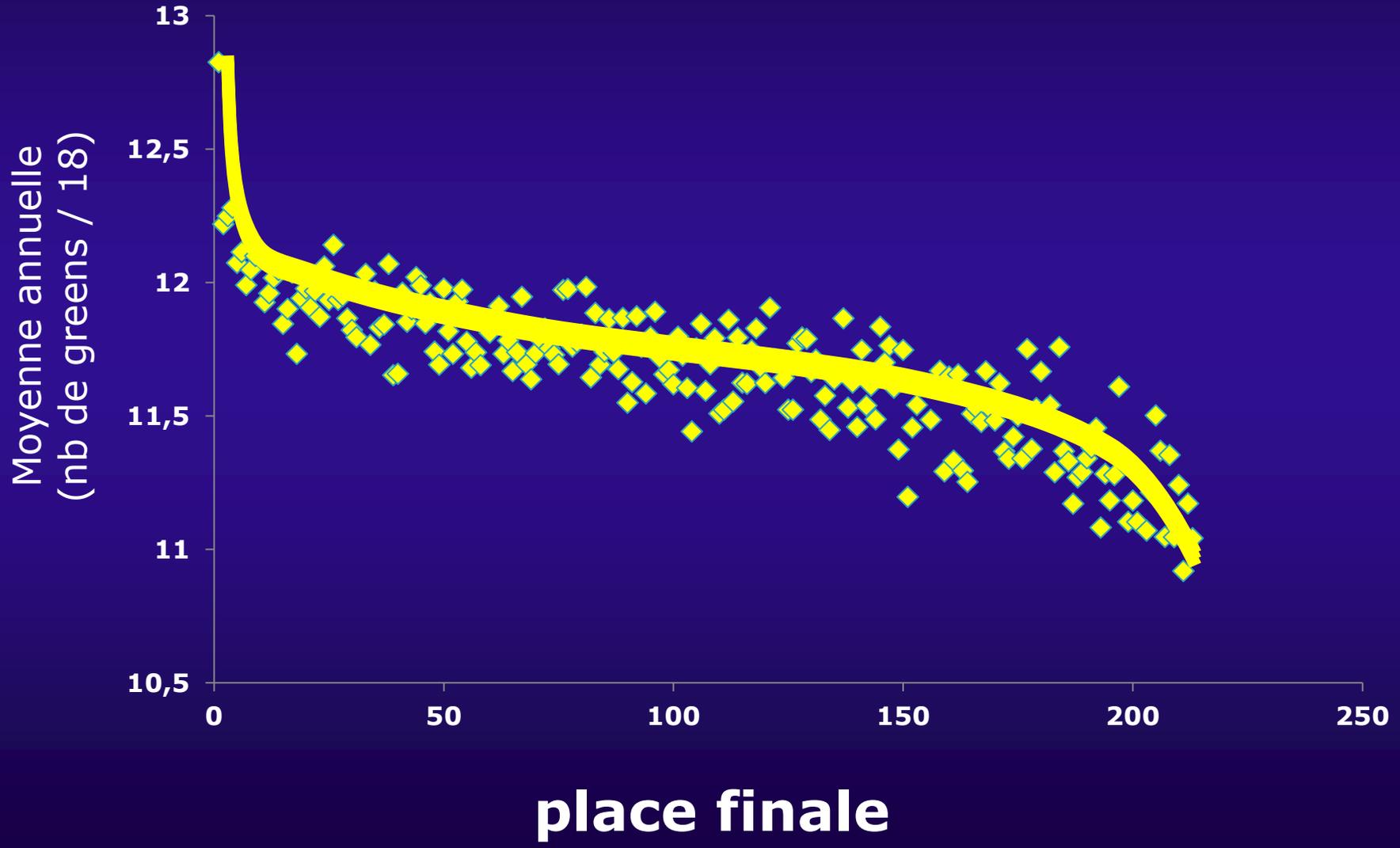
# distribution des temps aux marathons

Paris – Berlin – Londres – Boston – Chicago – New York  
 10 ans – 2 000 000 données



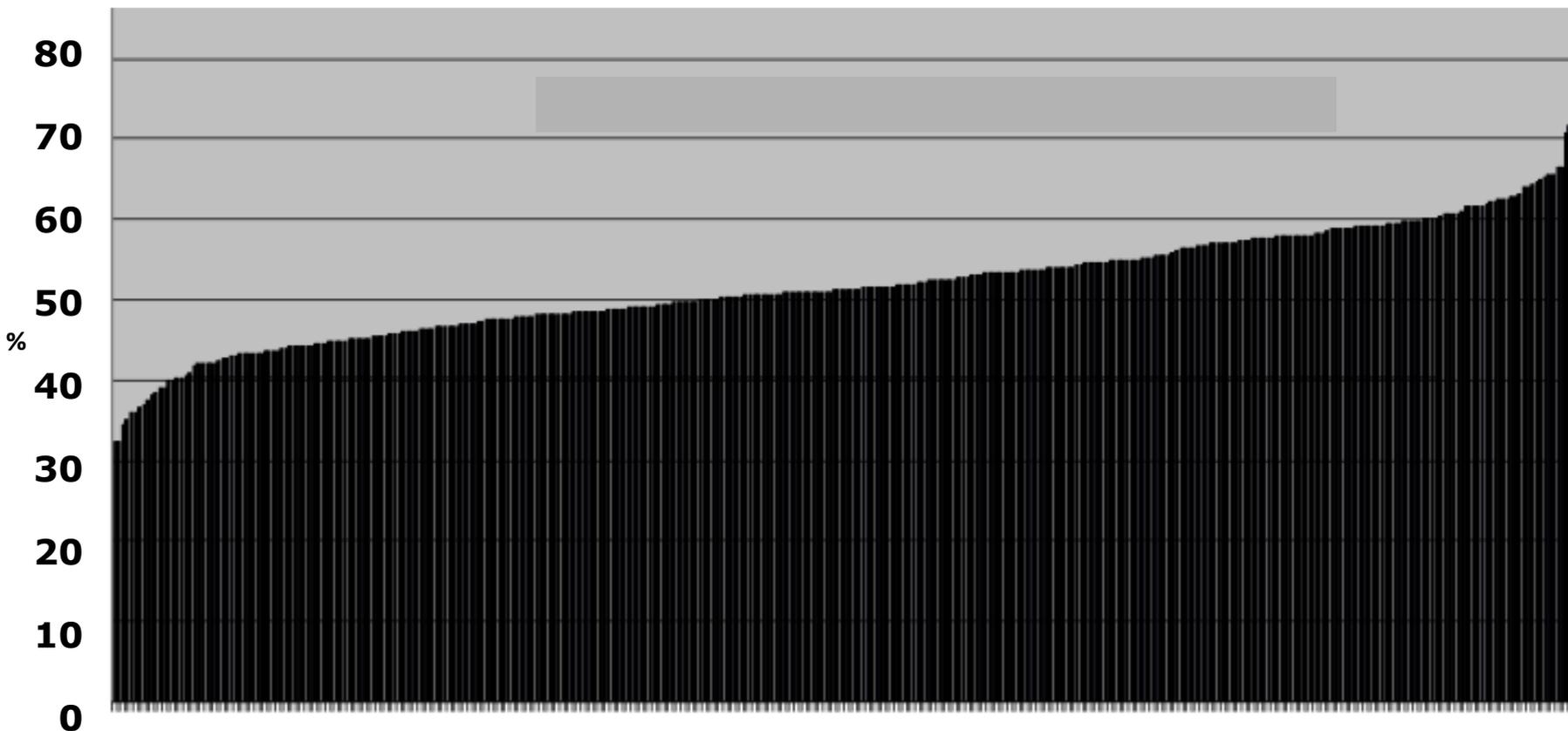
# performance Golf

green, 213 meilleurs PGA



# distribution des indicateurs

## résultat de l'ECN



**HFE**

# génotype *HFE* fréquence de mutation



N=77

ski de fond : 42%

judo : 52%



N=34

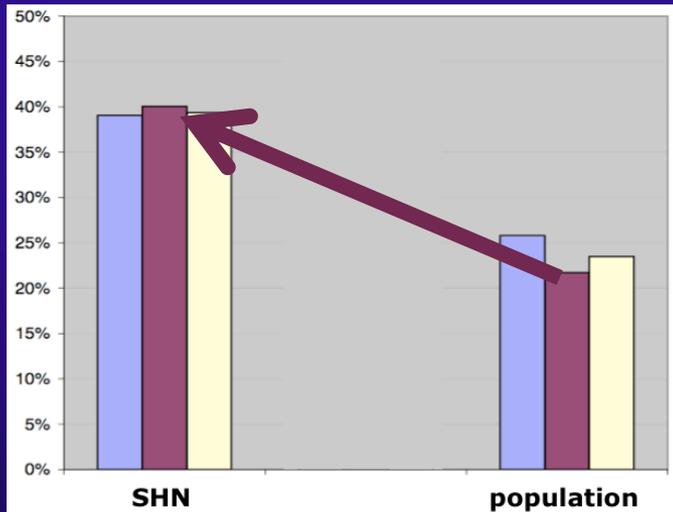


N=18

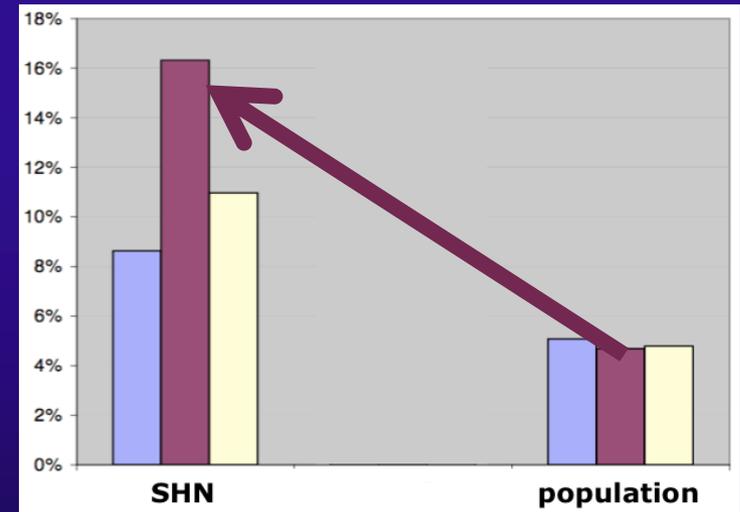
aviron : 44%

# génotype *HFE*

population générale  
métropole  
28%

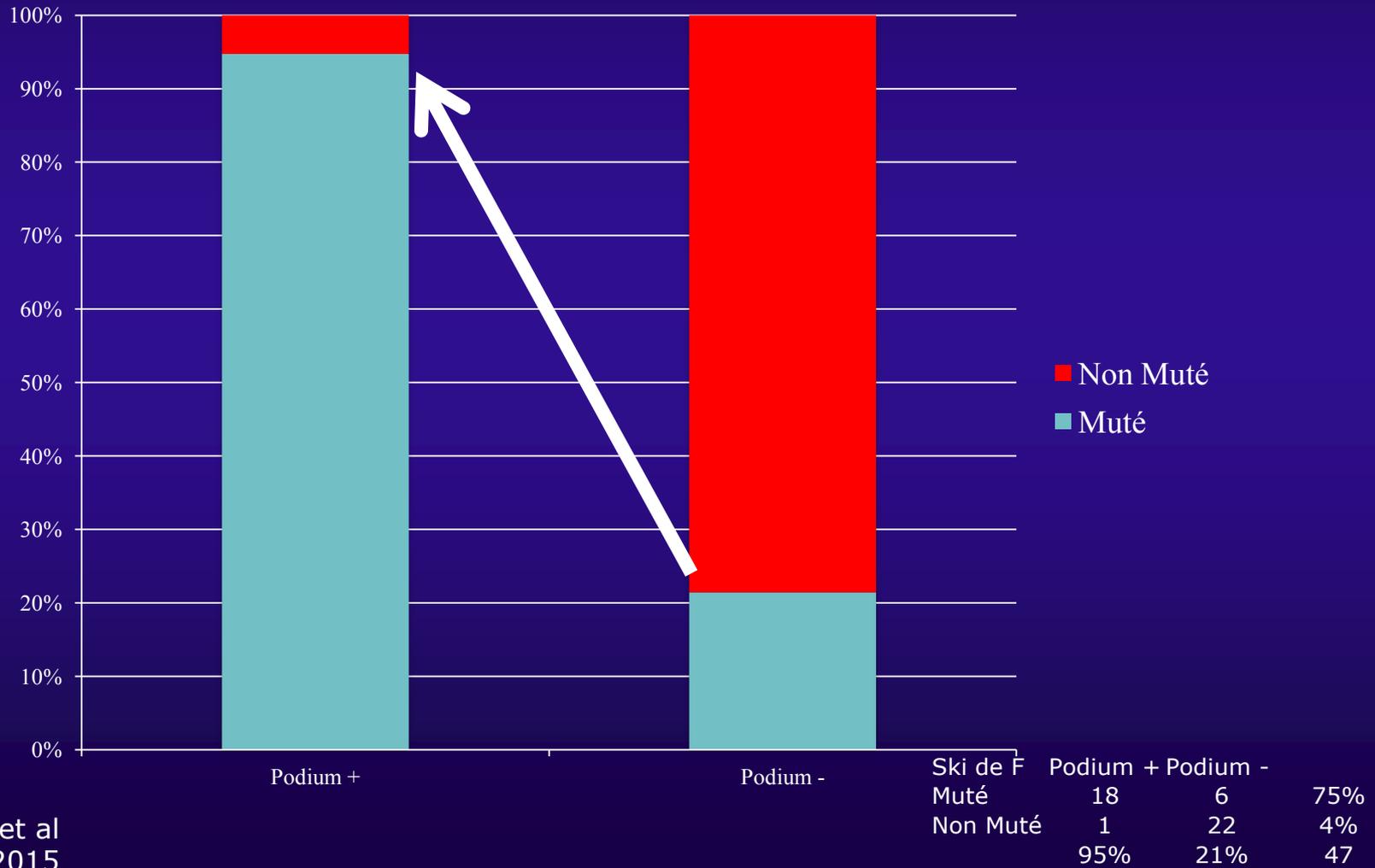


**H63D**

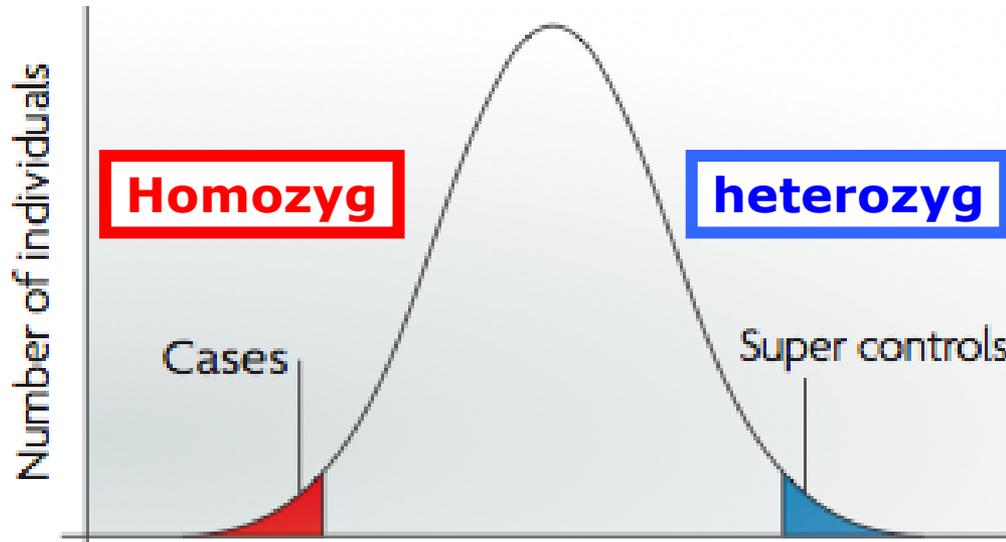


**C282Y**

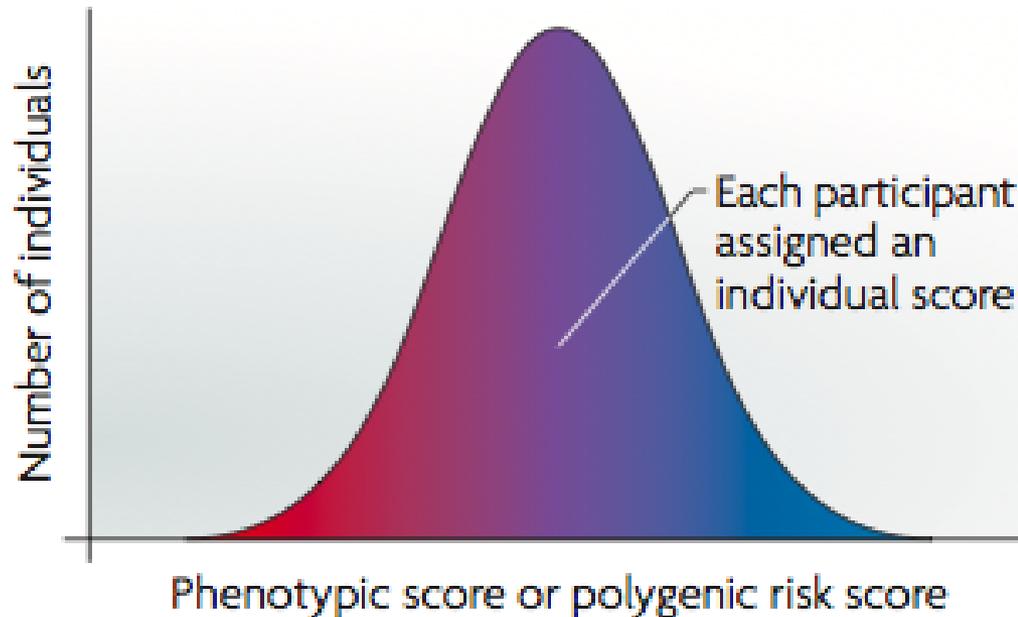
# niveau international ski de fond



**b Extreme selection**



**c Quantitative measurement**



penser le  
génotype  
et le  
phénotype  
en termes  
quantitatifs

mutations *HFE*  
sélectionnées durant l'évolution  
en contraintes physiologiques fortes

le sport moderne mime ces contraintes

? rôles exacts du fer et d'*HFE* ?  
récupération, saignement,  
? survie ?

**Homozyg**

**heterozyg**

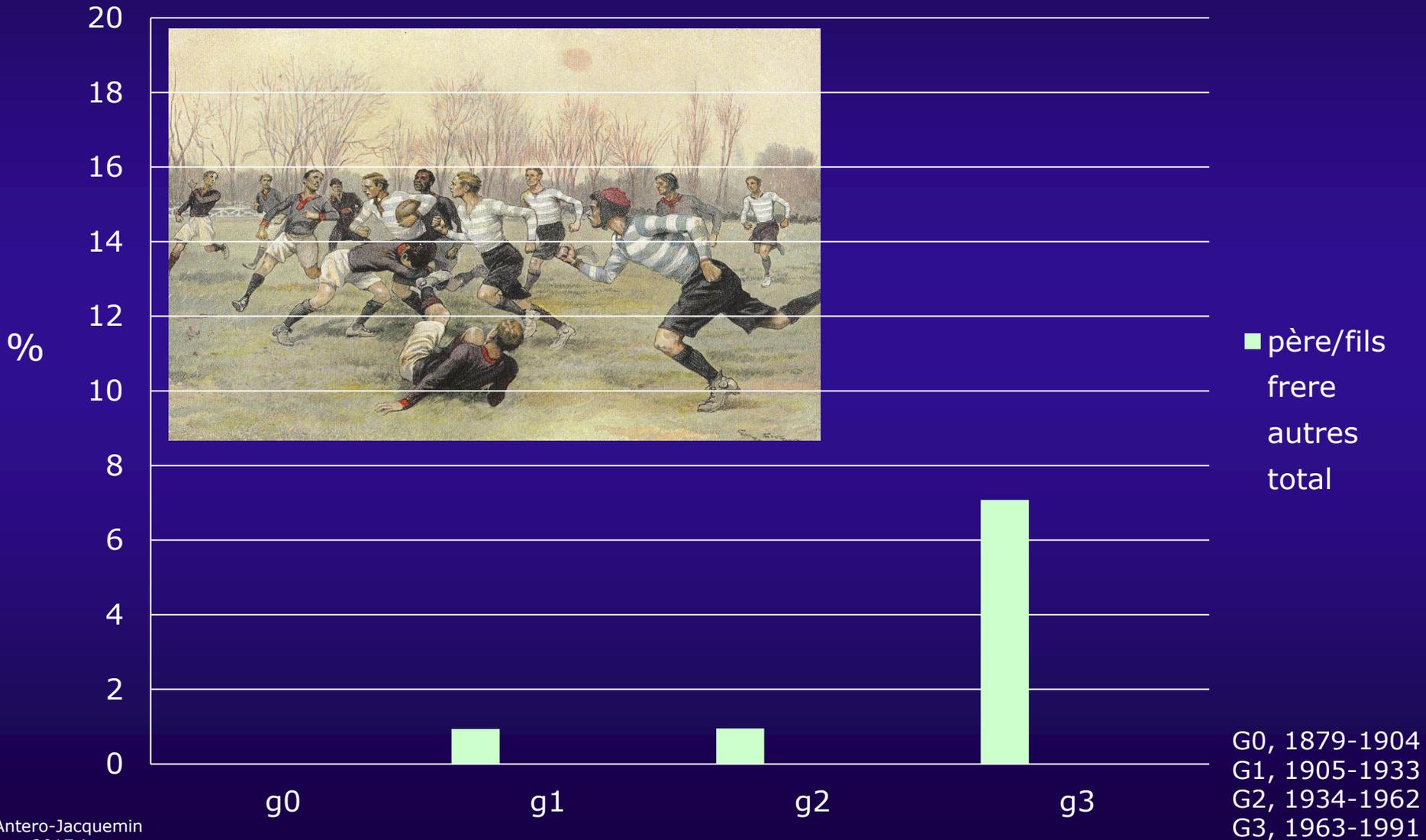
sportifs élites  
vs hémochromatose familiale  
→ "**superdominance**" ←  
quel gain, quel coût ?

**HER**

**ITA**

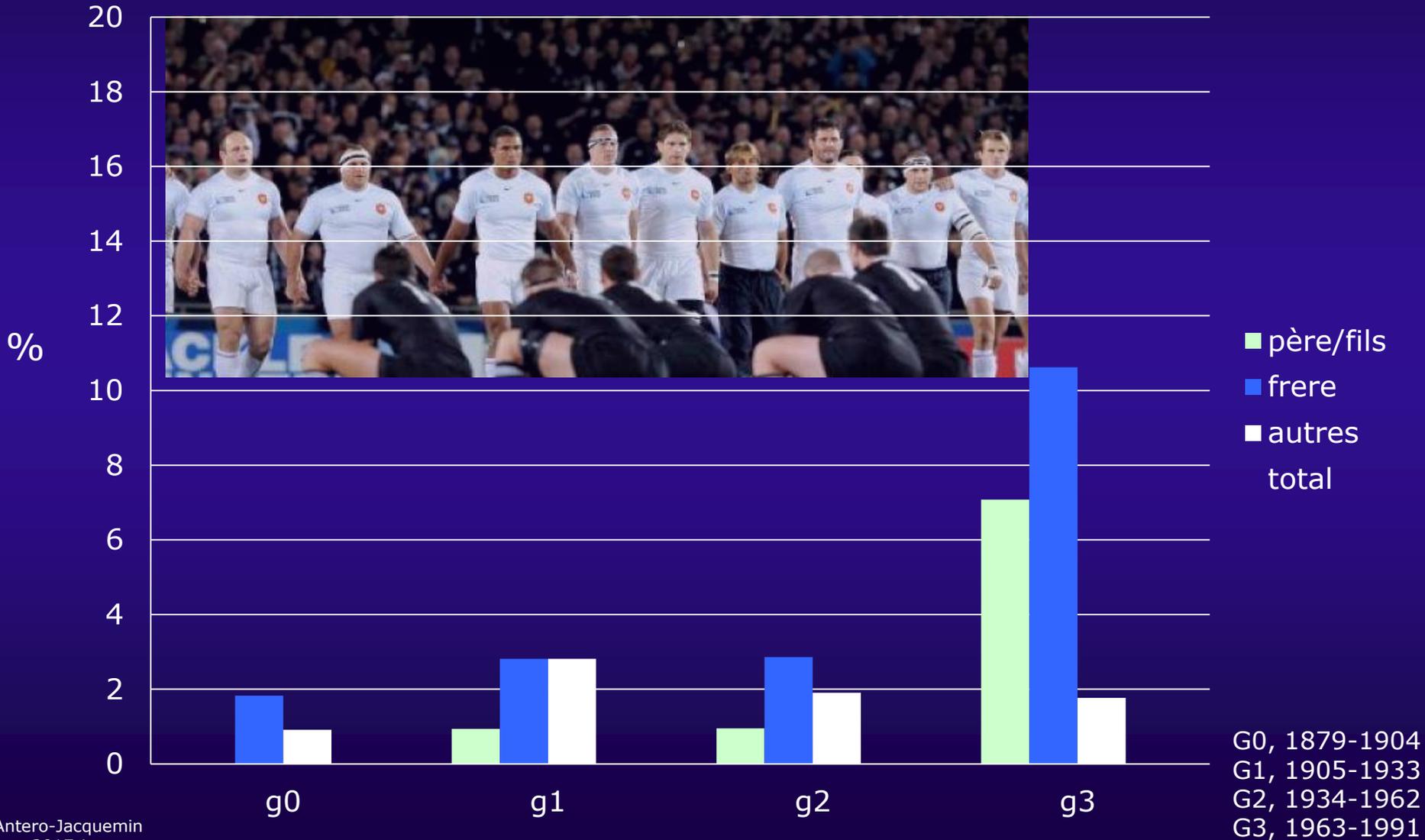
# sport & génétique

équipe de France de Rugby  
4 générations



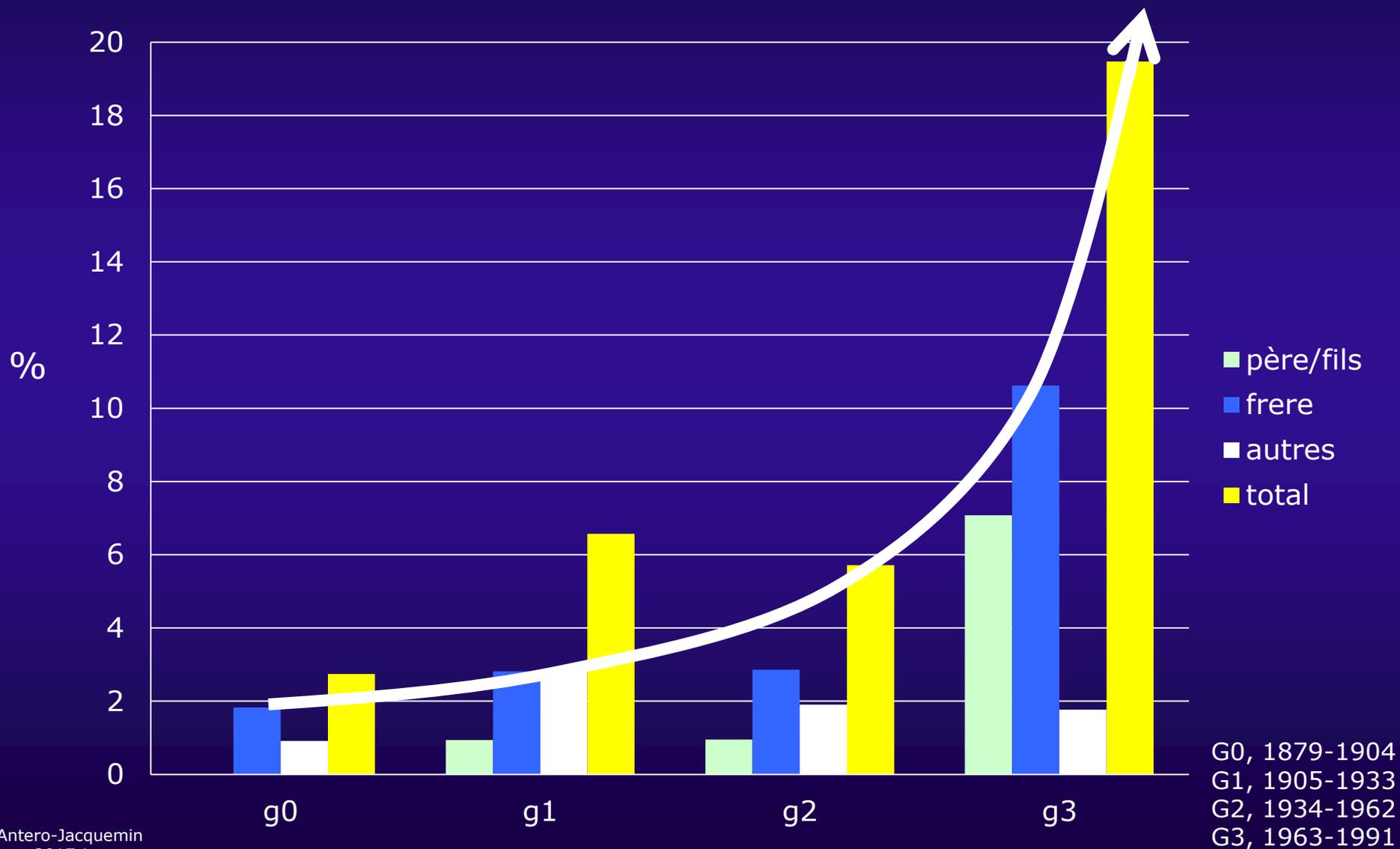
# sport & génétique

équipe de France de Rugby  
4 générations



# sport & génétique

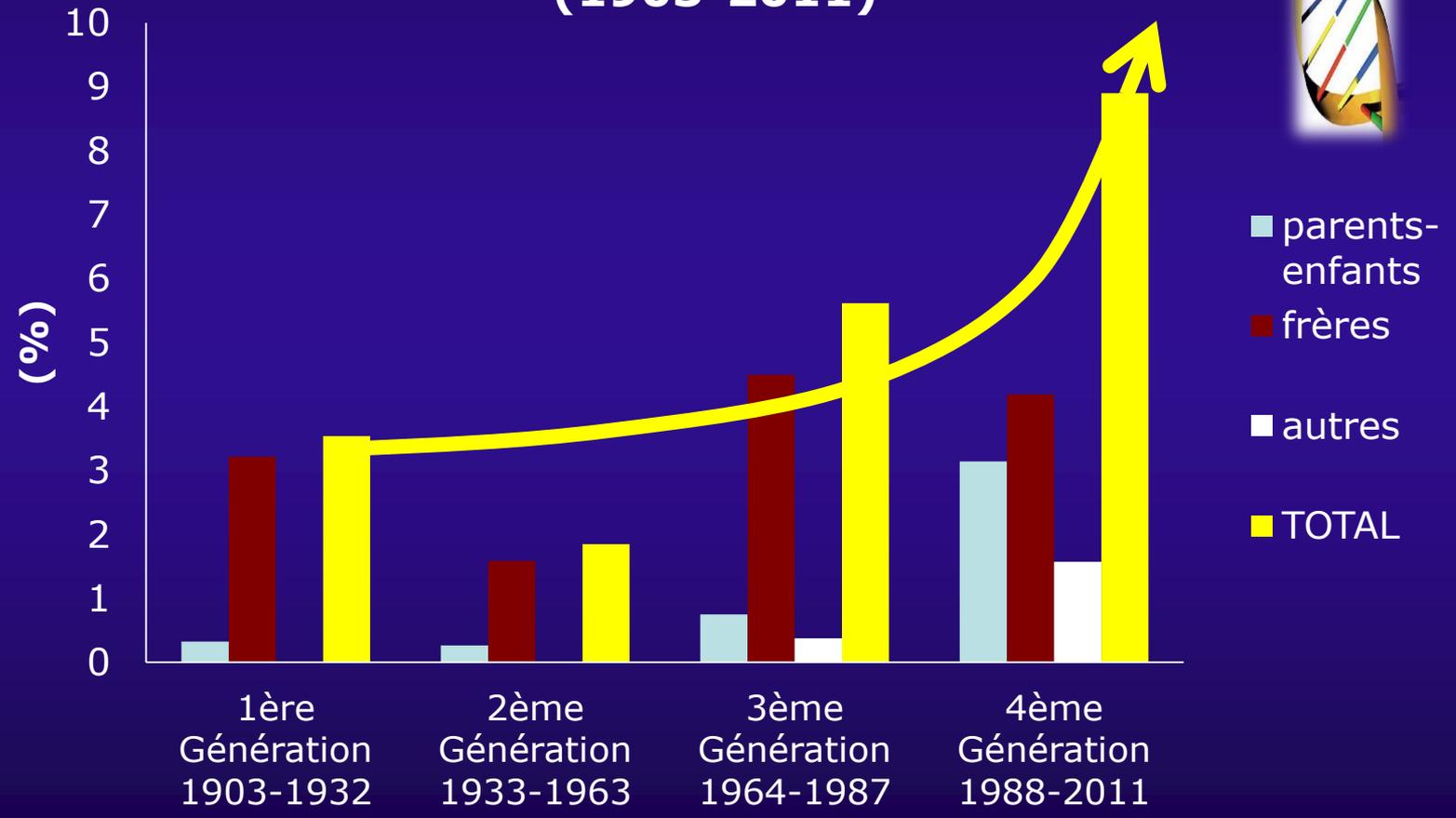
équipe de France de Rugby  
4 générations



# liens familiaux

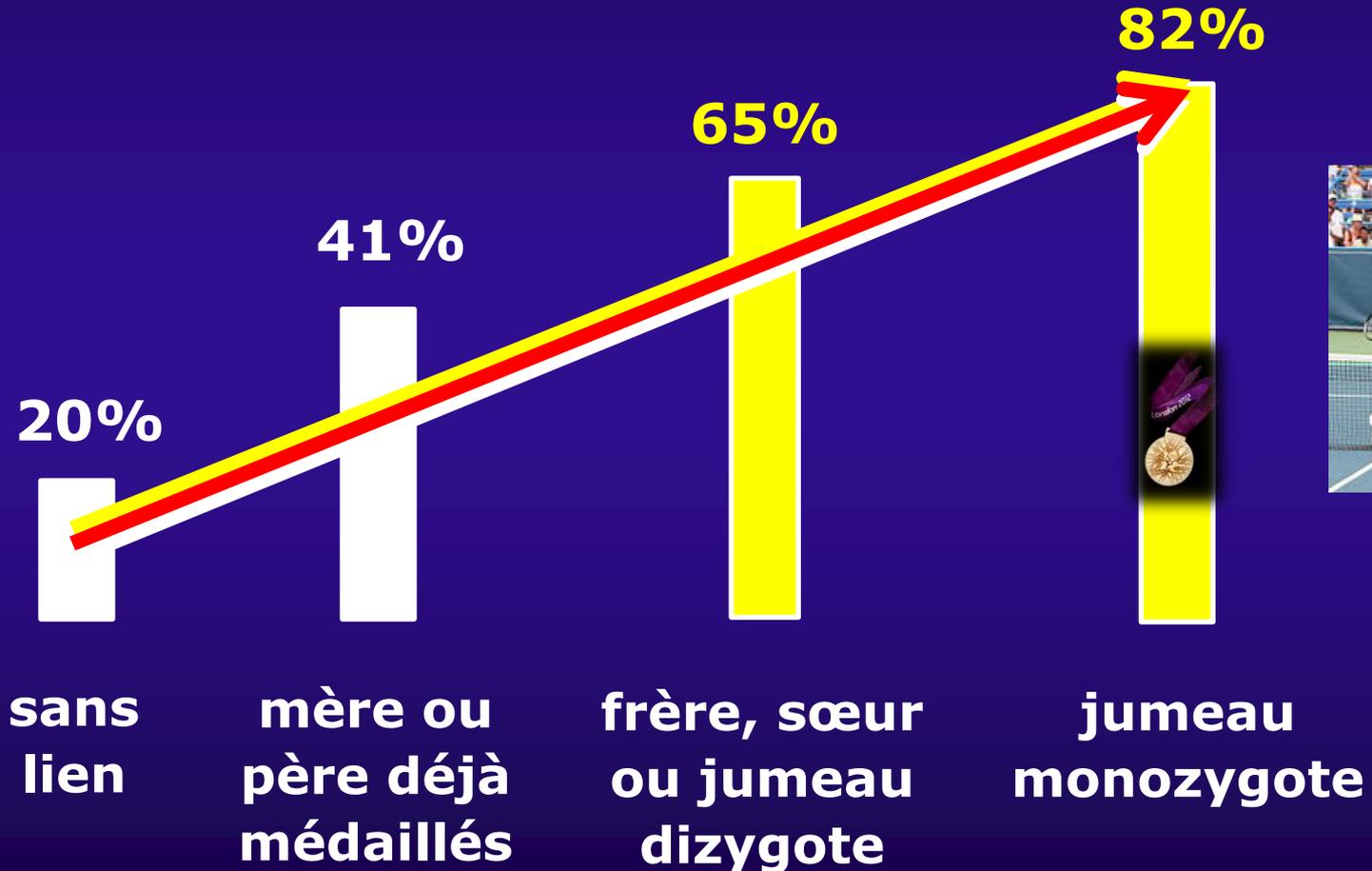


## Cyclistes, Tour de France (1903-2011)



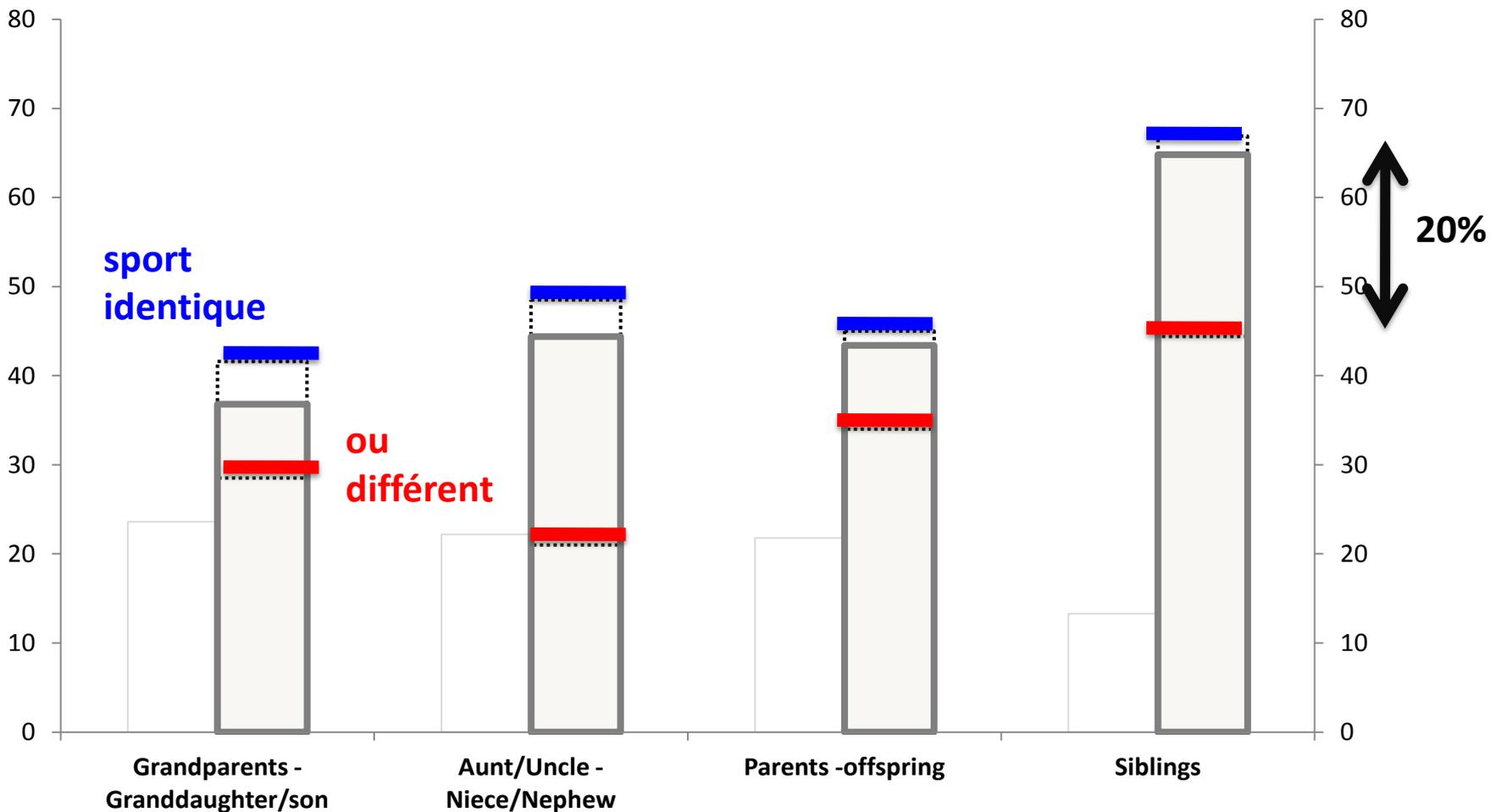
# performance & liens génétiques

probabilité historique d'obtenir une médaille pour un olympien avec ou sans médaillé dans sa famille



# génétique, expérience & culture

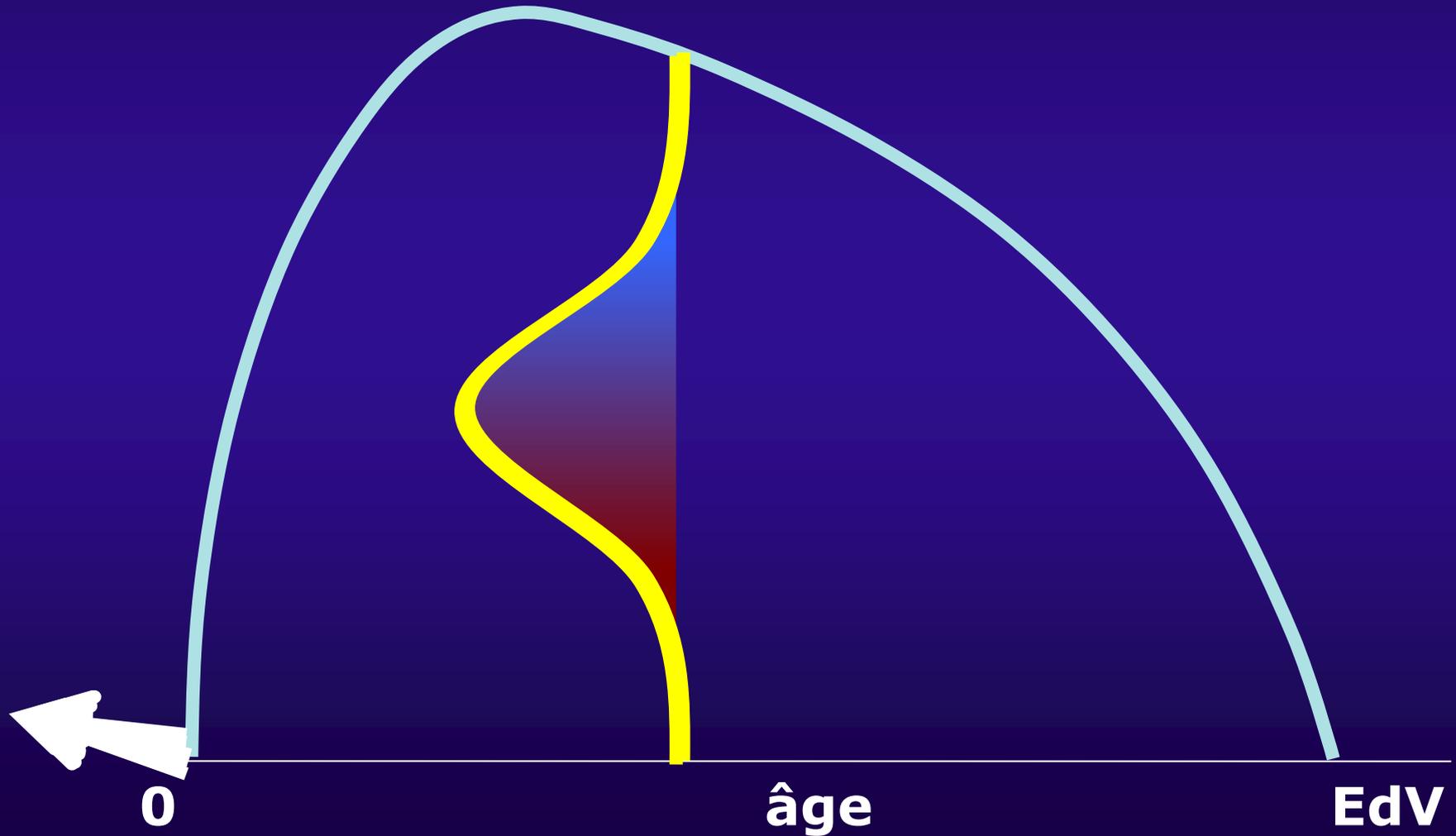
## sport identique ou non



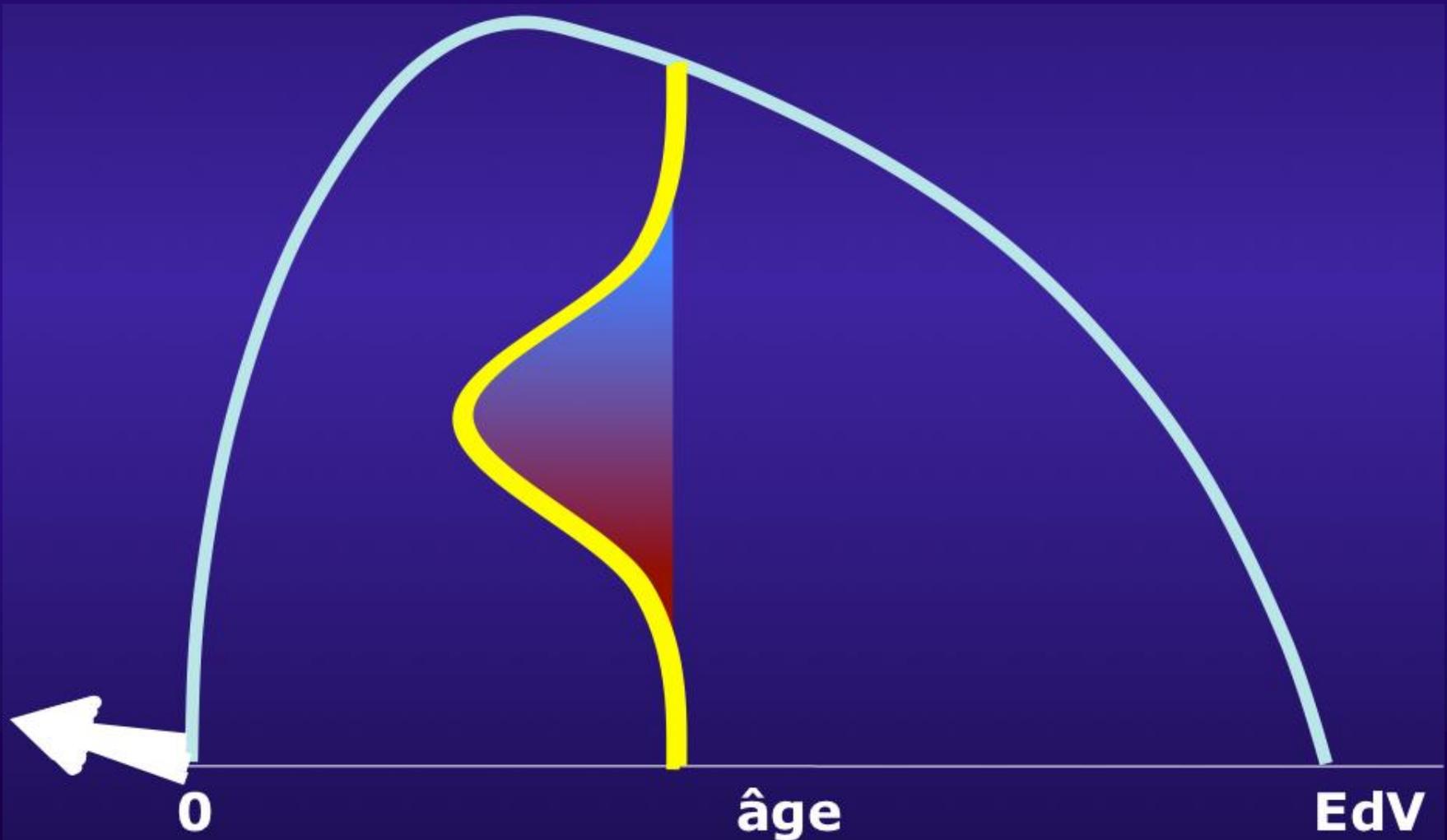
# INTER ACTIO

# **WiP interactions**

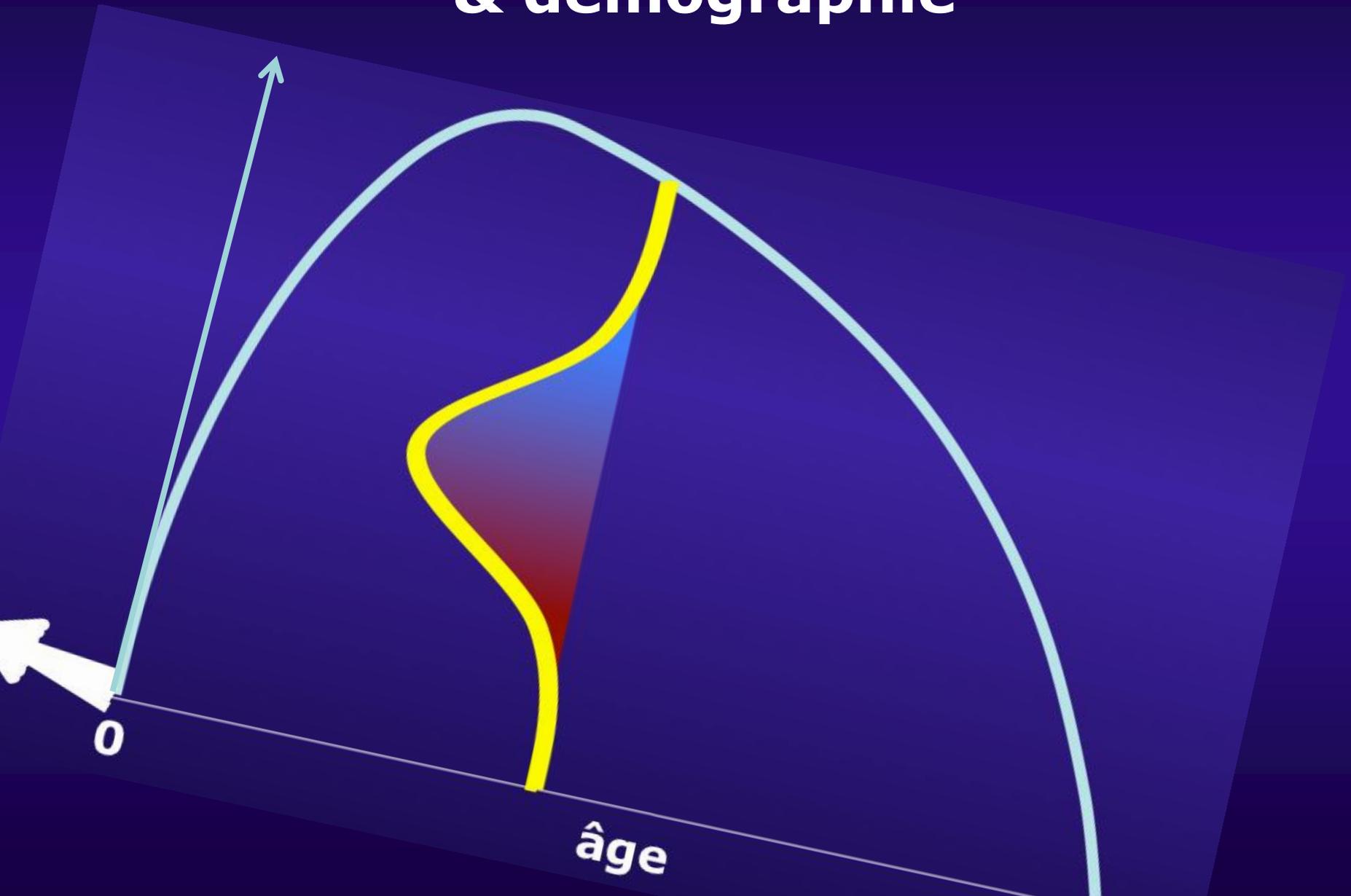
# potentiel générationnel & démographie



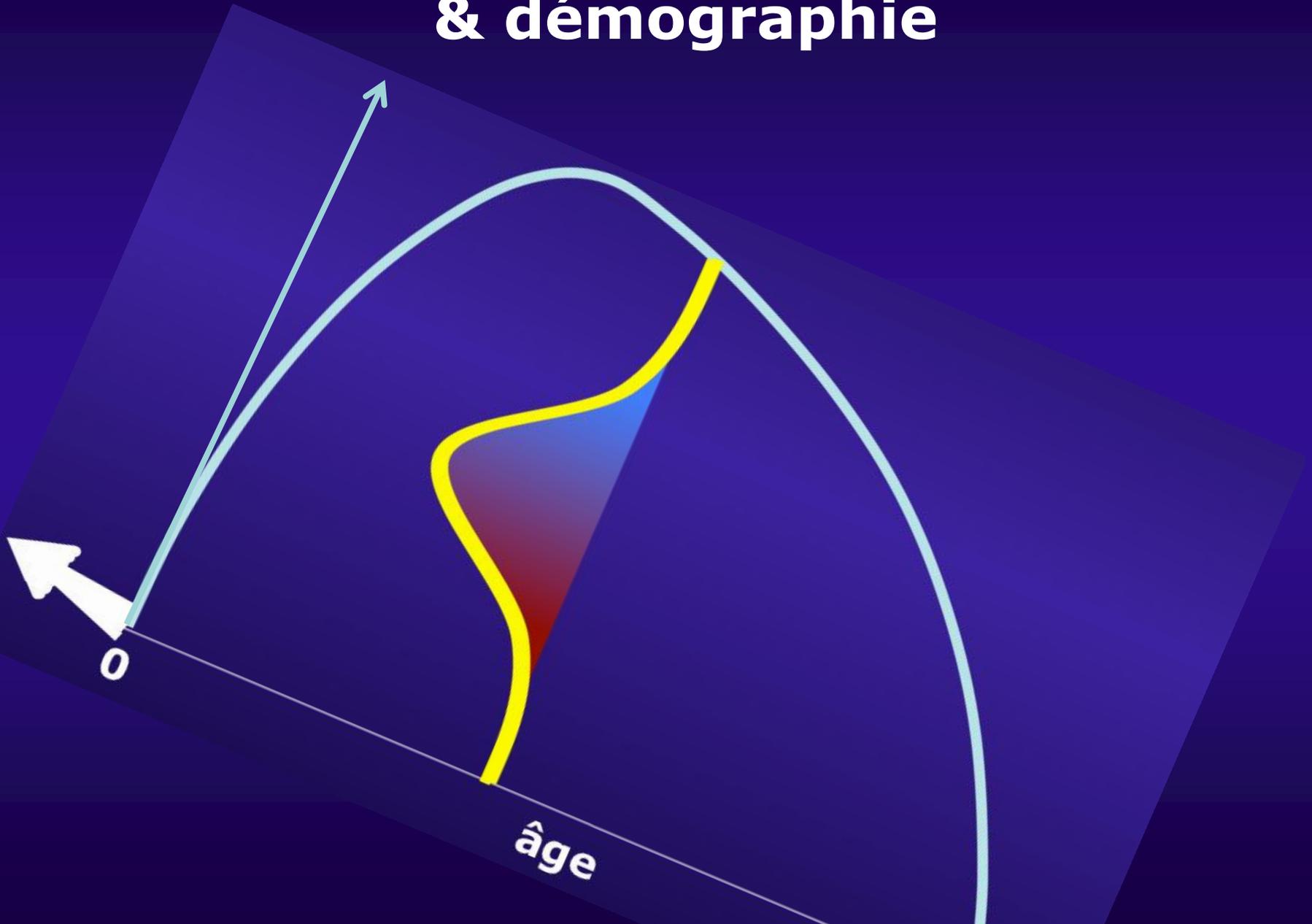
# potentiel générationnel & démographie



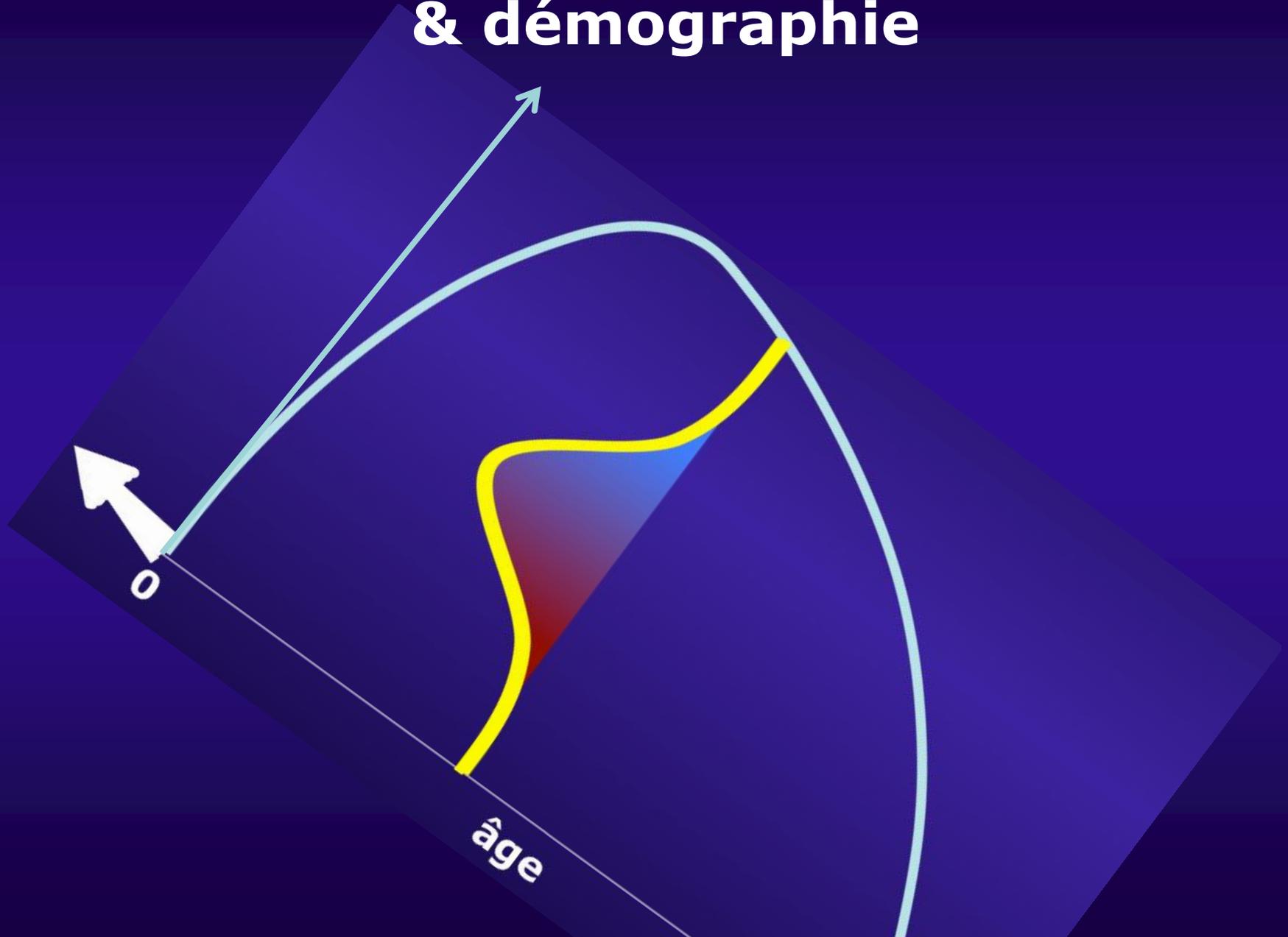
# potentiel générationnel & démographie



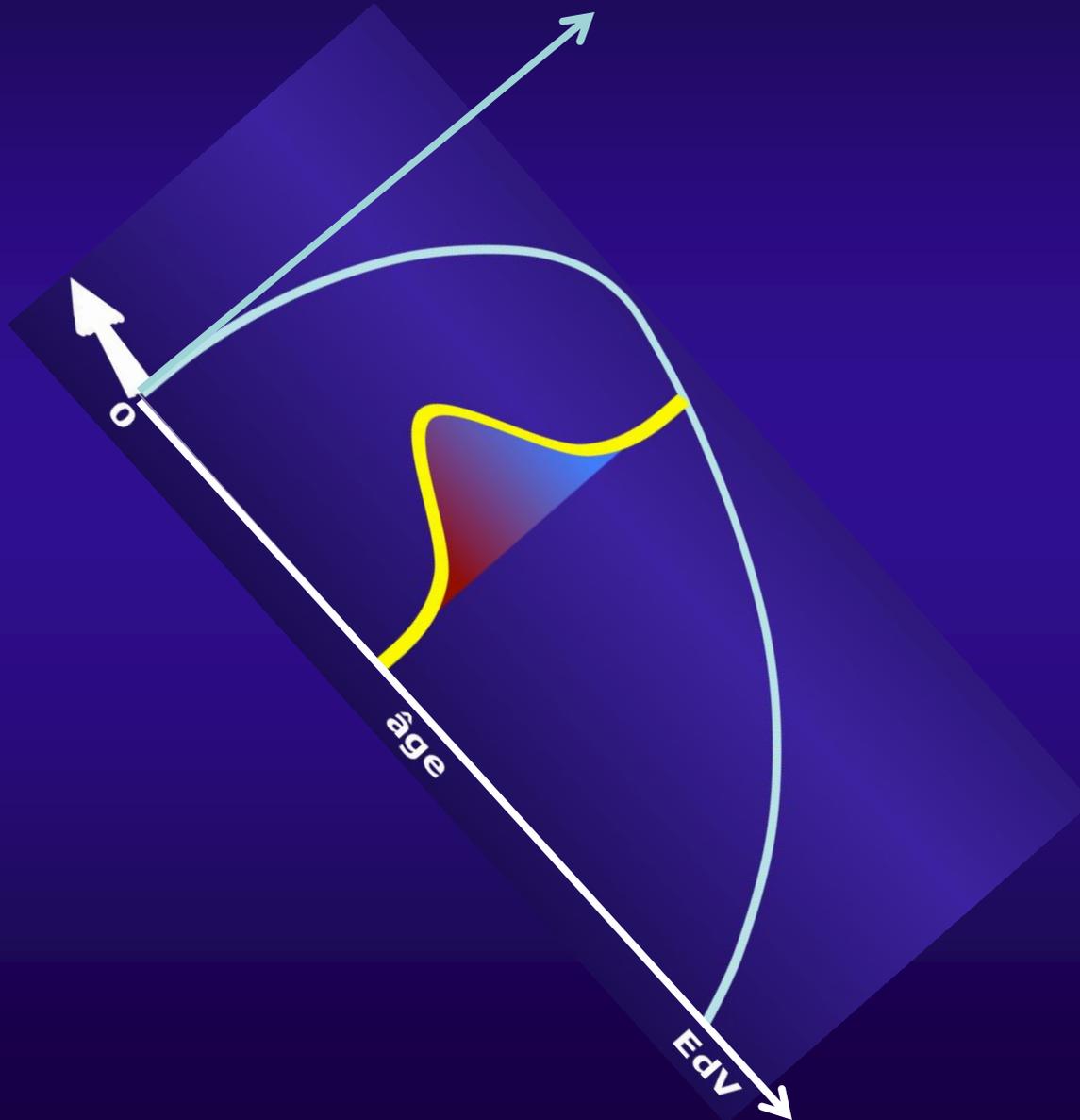
# potentiel générationnel & démographie



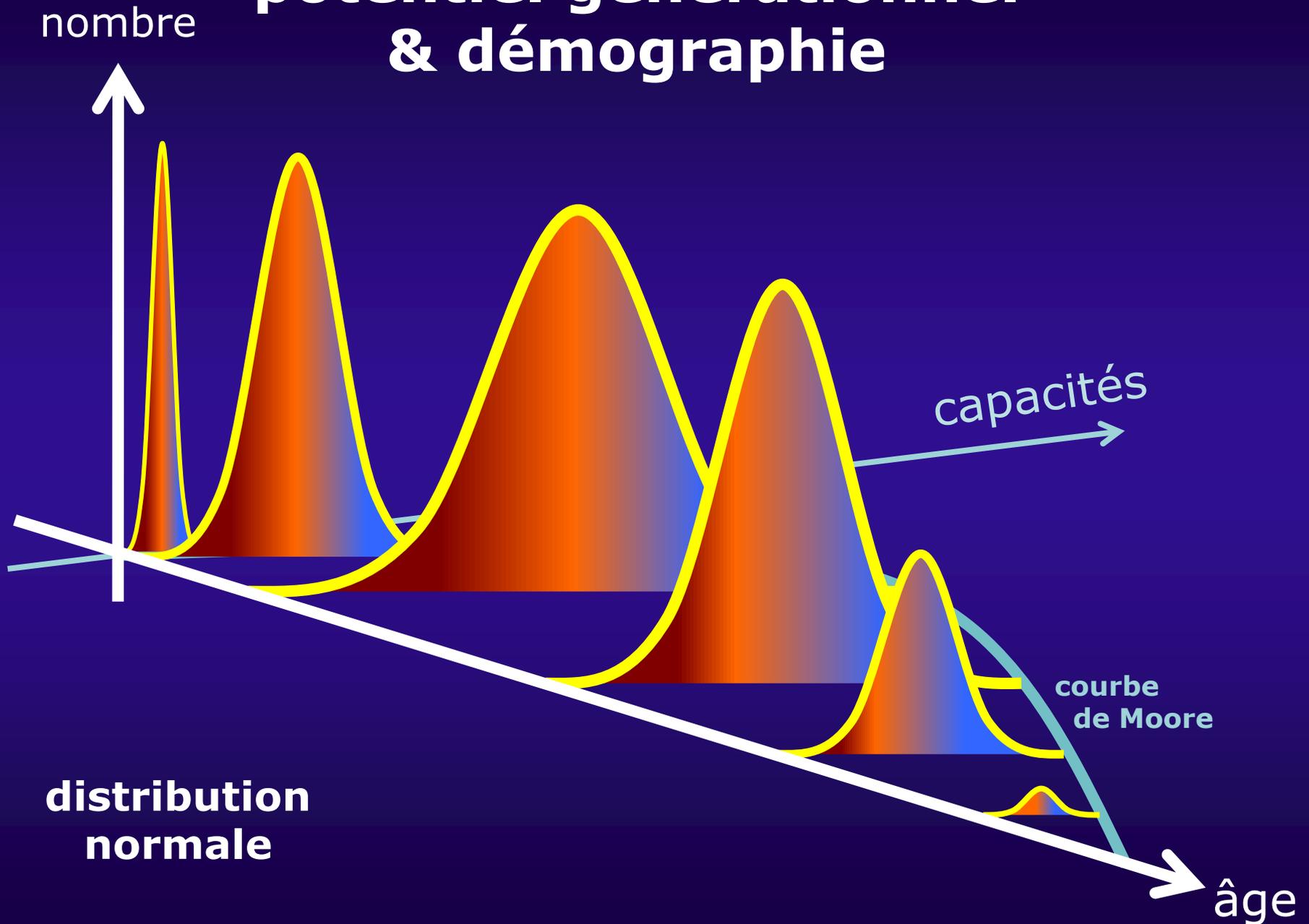
# potentiel générationnel & démographie



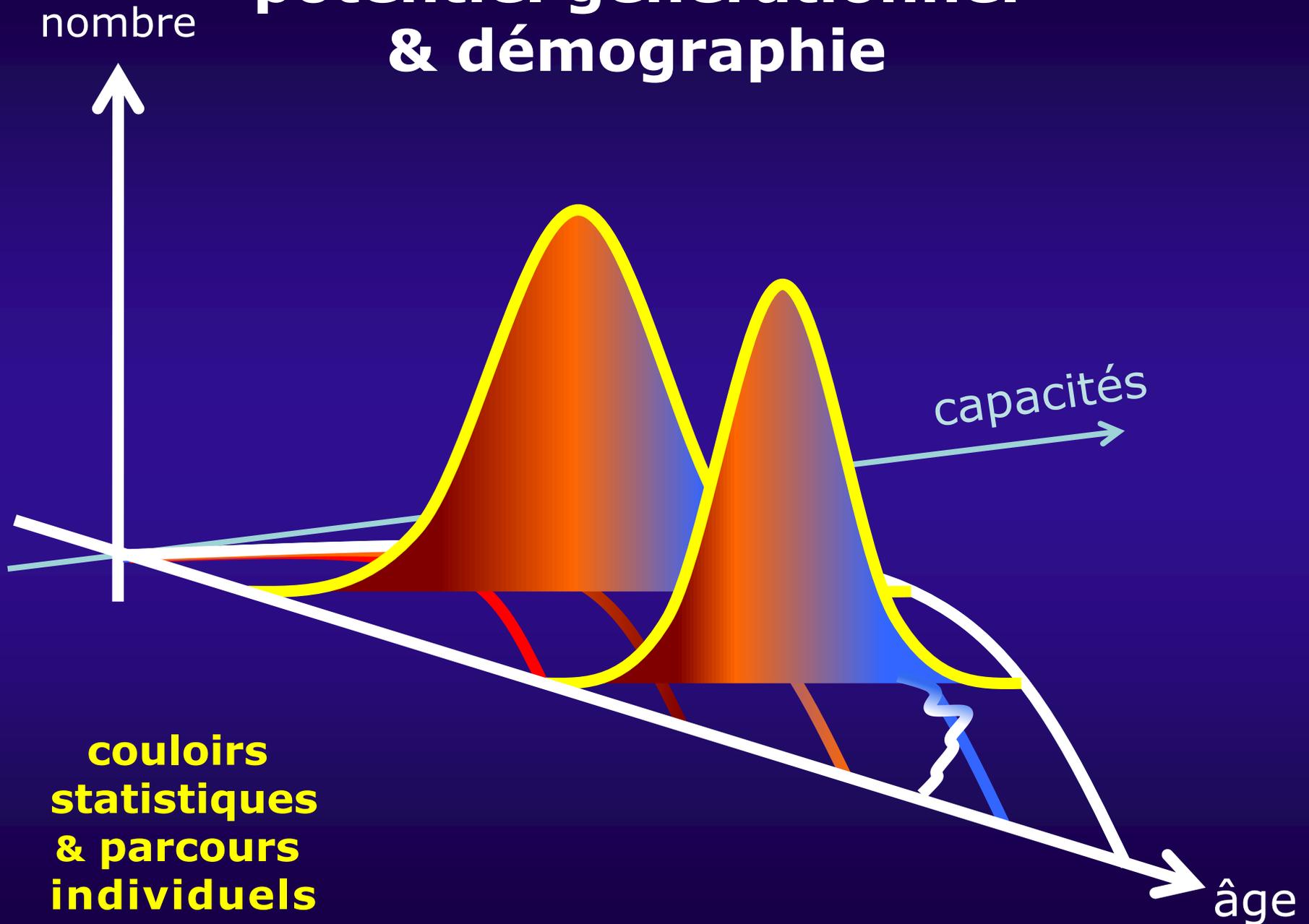
# potentiel générationnel & démographie



# potentiel générationnel & démographie

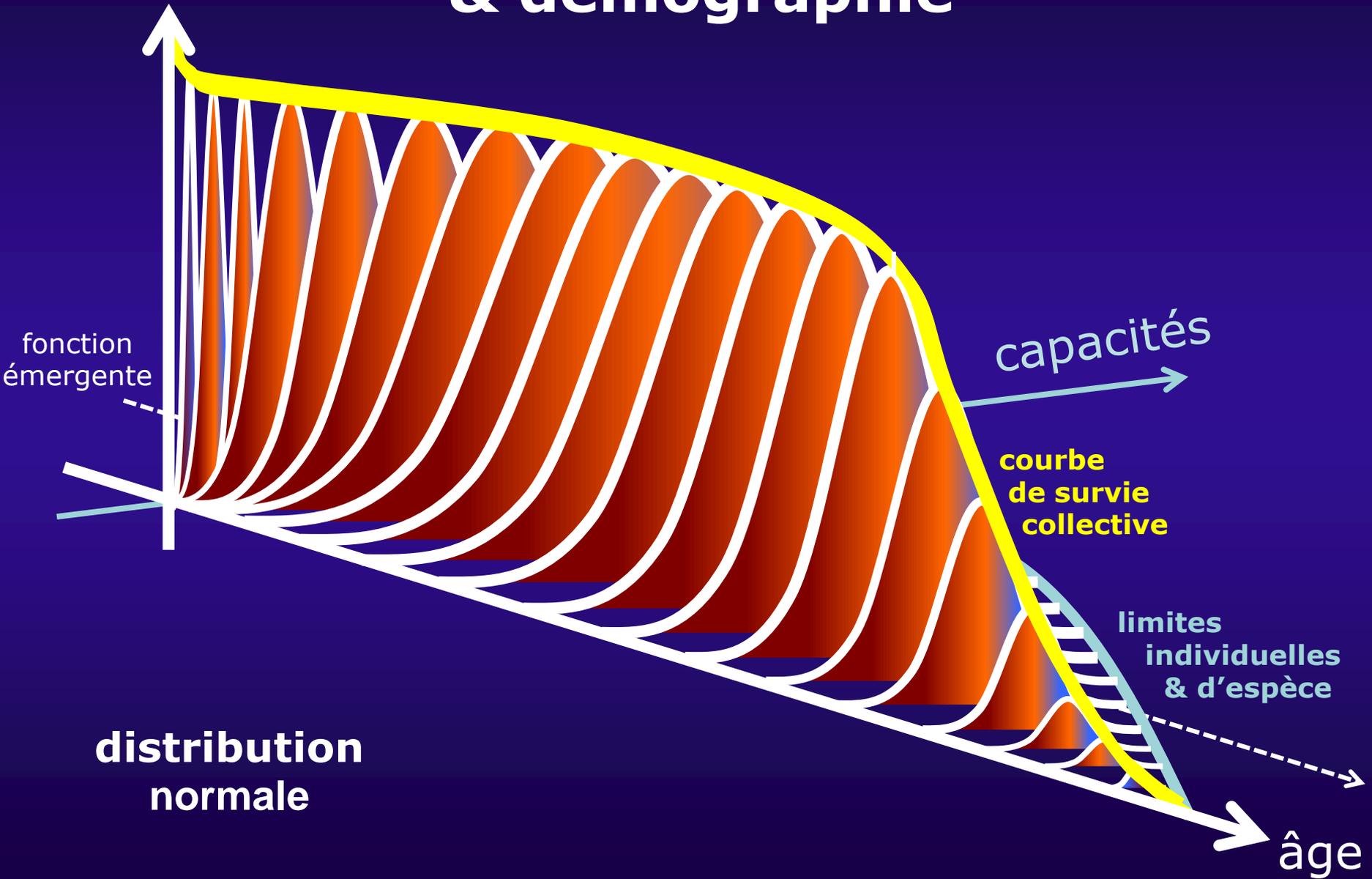


# potentiel générationnel & démographie



# capacités générationnelles & démographie

nombre d'individus



distribution normale

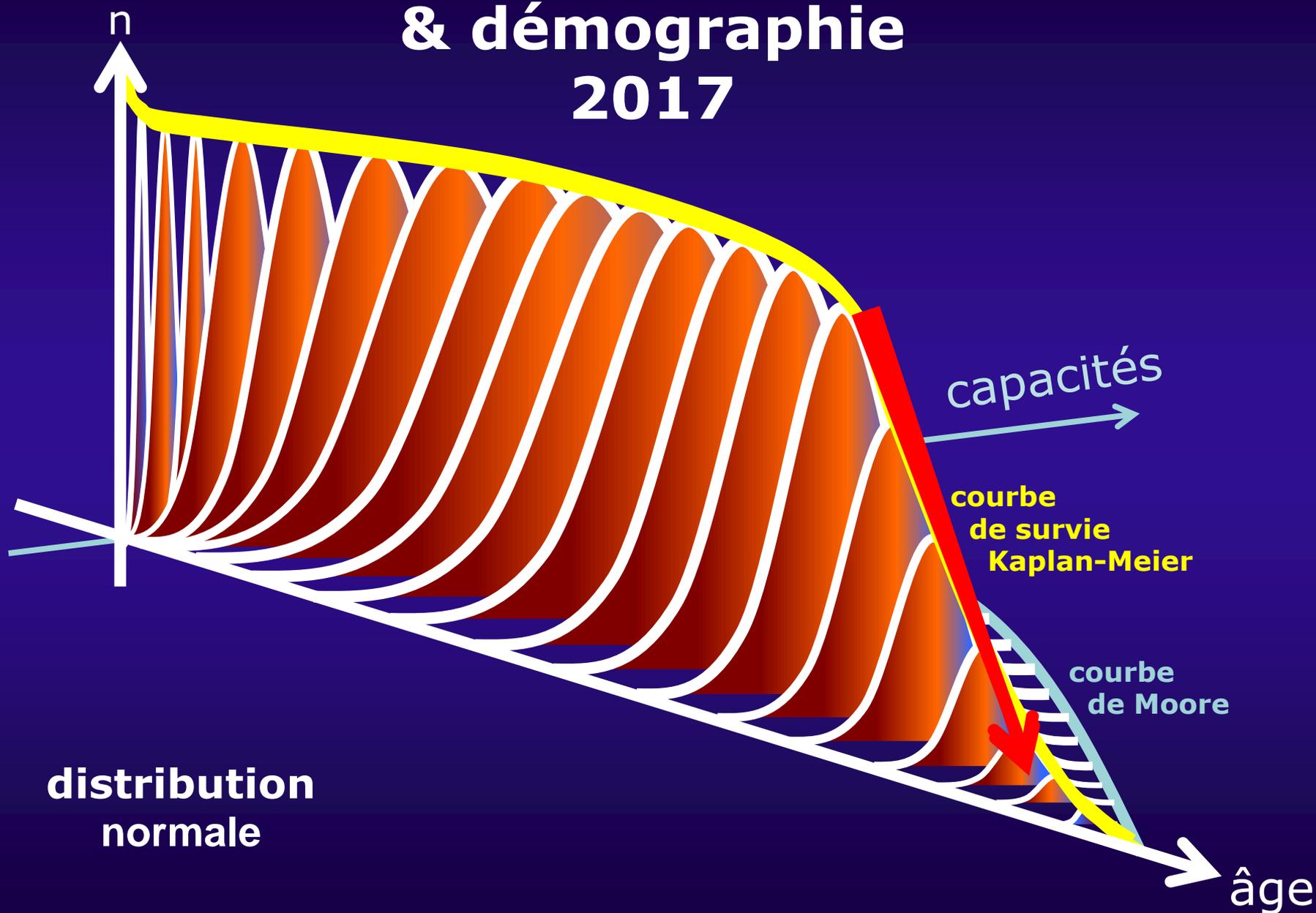
capacités

courbe de survie collective

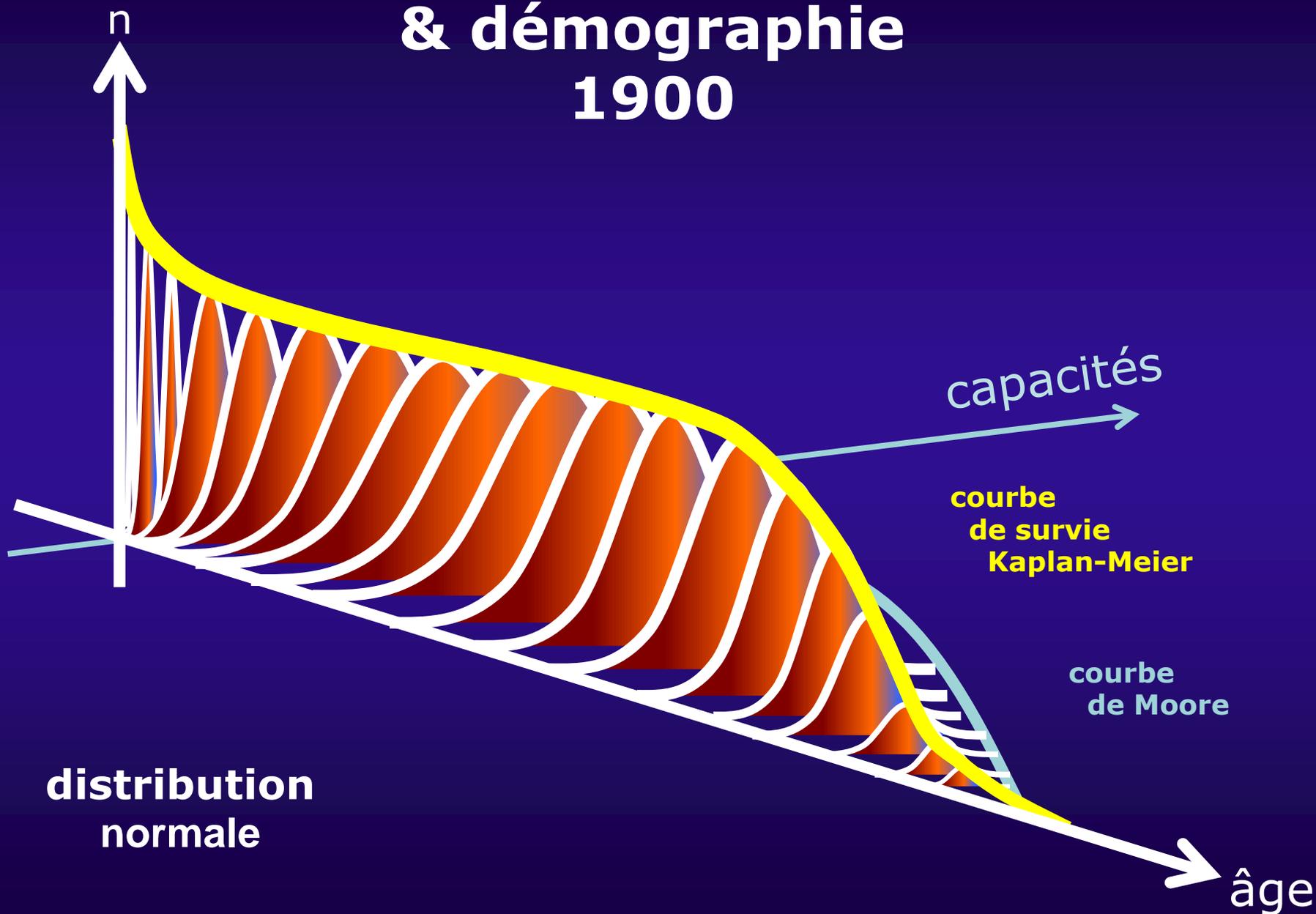
limites individuelles & d'espèce

âge

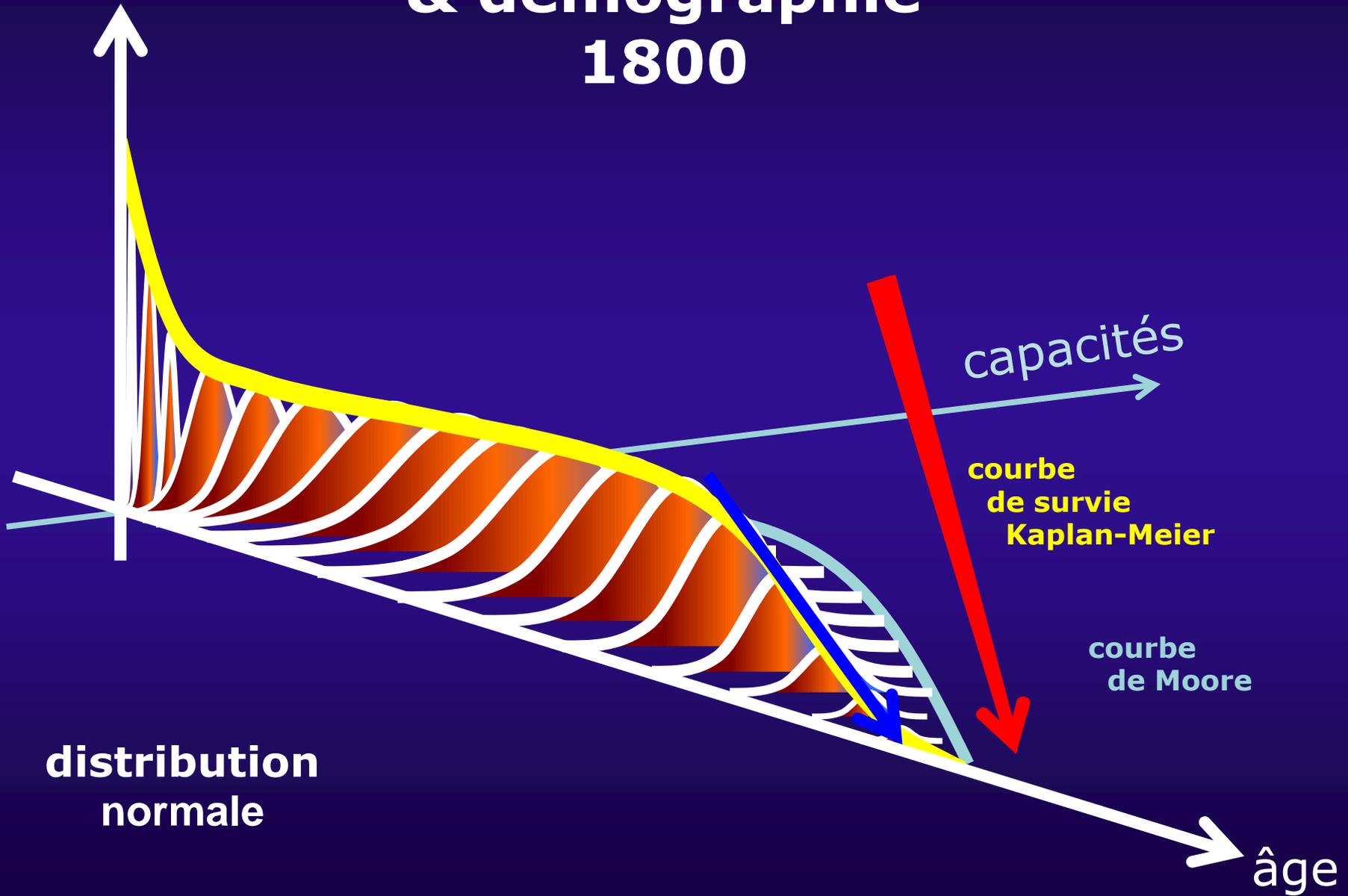
# capacités générationnelles & démographie 2017

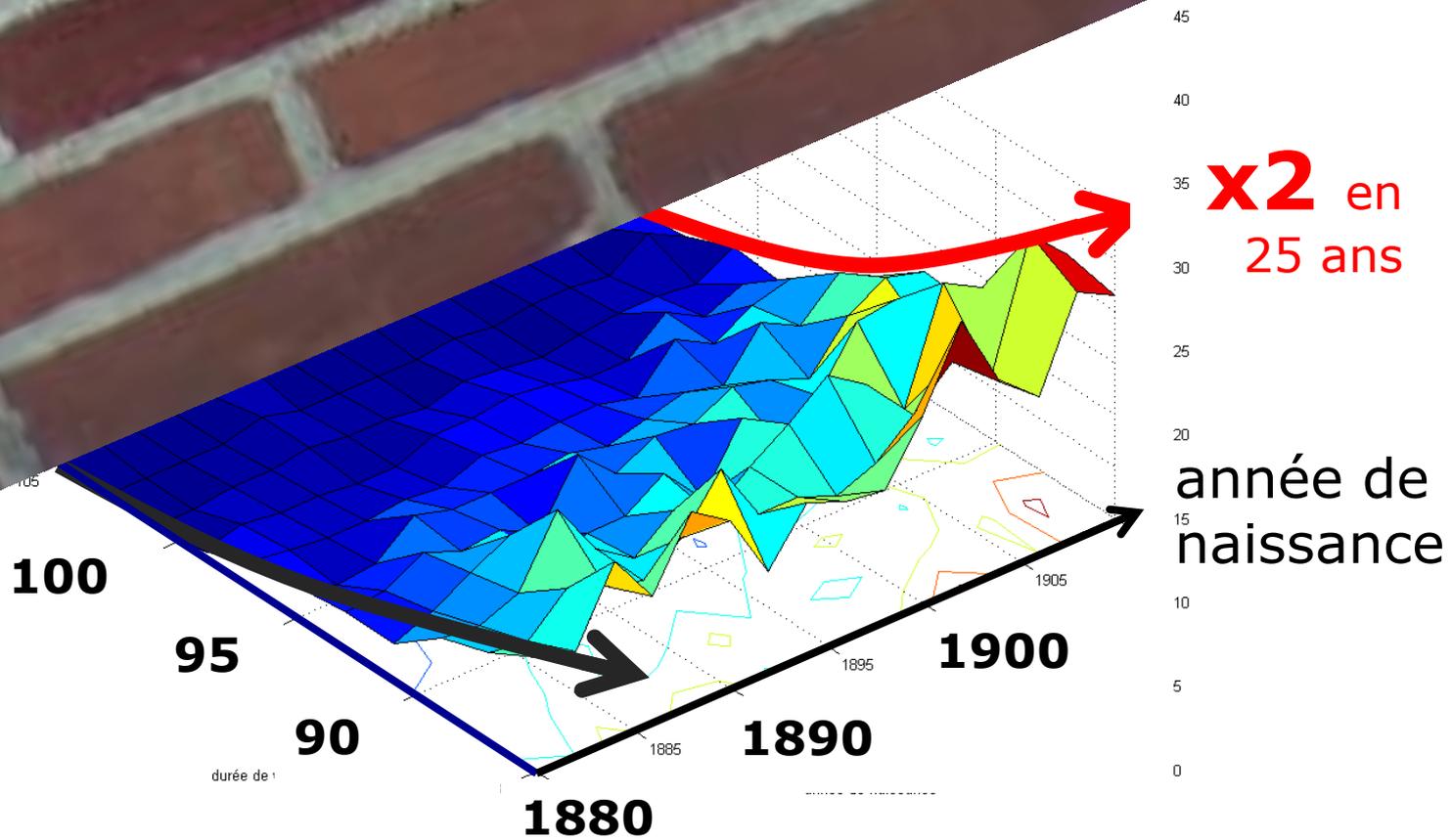
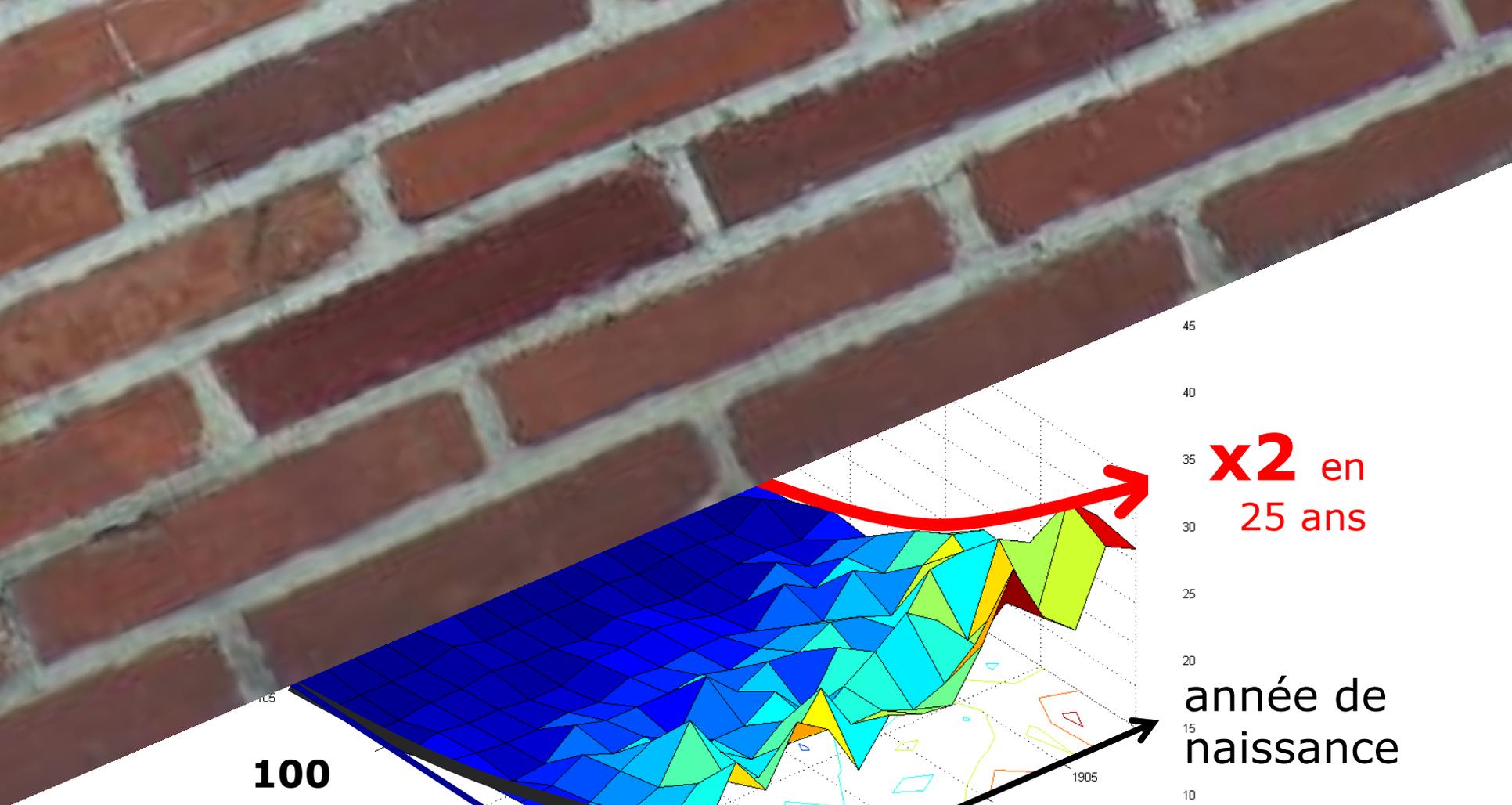


# capacités générationnelles & démographie 1900



# capacités générationnelles & démographie 1800





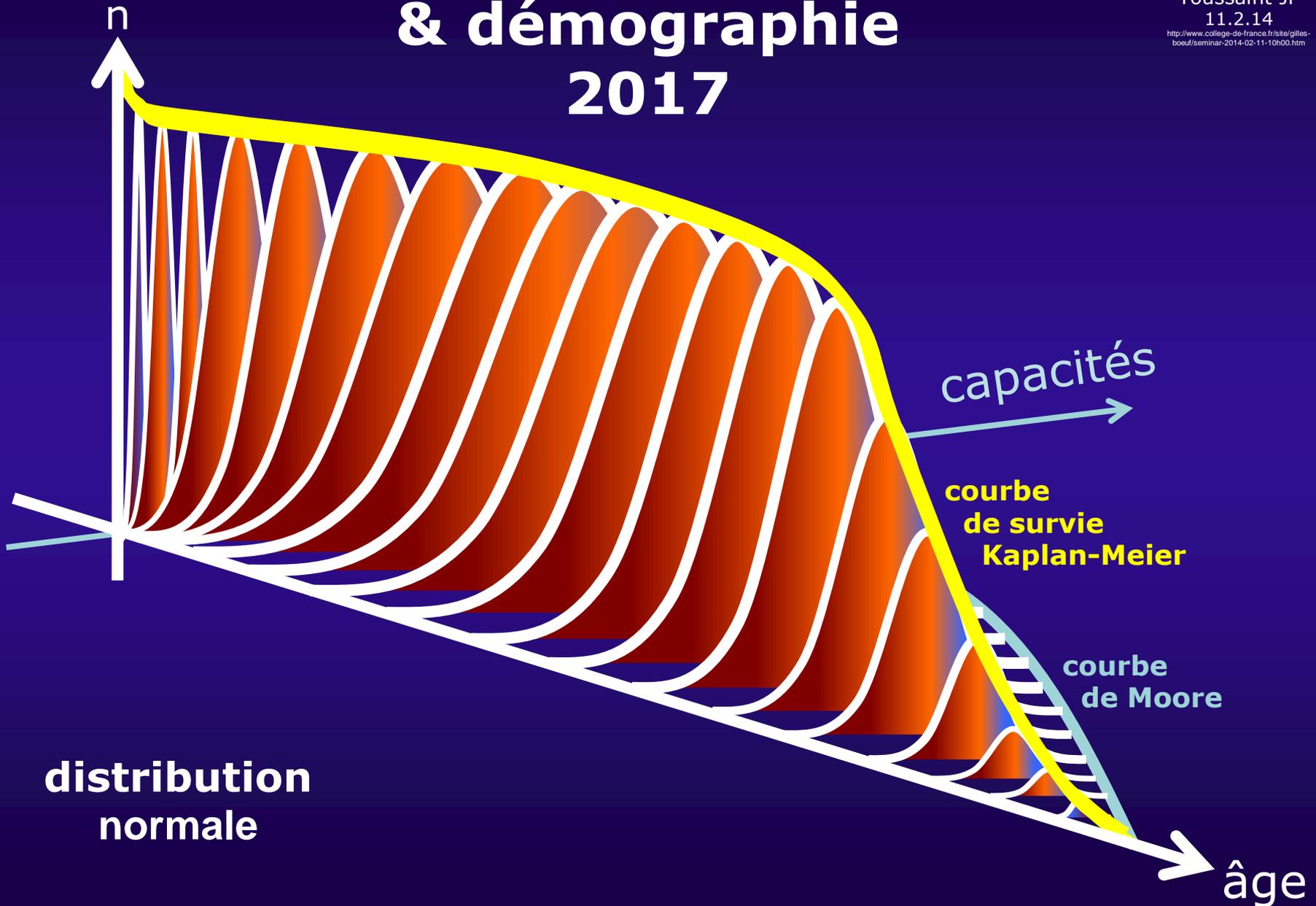
Kannisto, 2000  
Demog Res 3, 12



J Antero-Jacquemin, 2014  
J Gerontol A Biol Sci Med Sci  
doi:10.1093/gerona/glu130

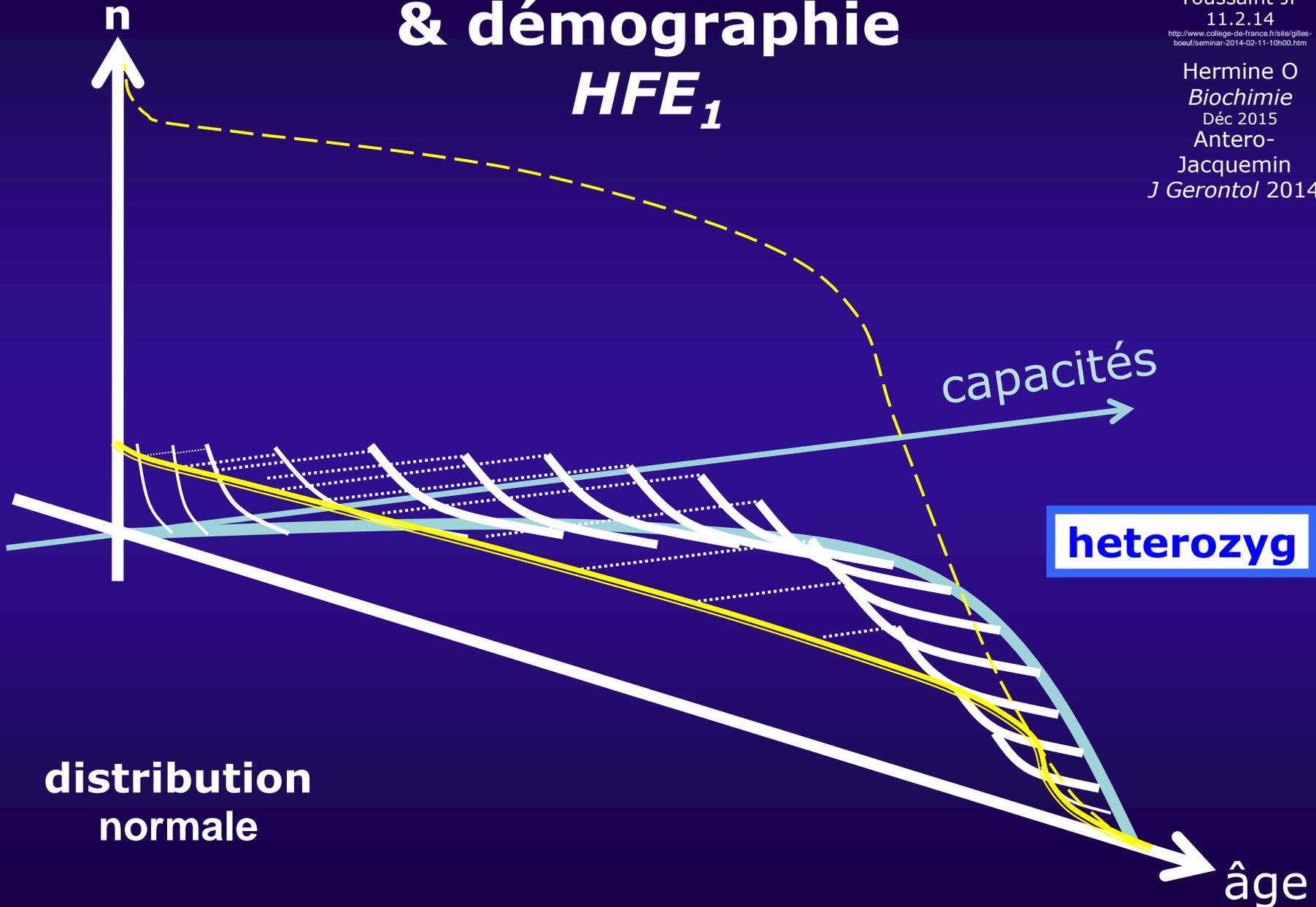
# capacités générationnelles & démographie 2017

Collège de France  
Toussaint JF  
11.2.14  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>



# capacités générationnelles & démographie

$HFE_1$



Collège de France  
Toussaint JF  
11.2.14

<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

Hermine O  
*Biochimie*  
Déc 2015  
Antero-  
Jacquemin  
*J Gerontol* 2014

# capacités générationnelles & démographie

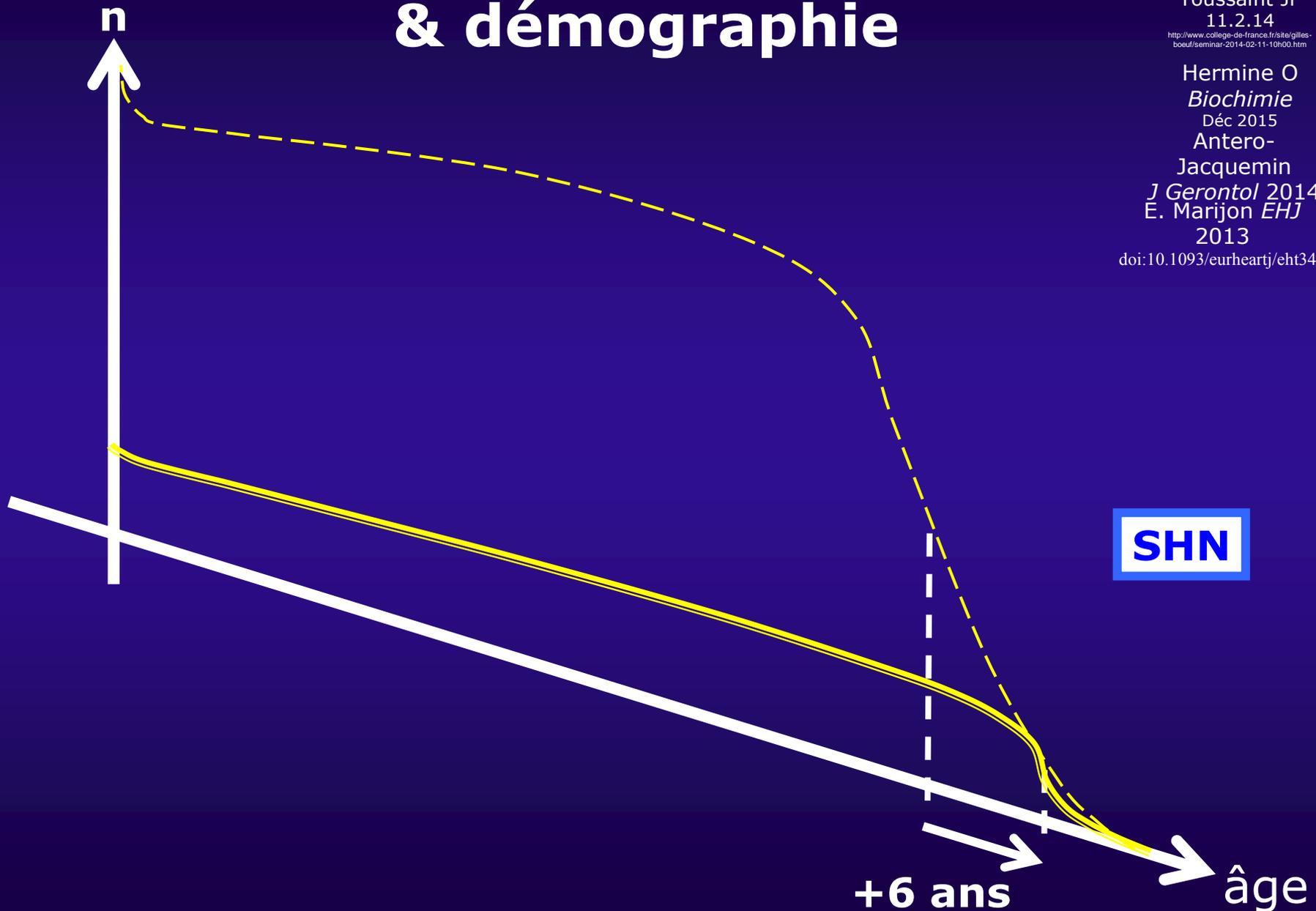
Collège de France  
Toussaint JF  
11.2.14

<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

Hermine O  
*Biochimie*  
Déc 2015  
Antero-  
Jacquemin

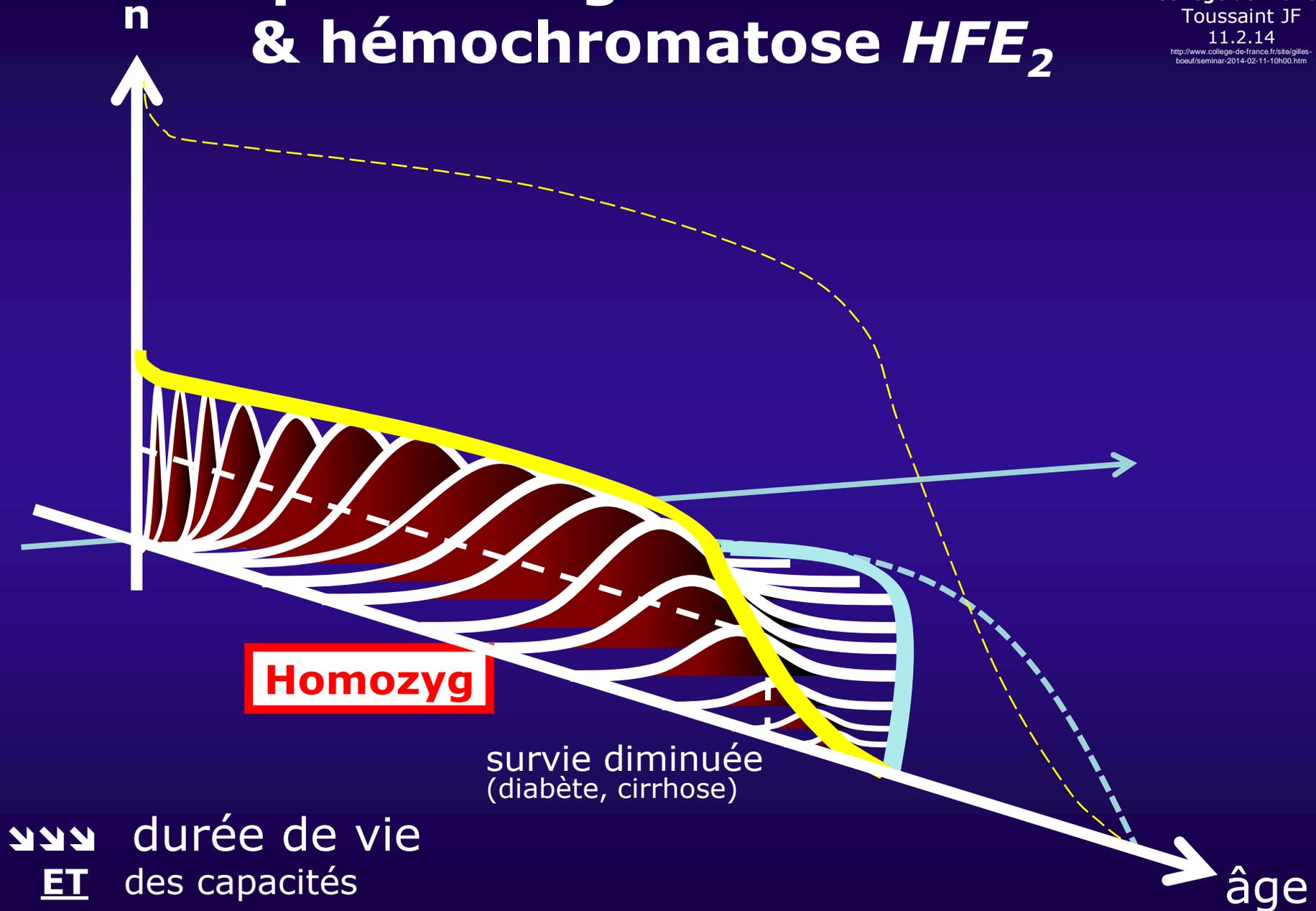
*J Gerontol* 2014  
E. Marijon *EJH*  
2013

doi:10.1093/eurheartj/eh347



# potentiel générationnel & hémochromatose $HFE_2$

Collège de France  
Toussaint JF  
11.2.14  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>



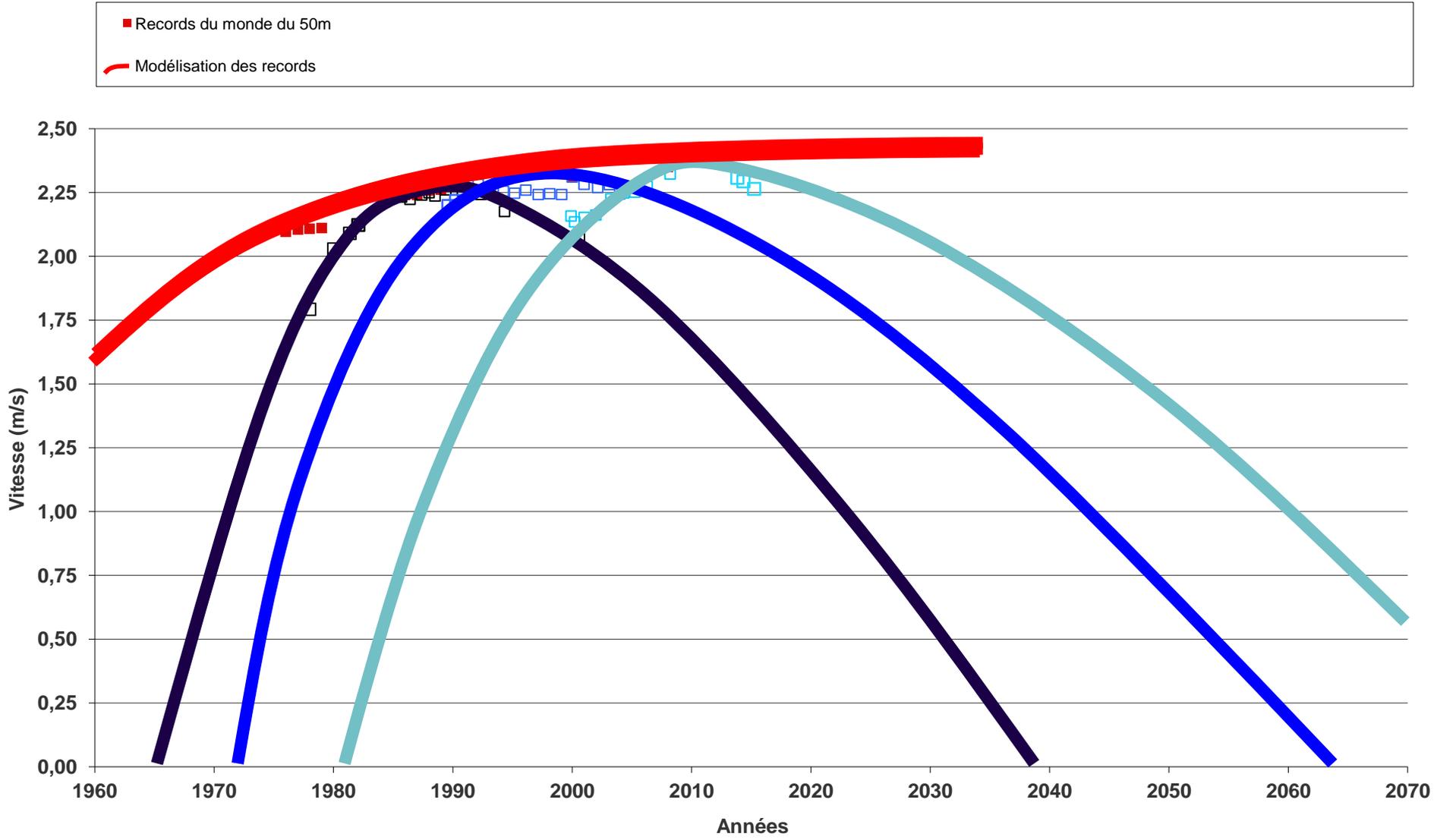
**EXP**

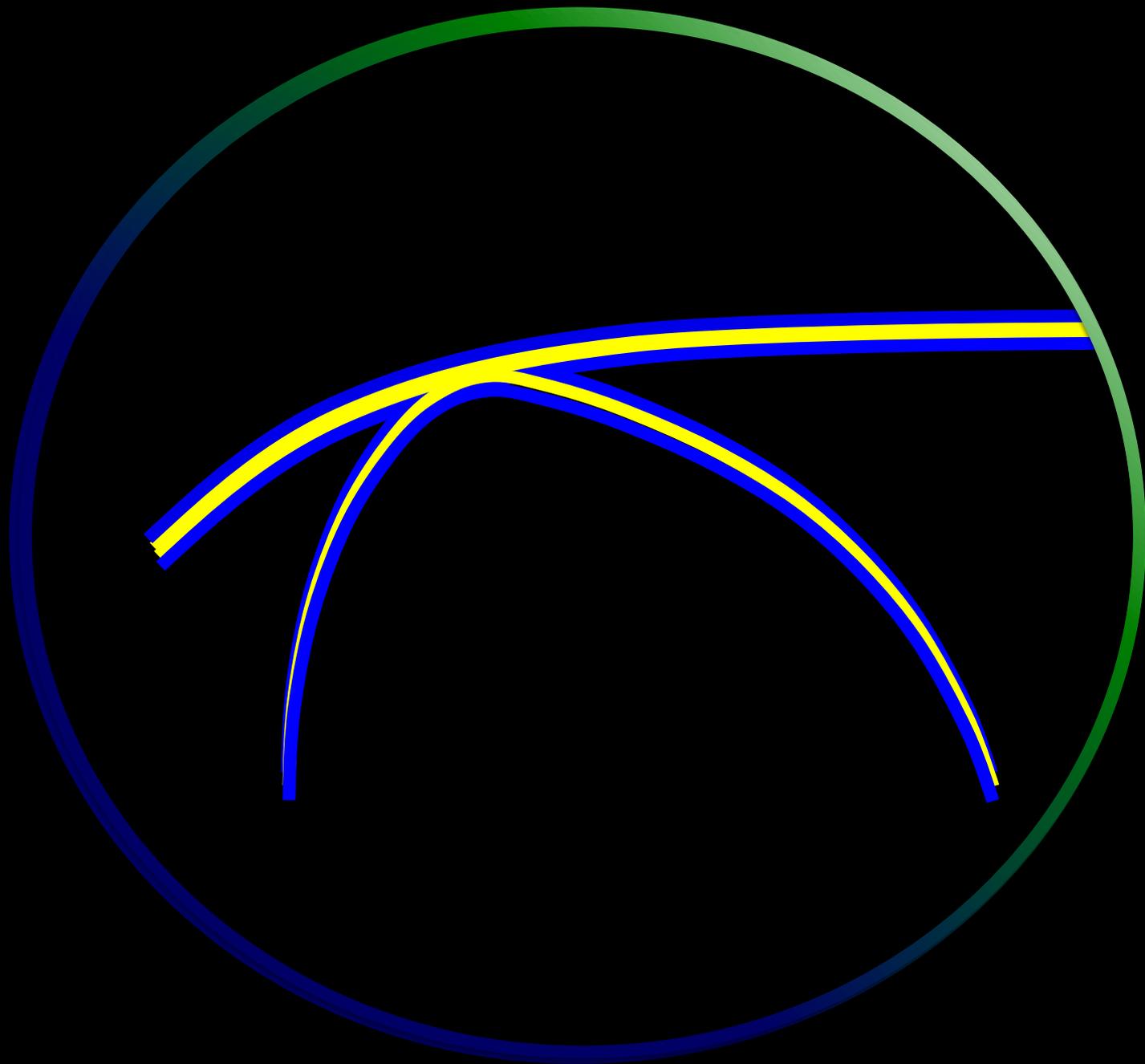
**PHENO**

**expansion  
phénotypique**

# Records du Monde 50m NL Contributions Individuelles

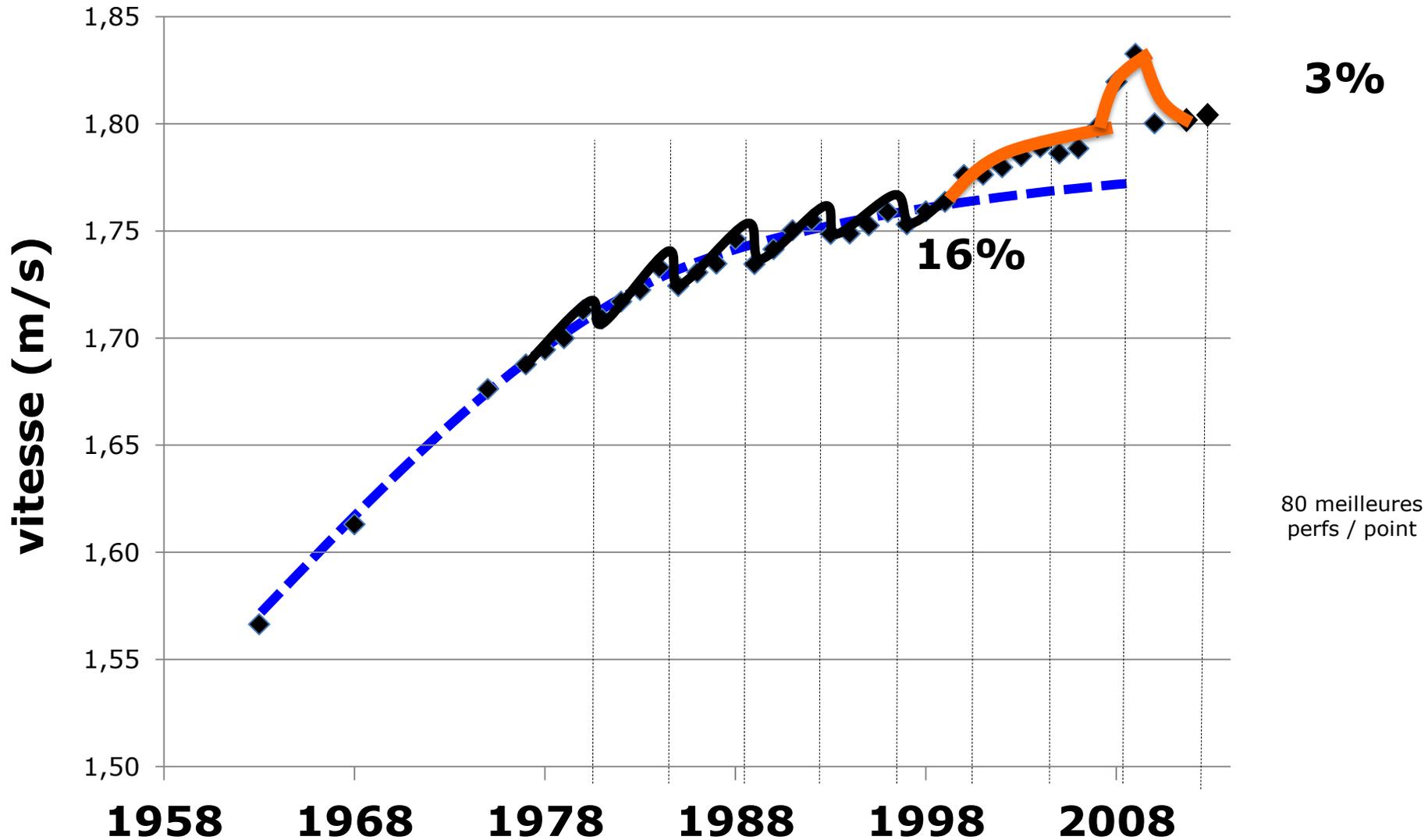
G Berthelot 2012  
Age 4,1001





# vitesse moyenne, toutes nages

hommes : 100m et 200m (NL-D-B-P)



# athlétisme

## évolution des vitesses

chaque point:  
moy de 80 perf

Moyen mondial masculin

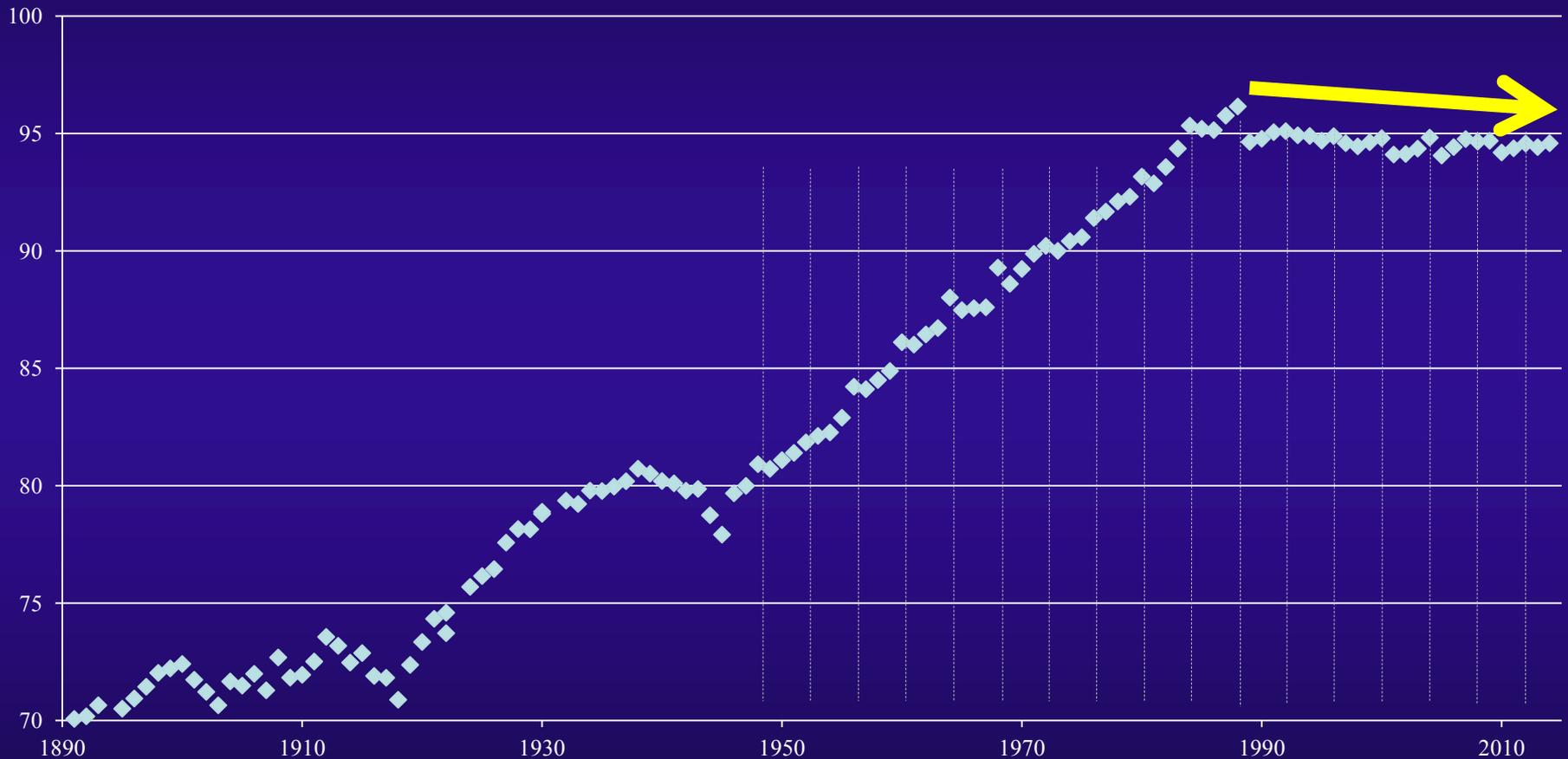


depuis 1996: vitesse de course masculine au plafond

# évolution des sauts

en % du record du monde

Moyenne masculine & féminine du **Top10** - Longueur & Hauteur



régression  
depuis 1988

# Cycles de Développement

**Physiologique**



**Socio-culturel**



**Technologique**



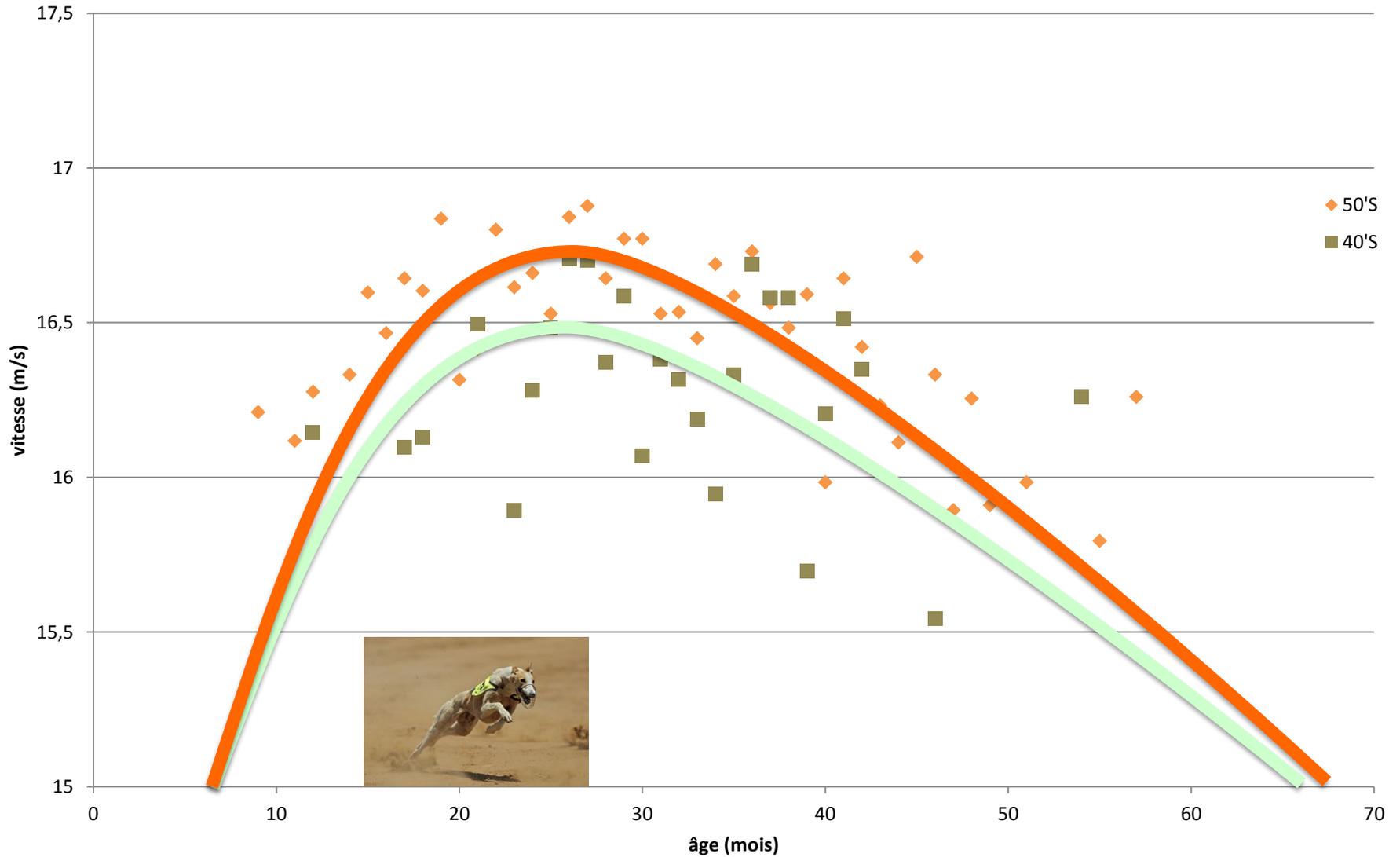
**& Environnementaux**



**la performance humaine progresse  
ou régresse selon les impacts positifs  
ou négatifs de chaque facteur**

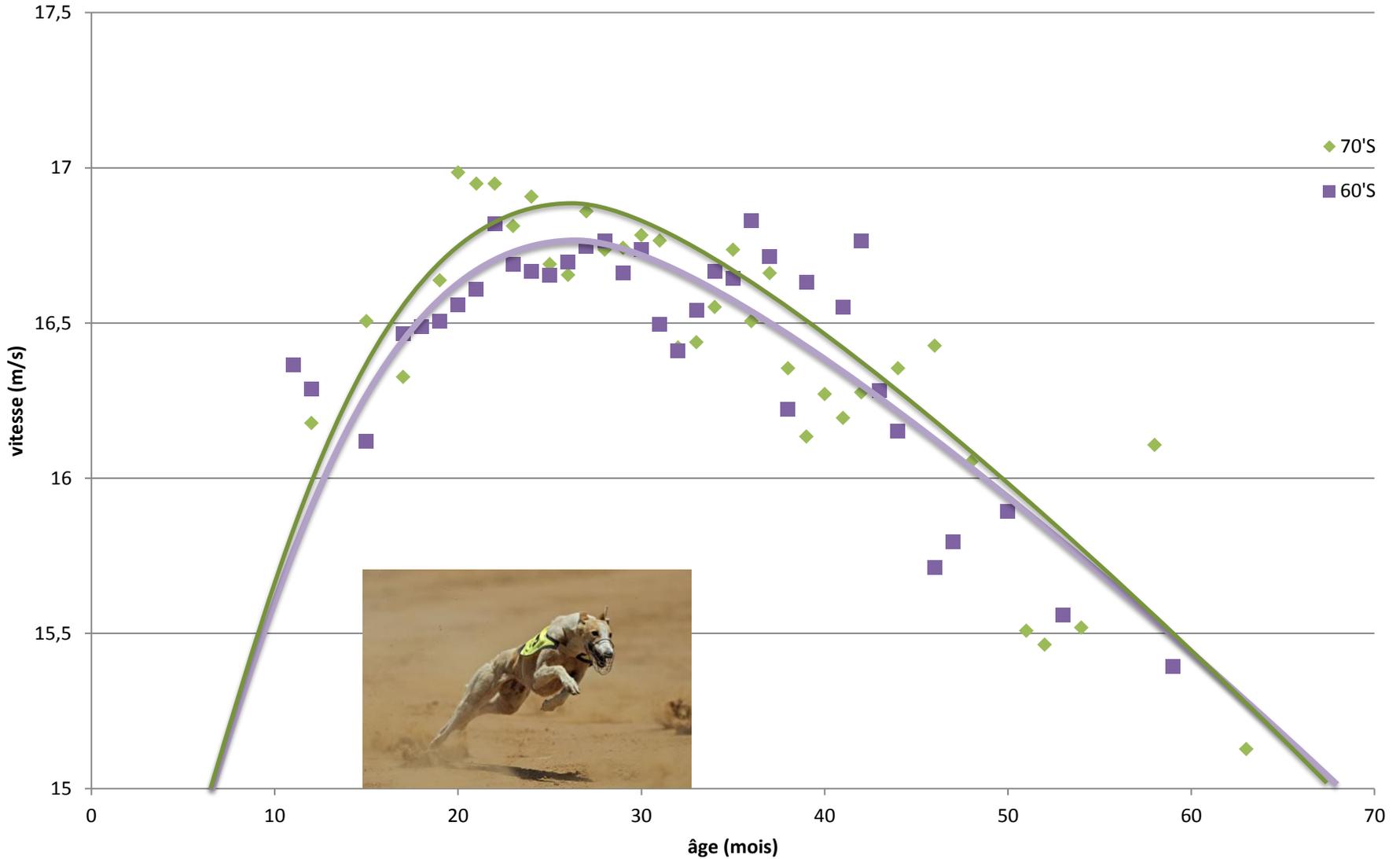
# Evolution de la vitesse de course chez le lévrier (480m)

1940's - 1950's



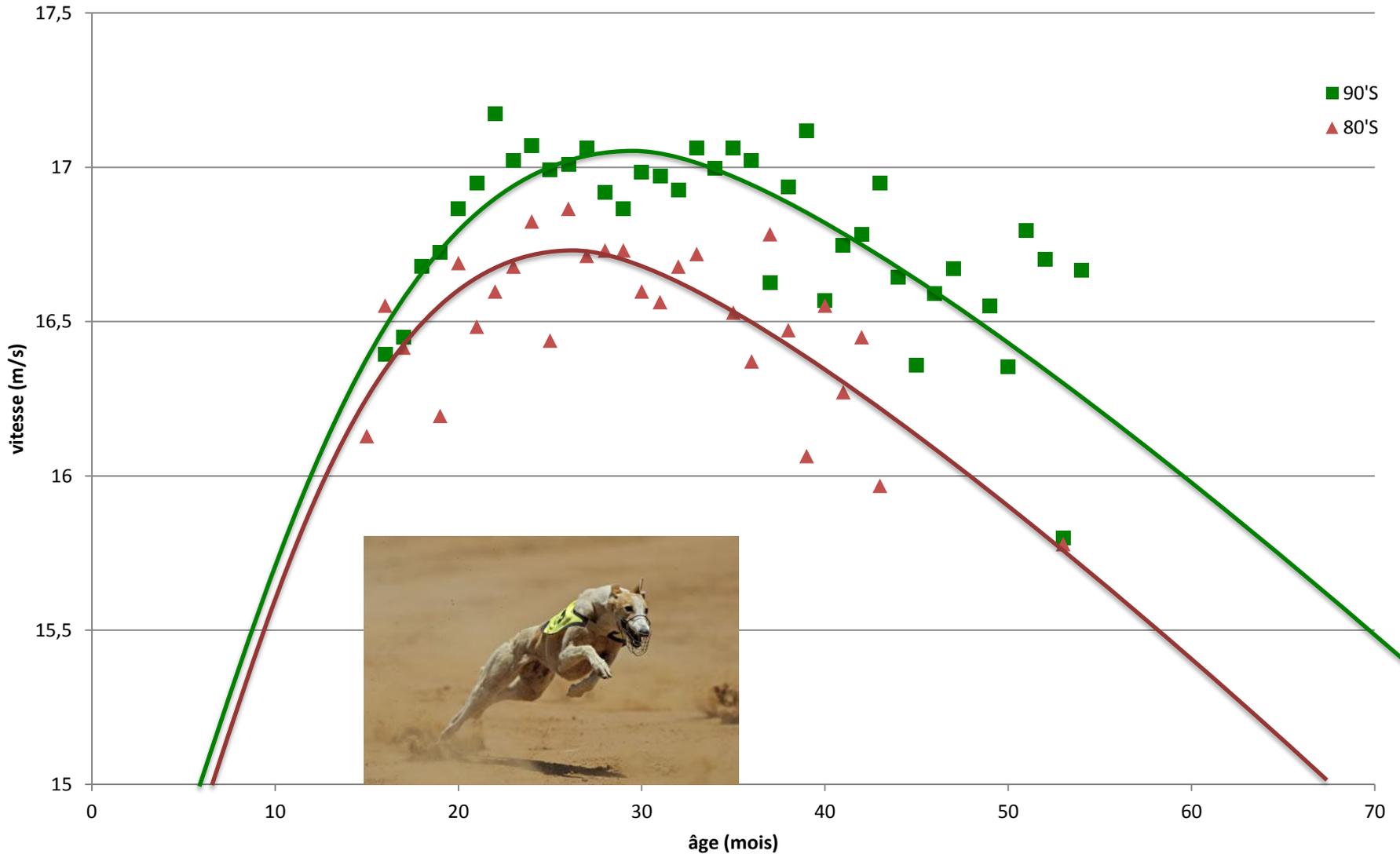
# Evolution de la vitesse de course chez le lévrier (480m)

1960's - 1970's



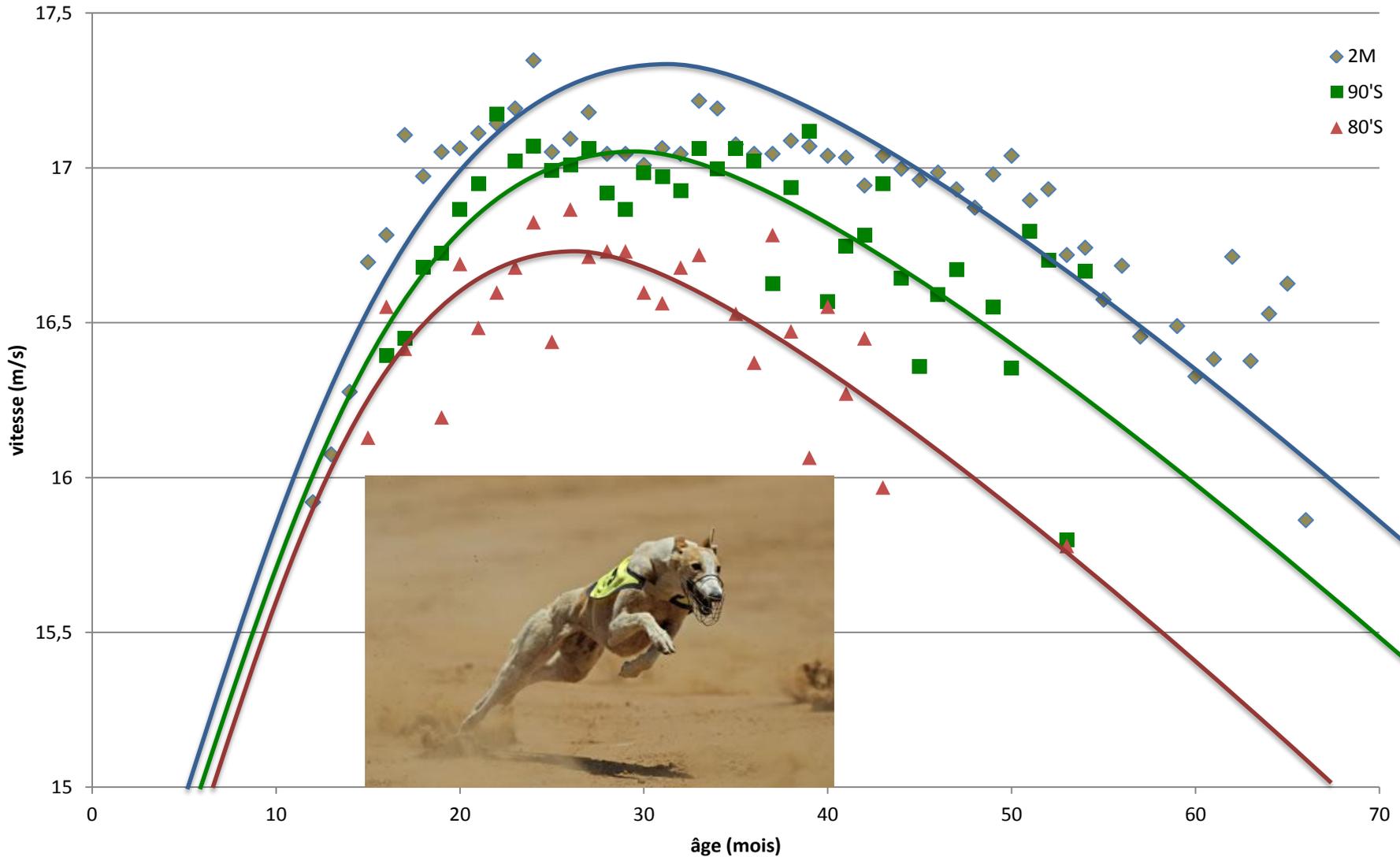
# Evolution de la vitesse de course chez le lévrier (480m)

1980' s - 1990' s



# Evolution de la vitesse de course chez le lévrier (480m)

1980' s - 2010' s

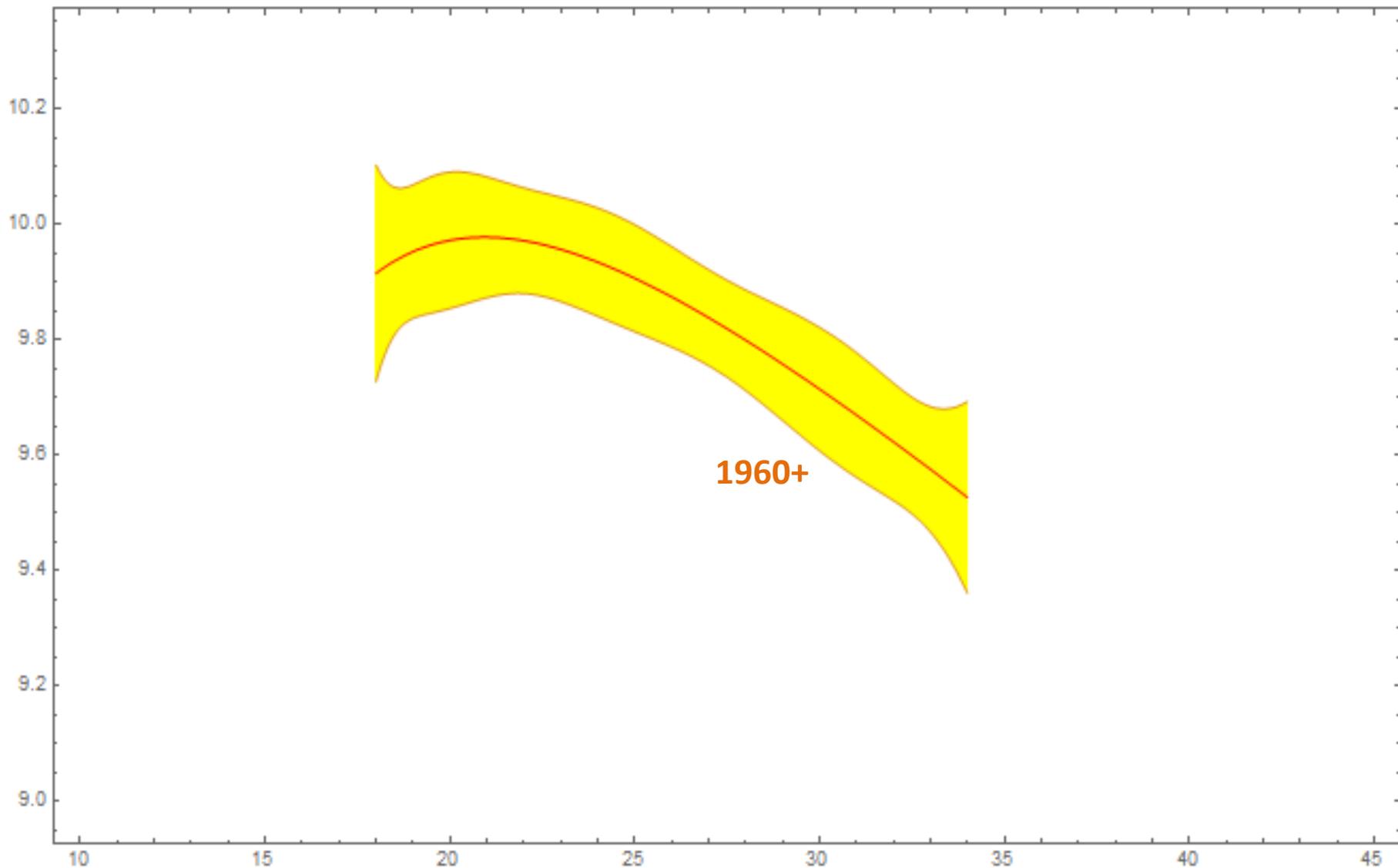


100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001



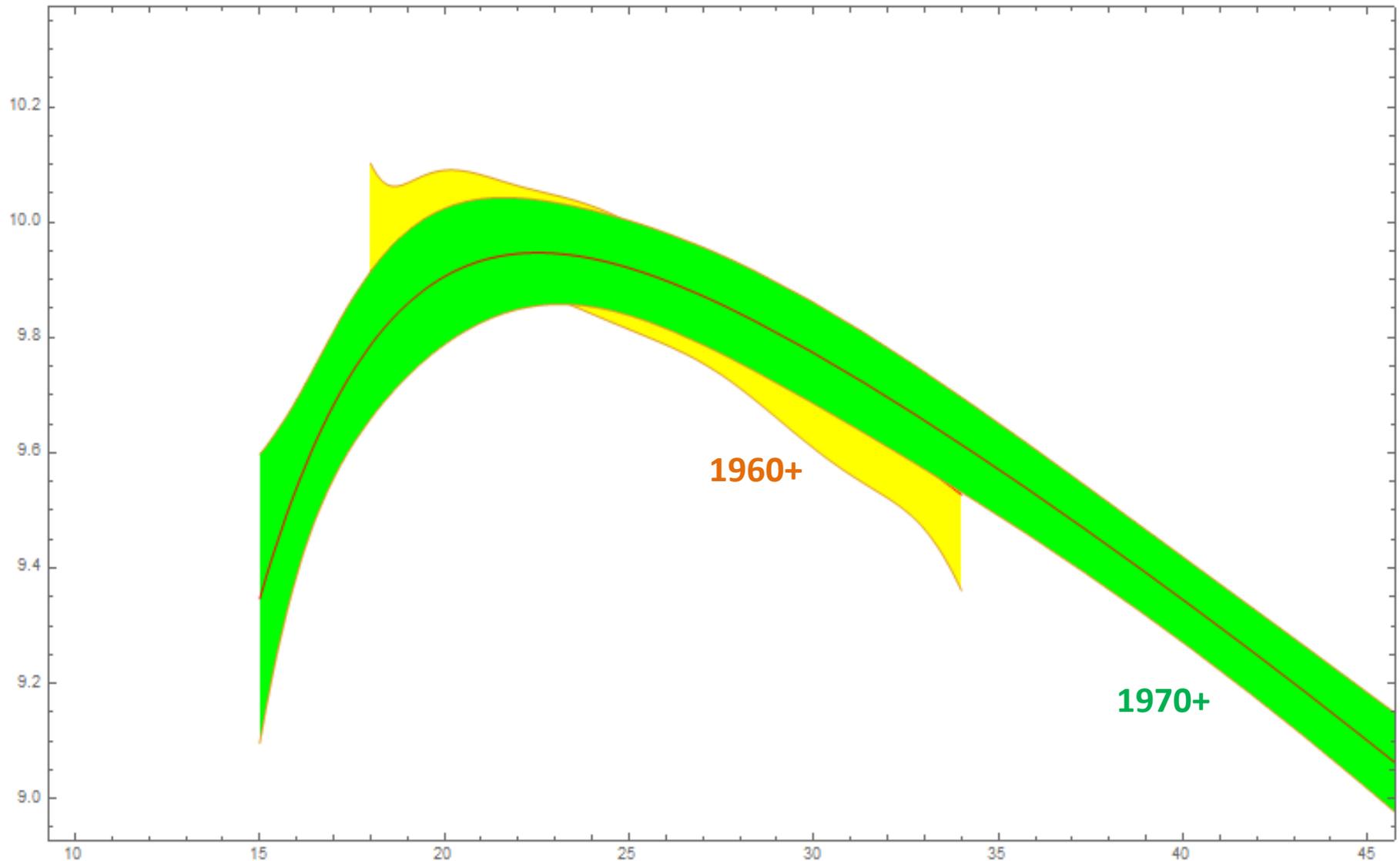
1960+

100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001

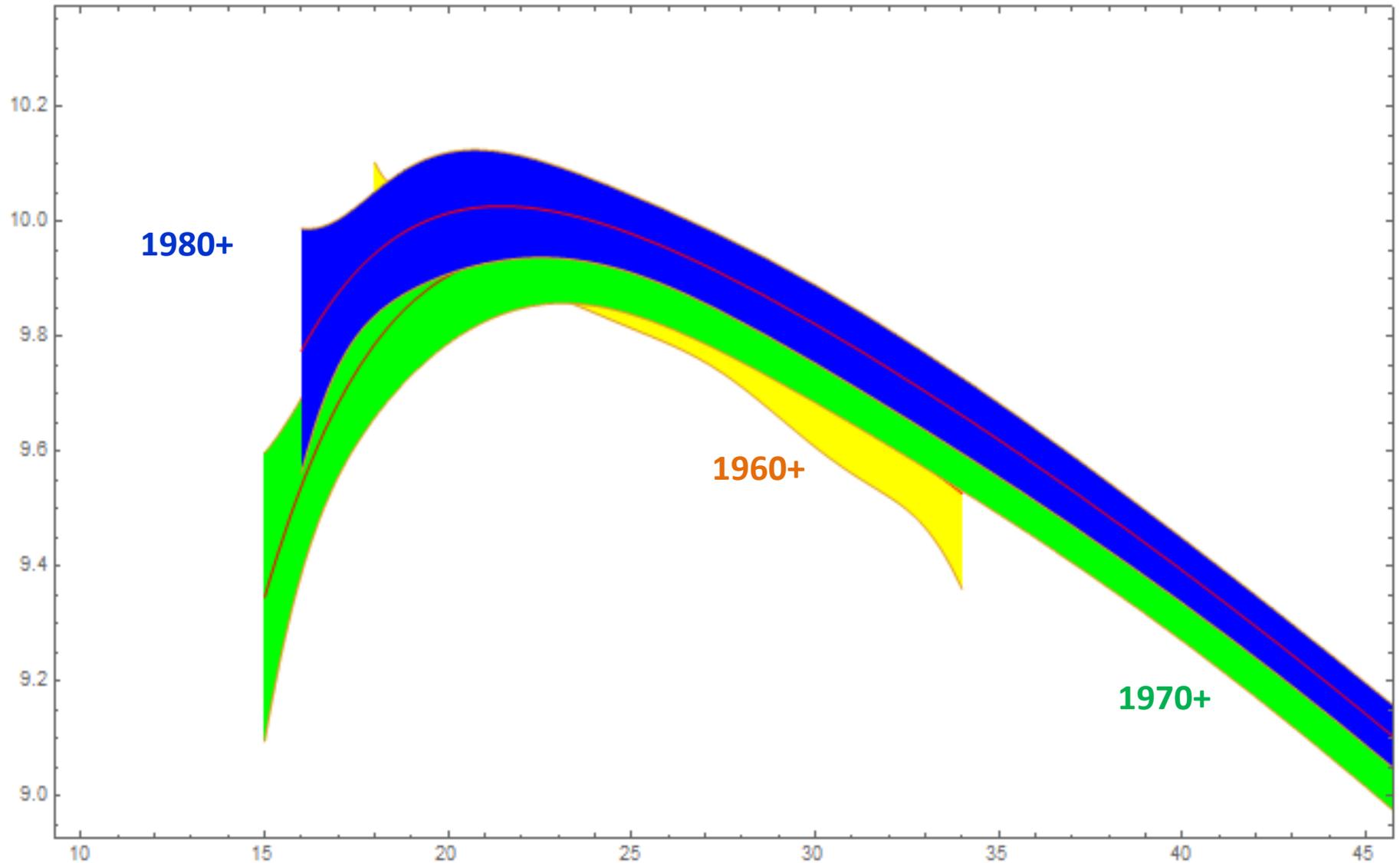


100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001

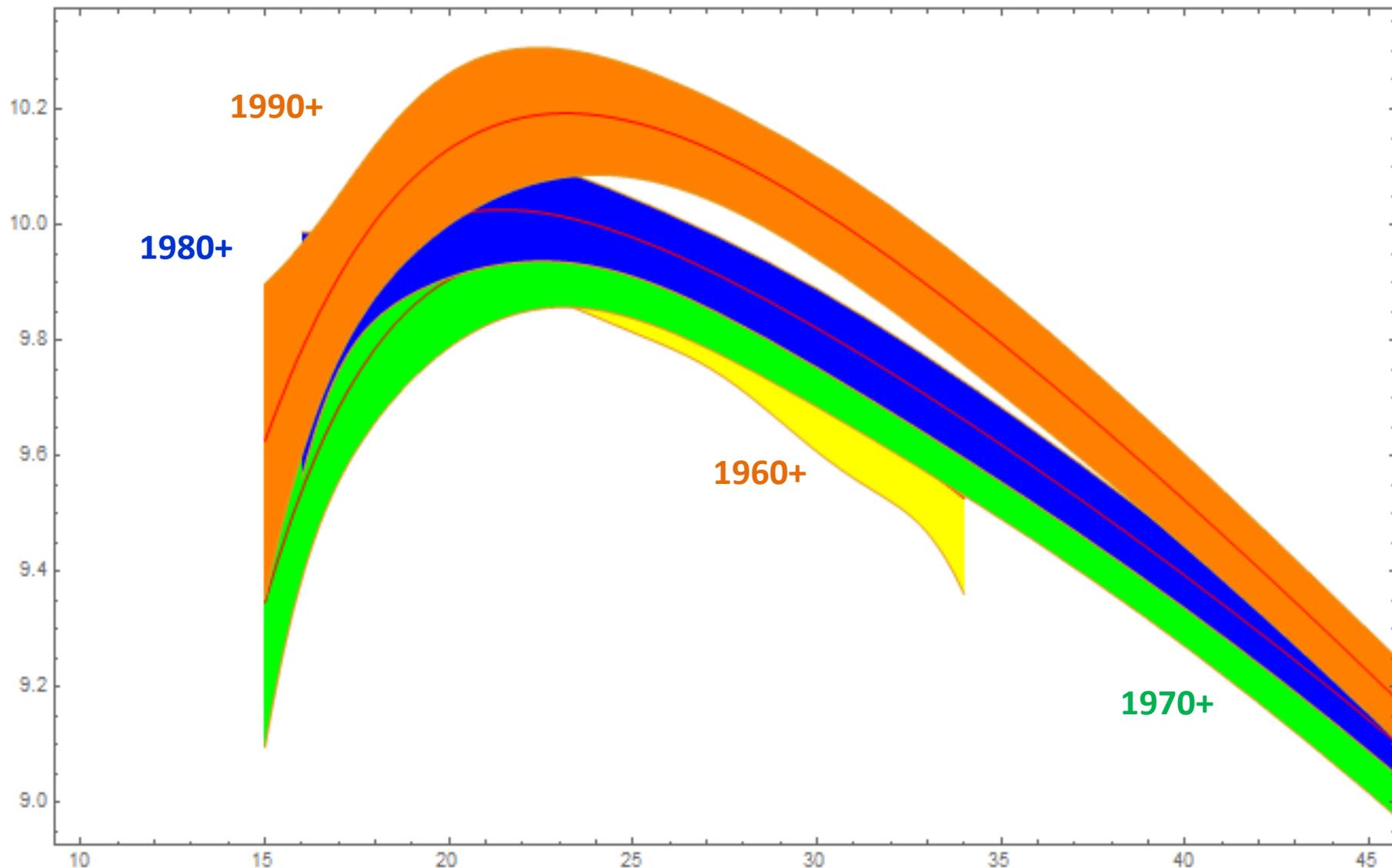


100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001

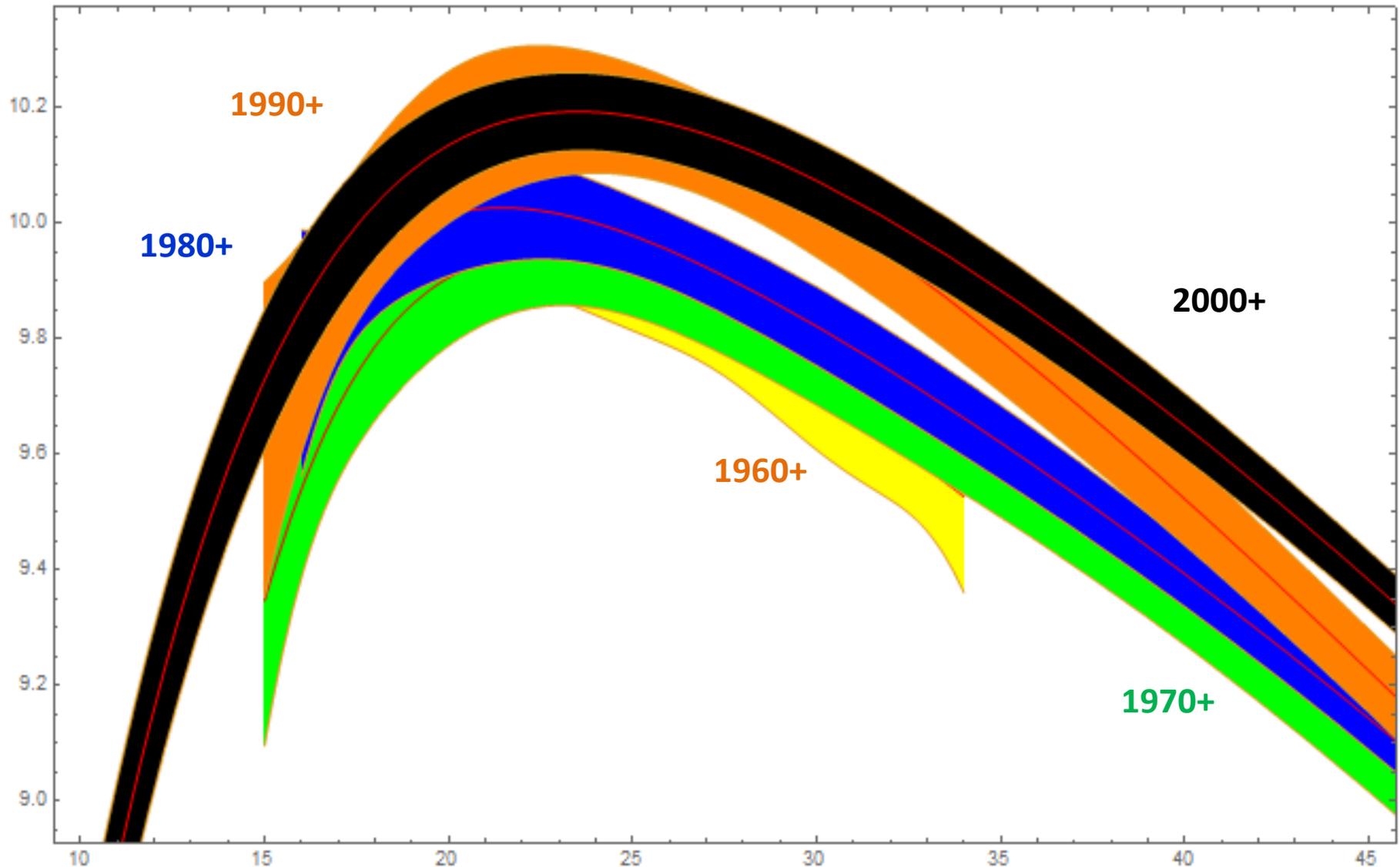


100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001

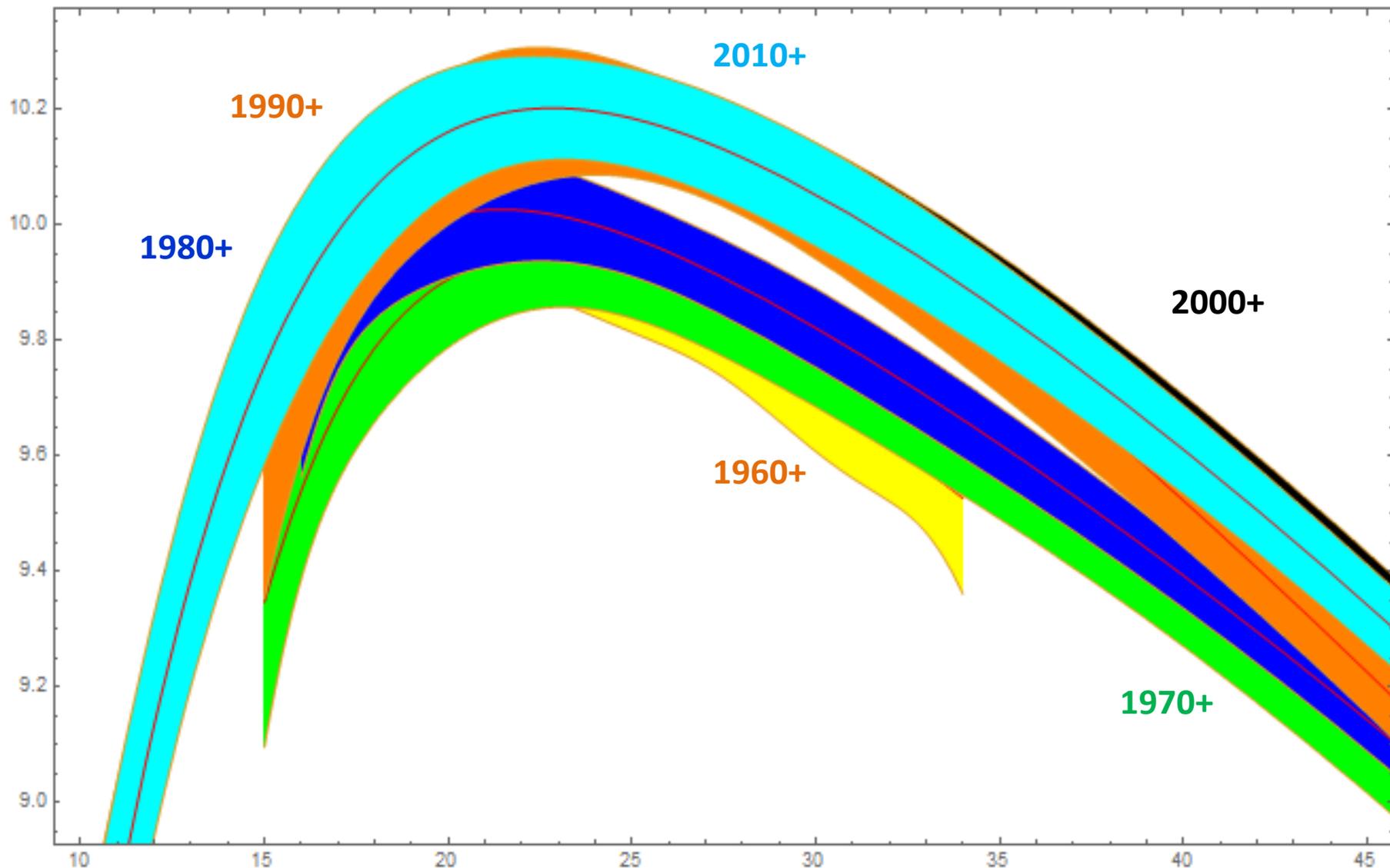


100m

# Expansion phénotypique

Moore, IC à 95%

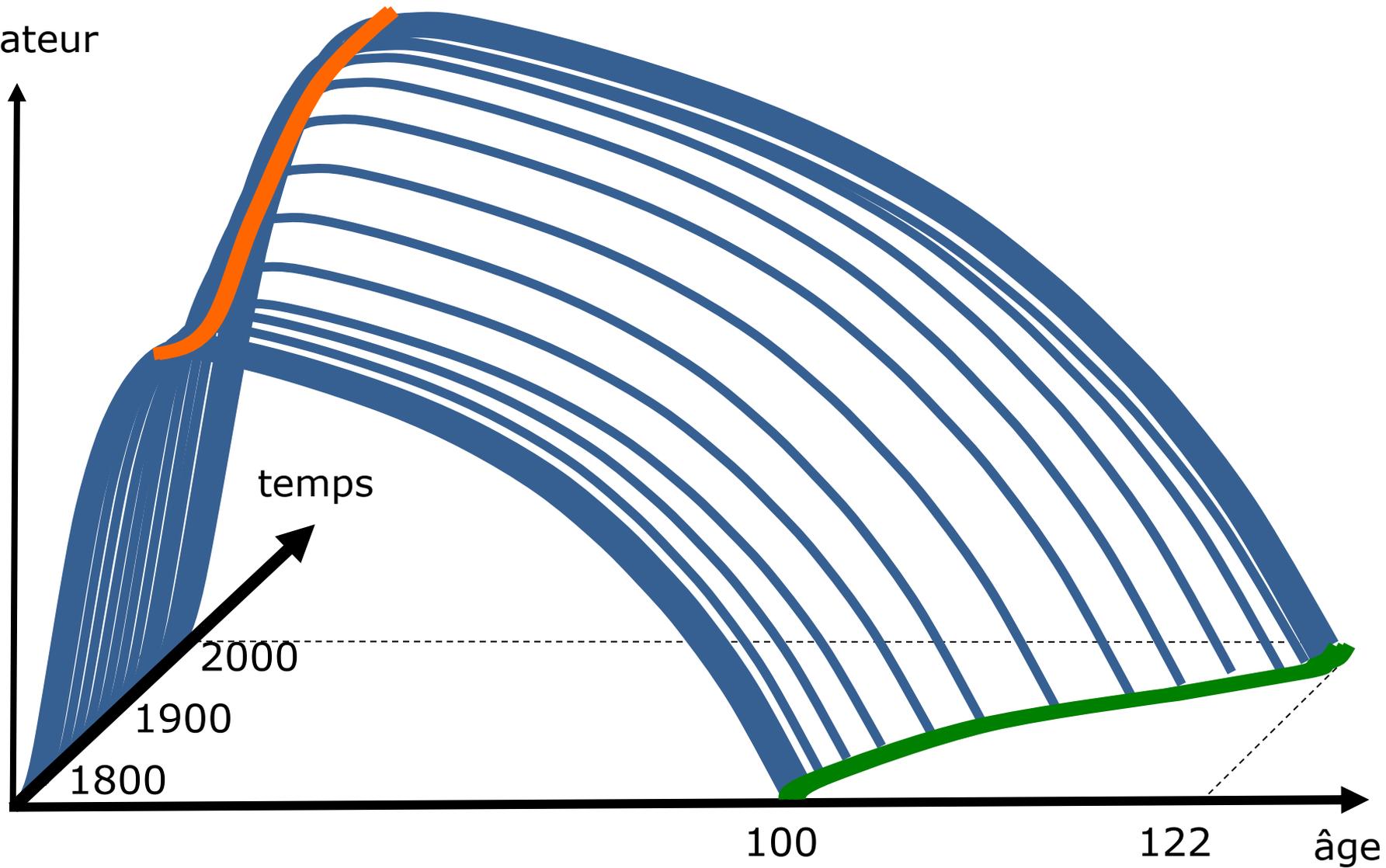
V Foulonneau  
Irmes 2015  
G Berthelot 2012  
Age 4,1001



# Expansion phénotypique

croissance homothétique depuis la révolution industrielle

indicateur



temps

2000

1900

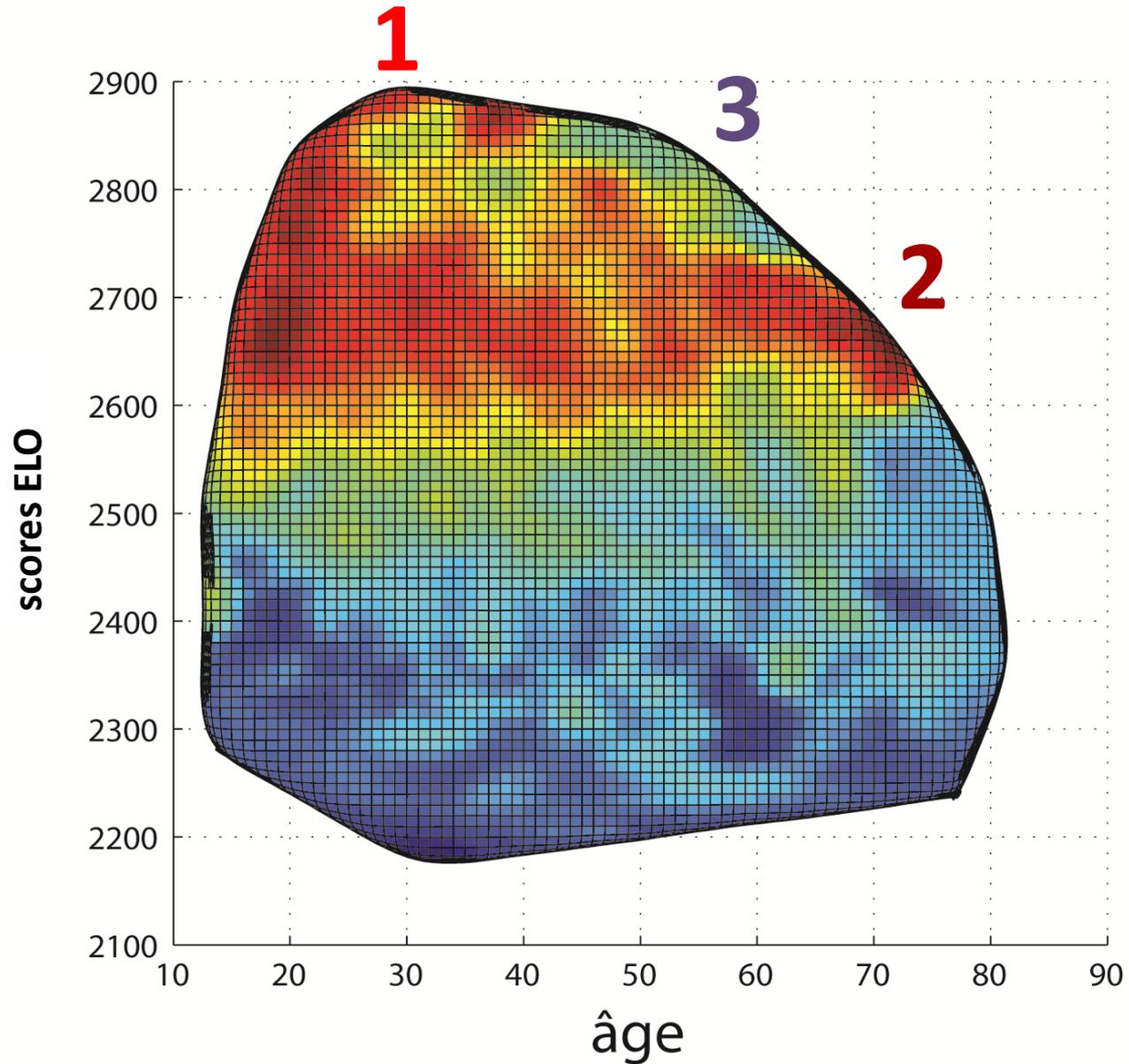
1800

100

122

âge

# échecs, âge & performance



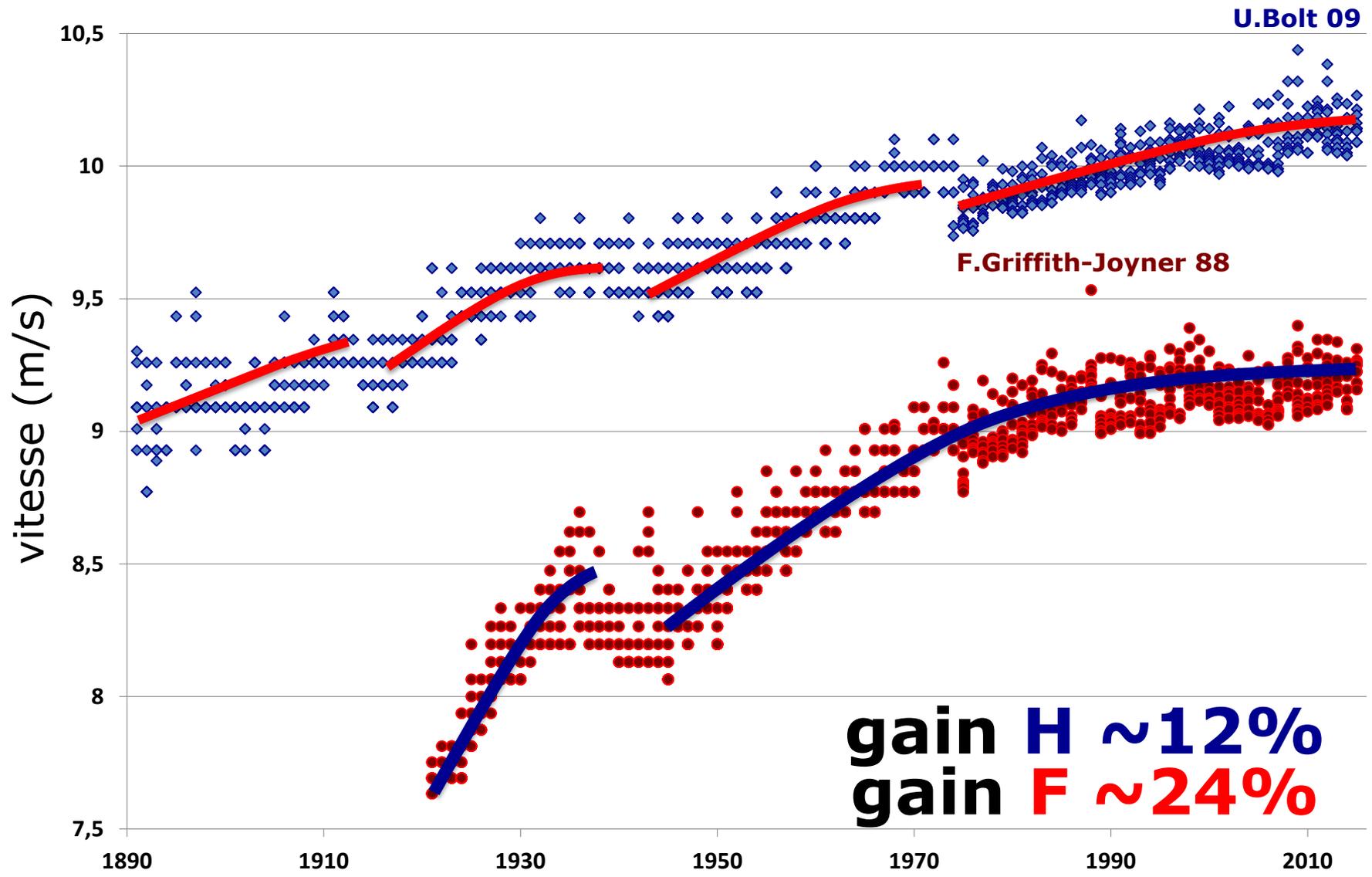
**LIIM**

**limites**

# Records du monde

- **Question:** Existe-t-il une limite physiologique ?

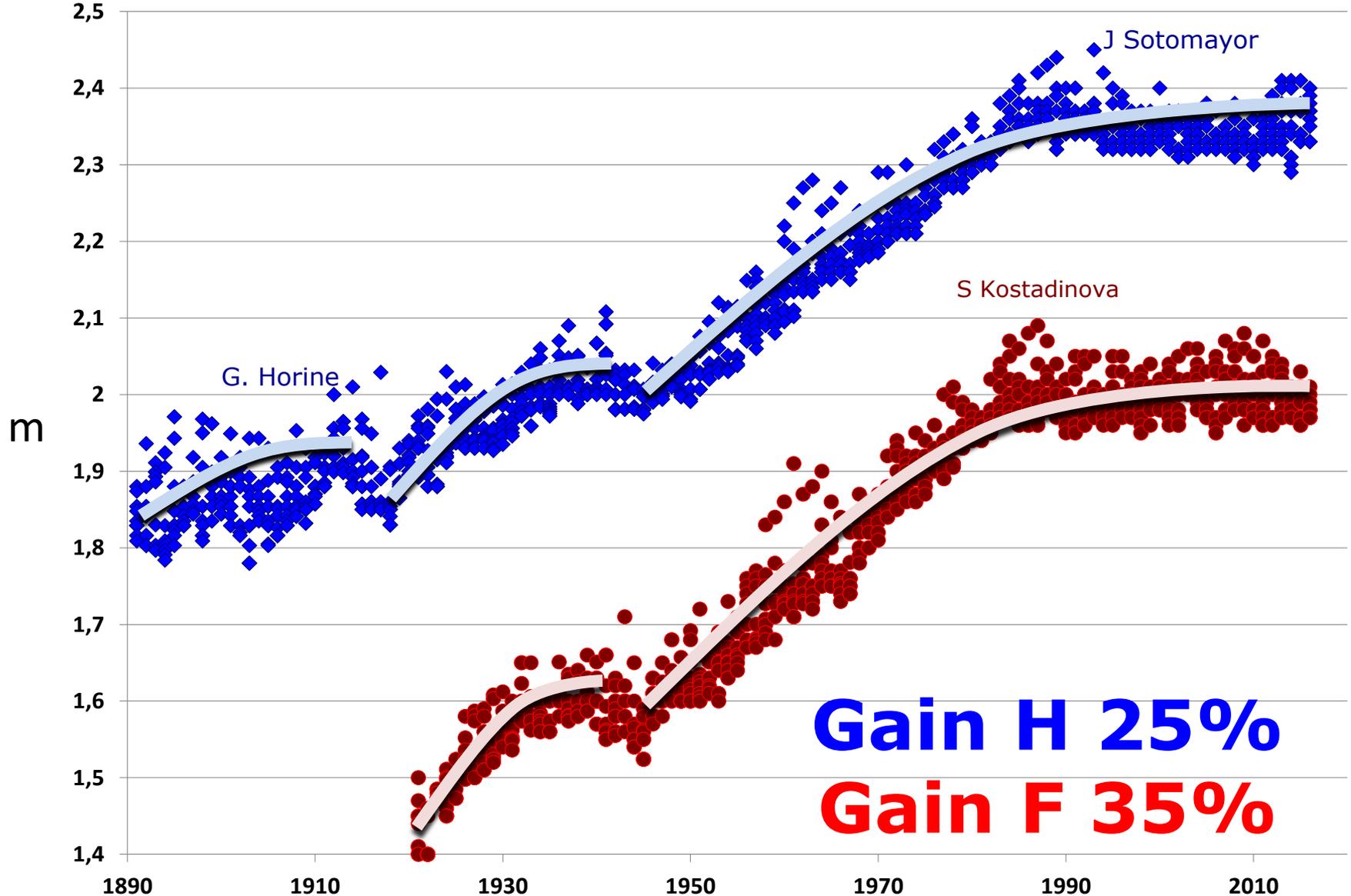




**gain H ~12%**  
**gain F ~24%**

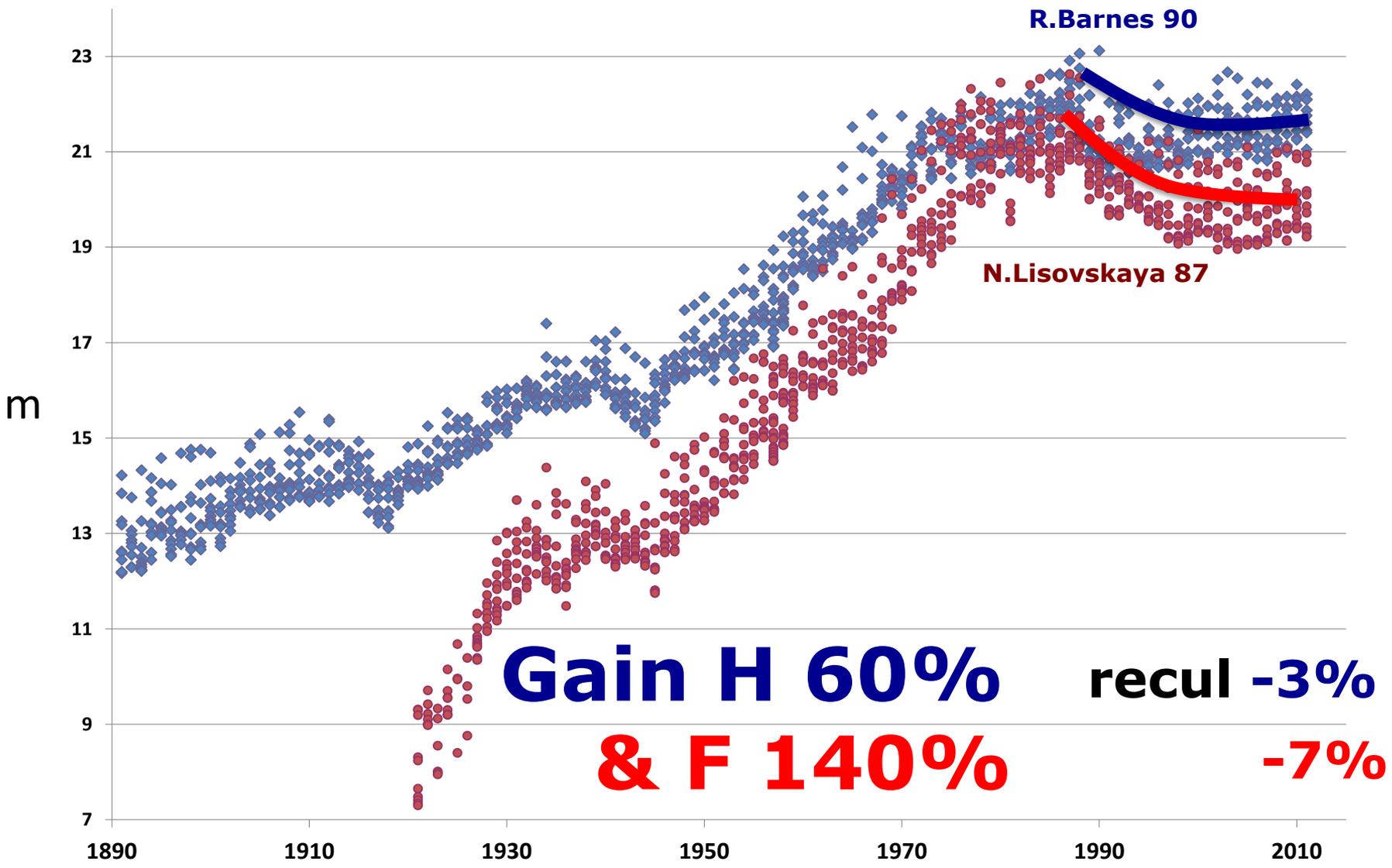
# saut en hauteur

altius



**Gain H 25%**  
**Gain F 35%**

# lancer du poids



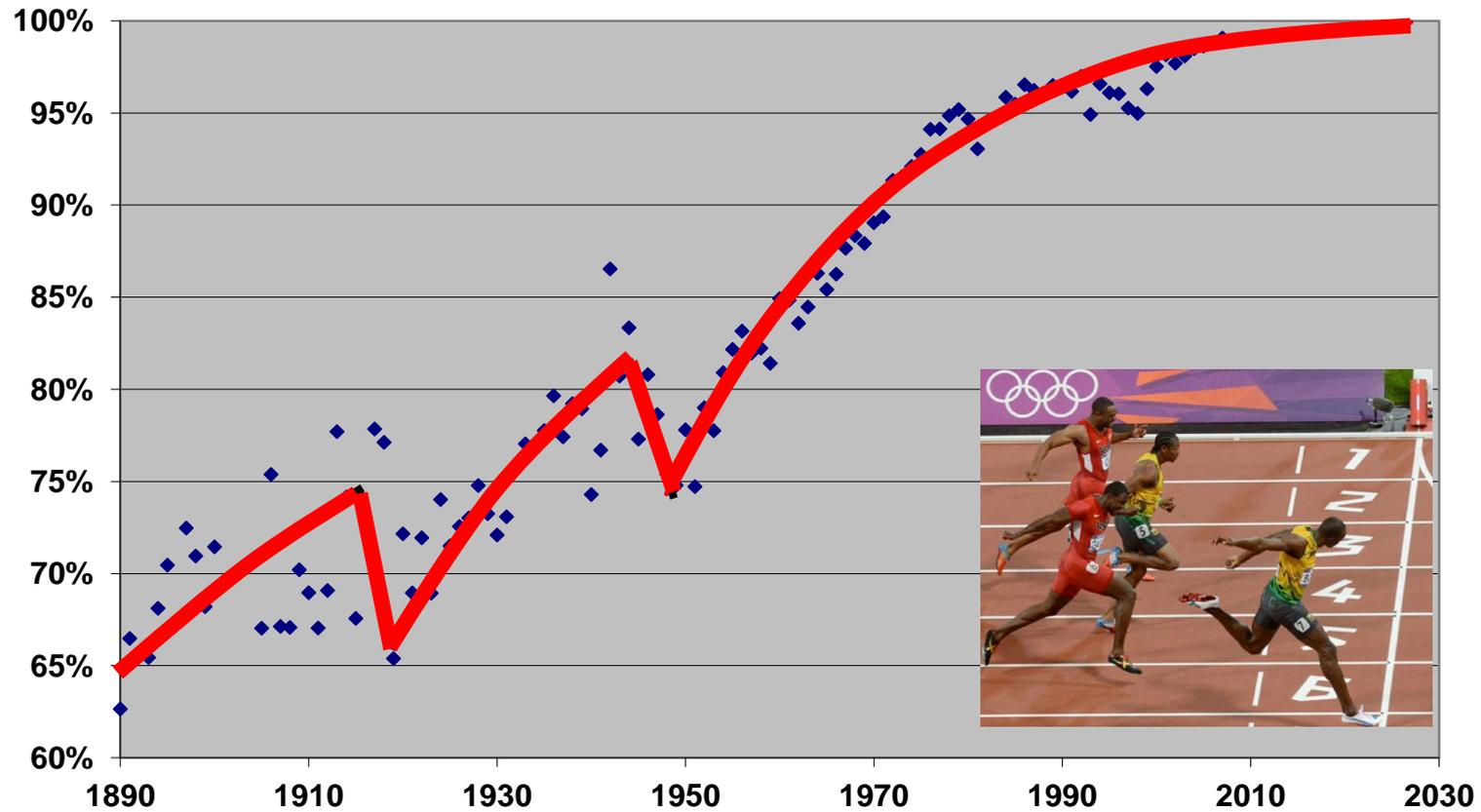
**Gain H 60%**

**recul -3%**

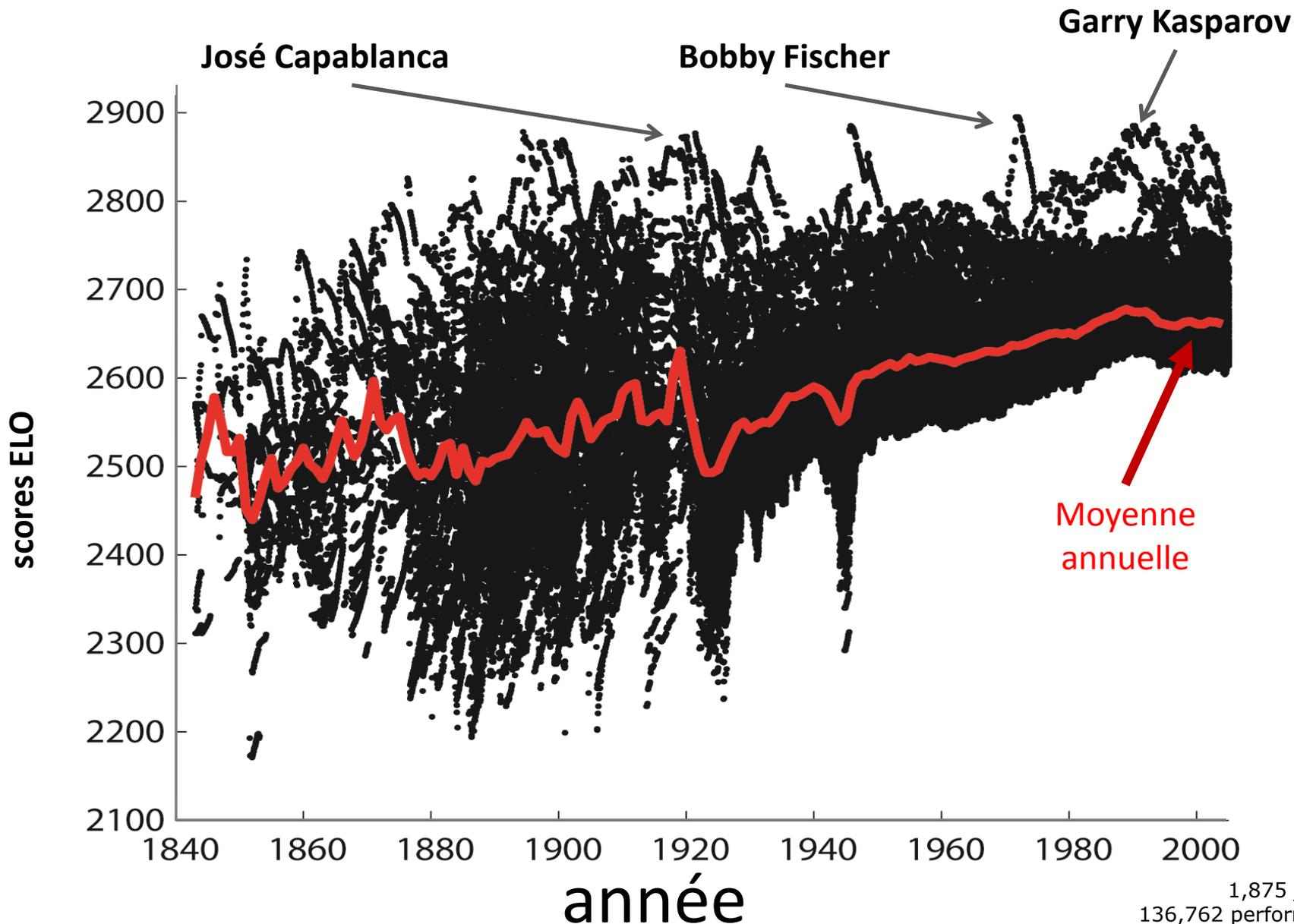
**& F 140%**

**-7%**

## 3260 records mondiaux

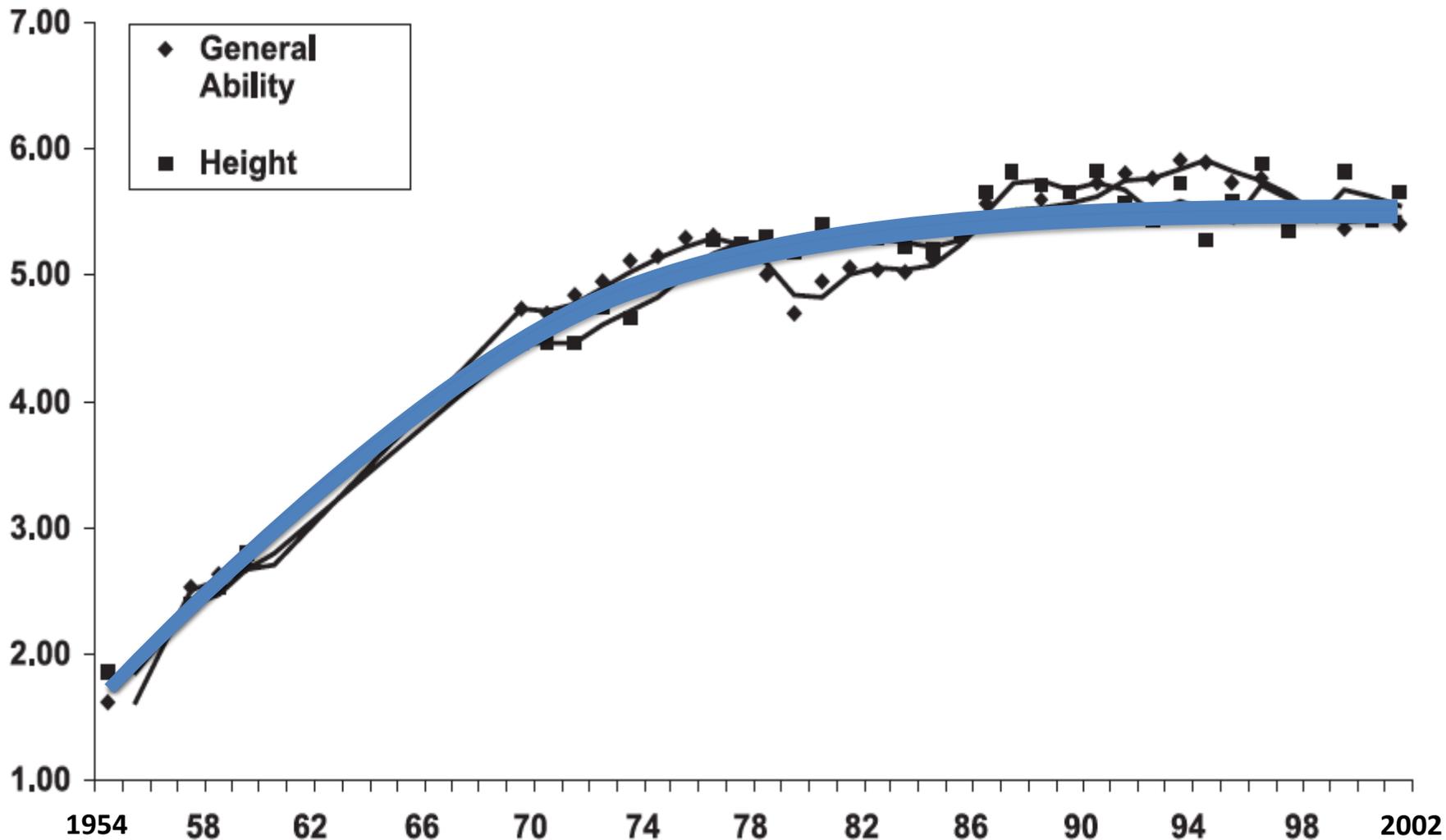


# échecs & performances



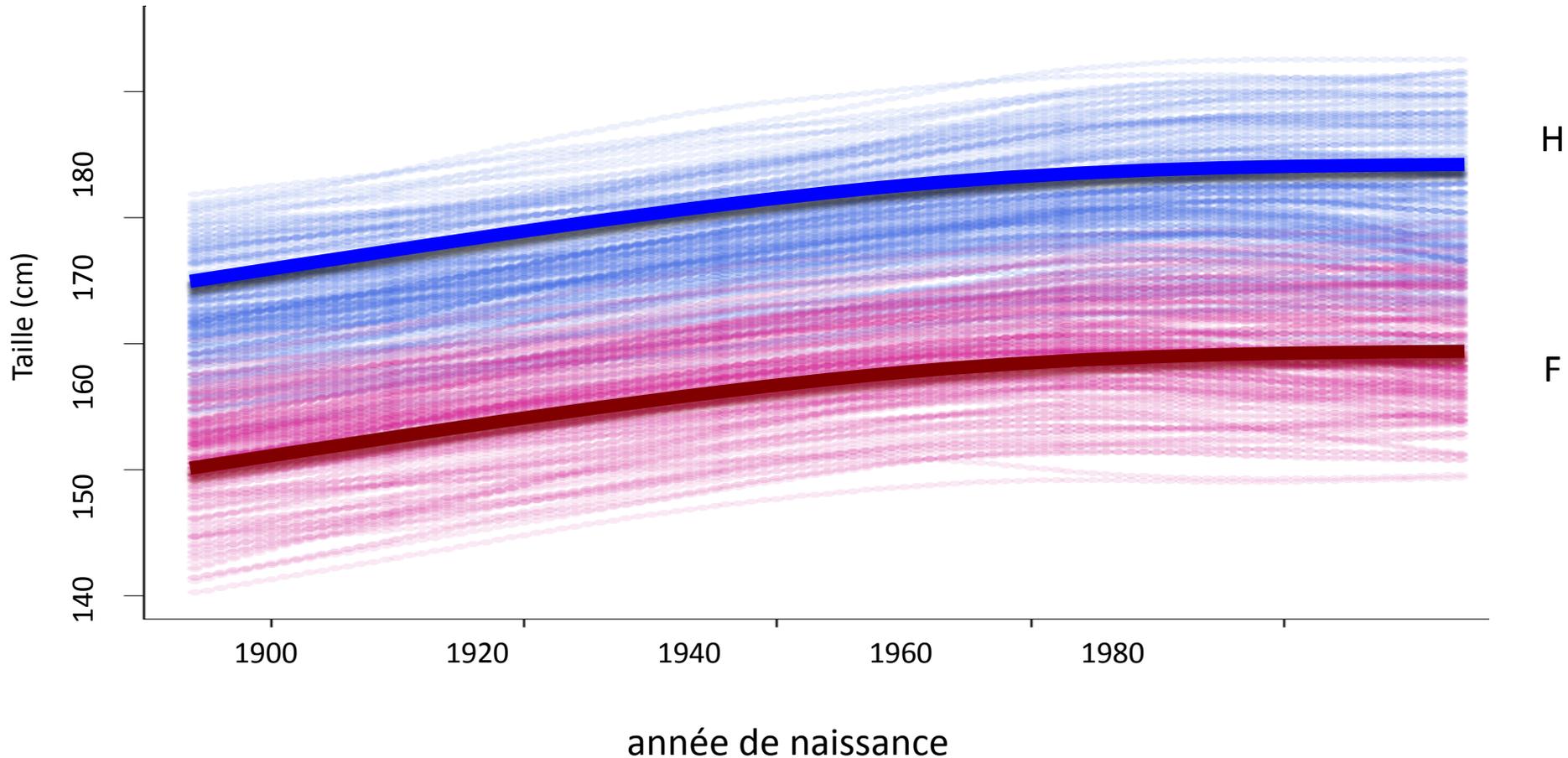
1,875 joueurs  
136,762 performances  
**Top 100 : 1843 - 2004**  
<http://www.chessmetrics.com/cm/>

# intelligence & height scores of Norwegian conscripts over half a century

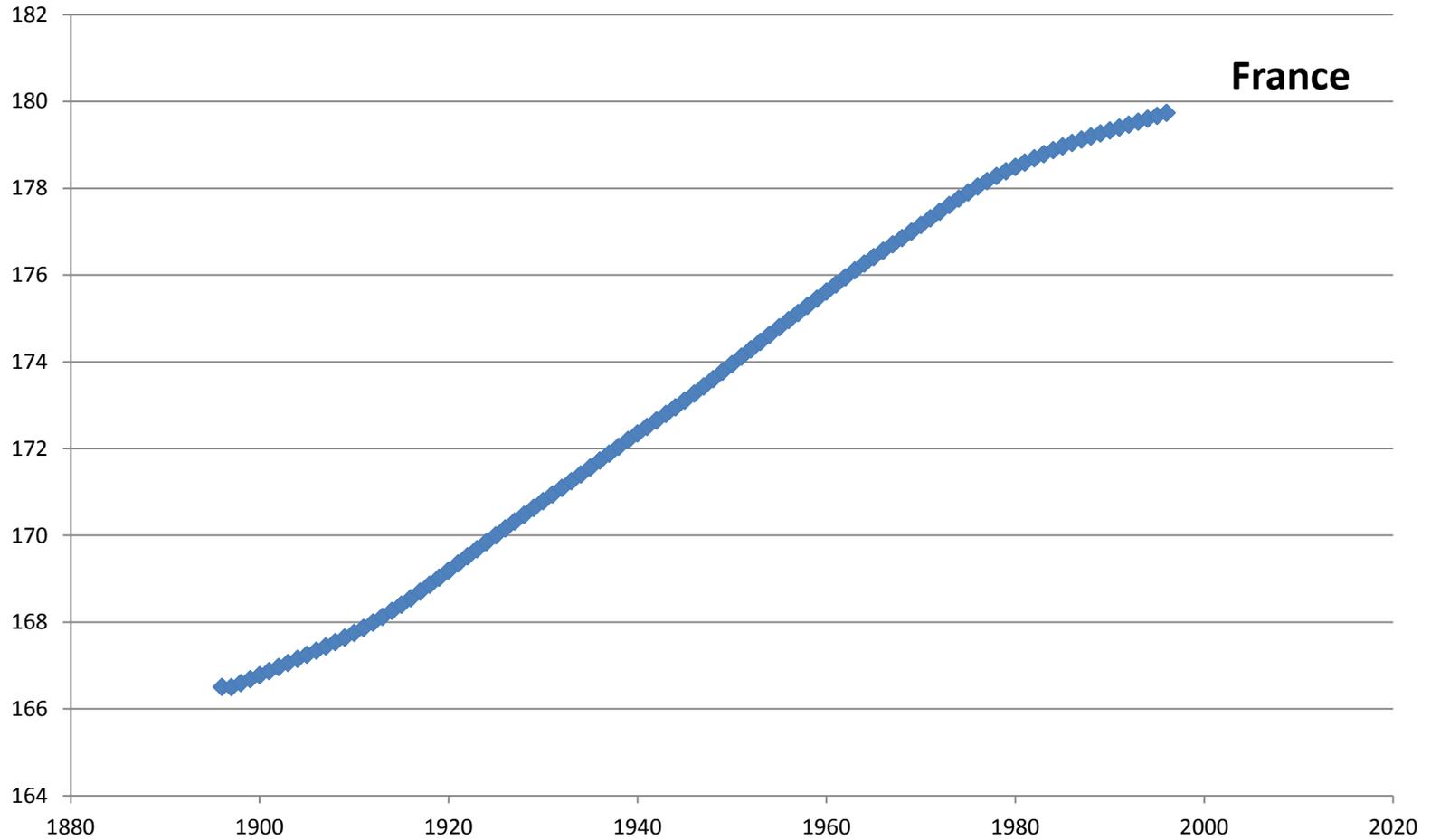


Mean standing Height and mean General Ability  
(both in z scores units +5) by year of testing

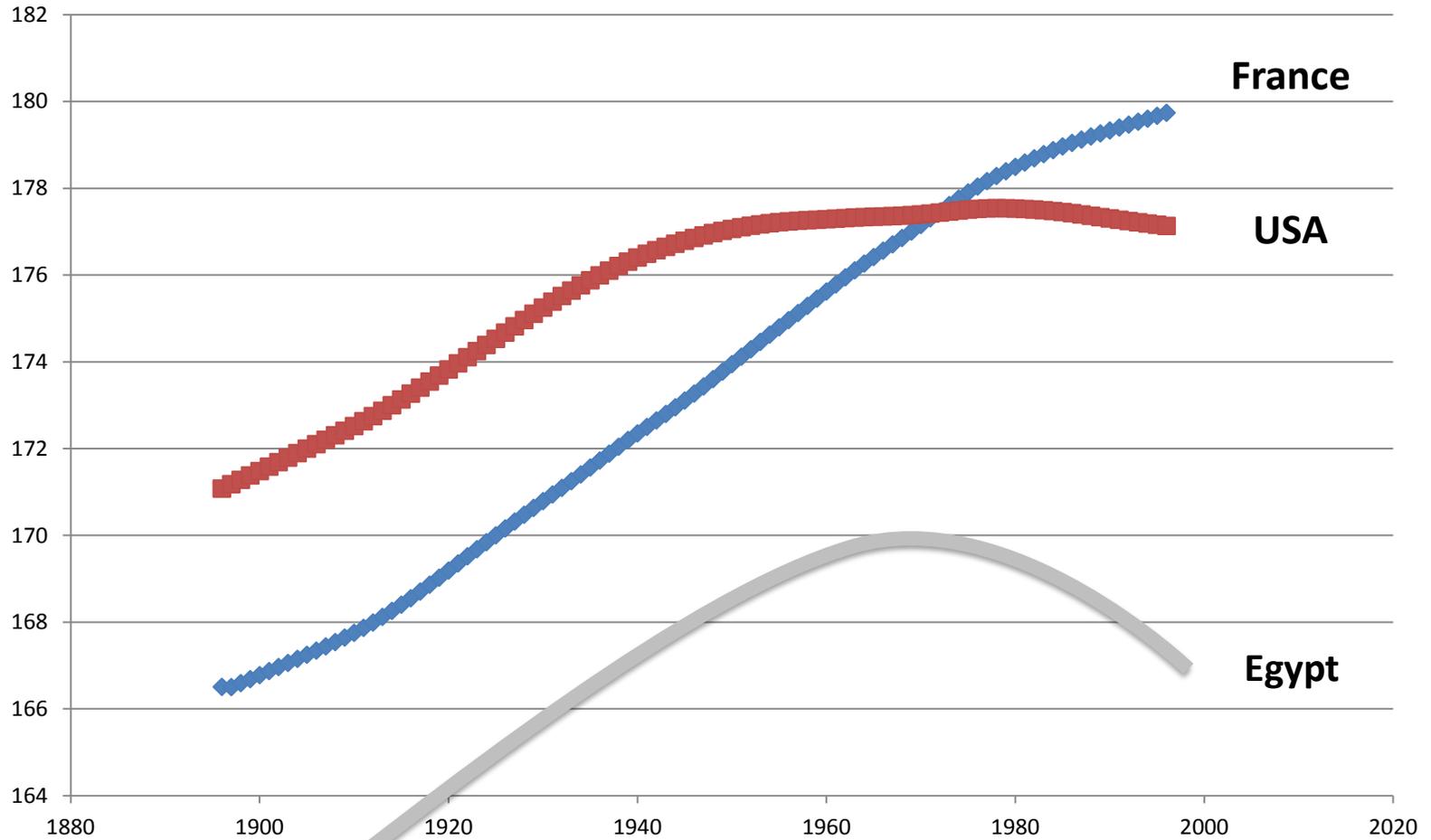
# stagnation de la taille à l'âge adulte dans les pays du monde 1896 - 1996



# Taille



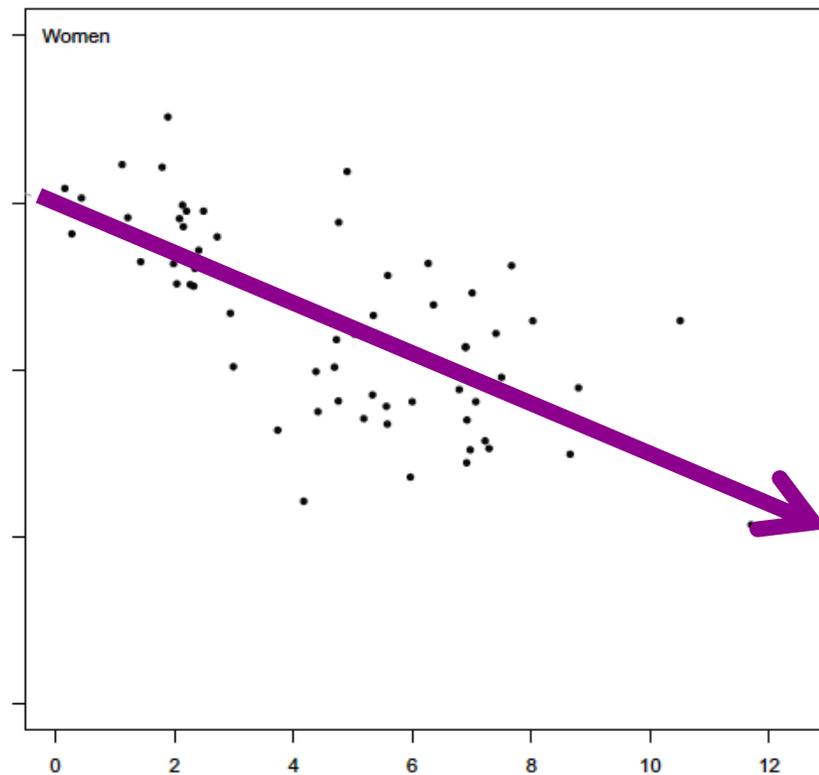
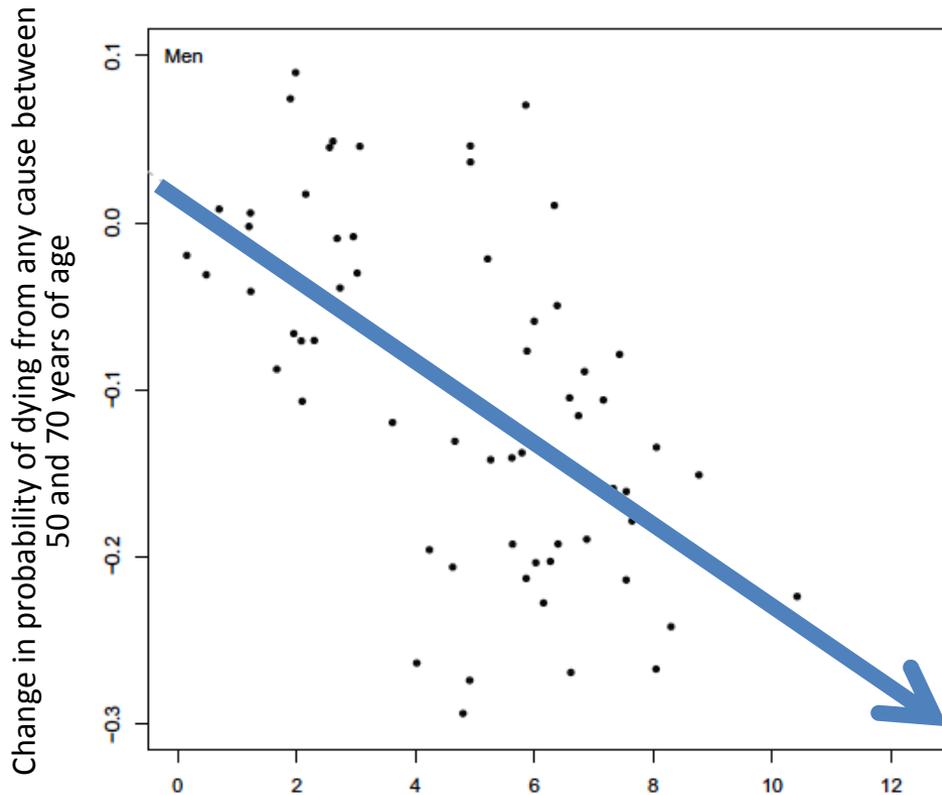
# Taille



# interaction biométrie - espérance de vie

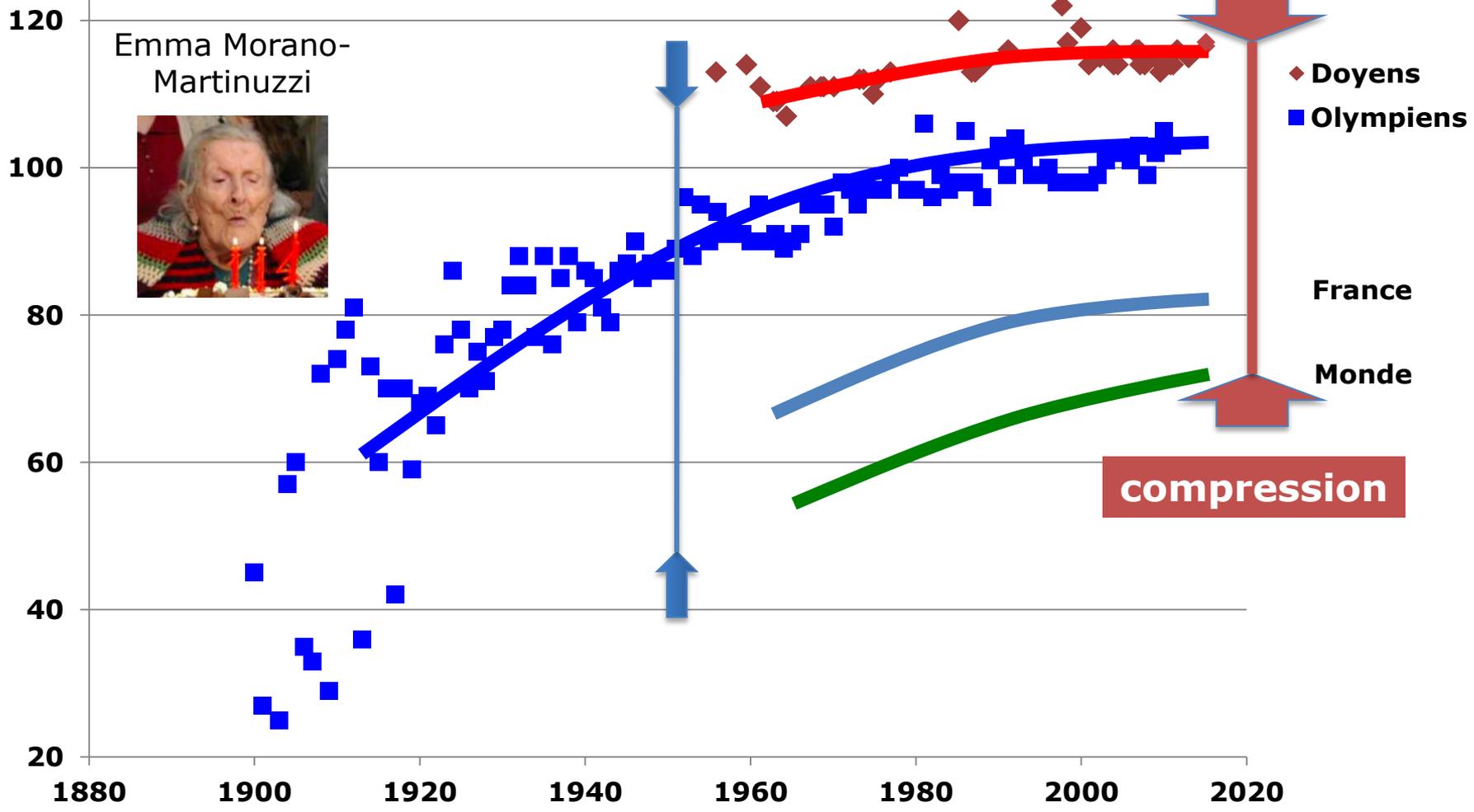
Hommes

Femmes



Change in adult height by country  
(cohorts born 1898 to 1946)

***ΔTaille et Mortalité - Monde***



Emma Morano-Martinuzzi

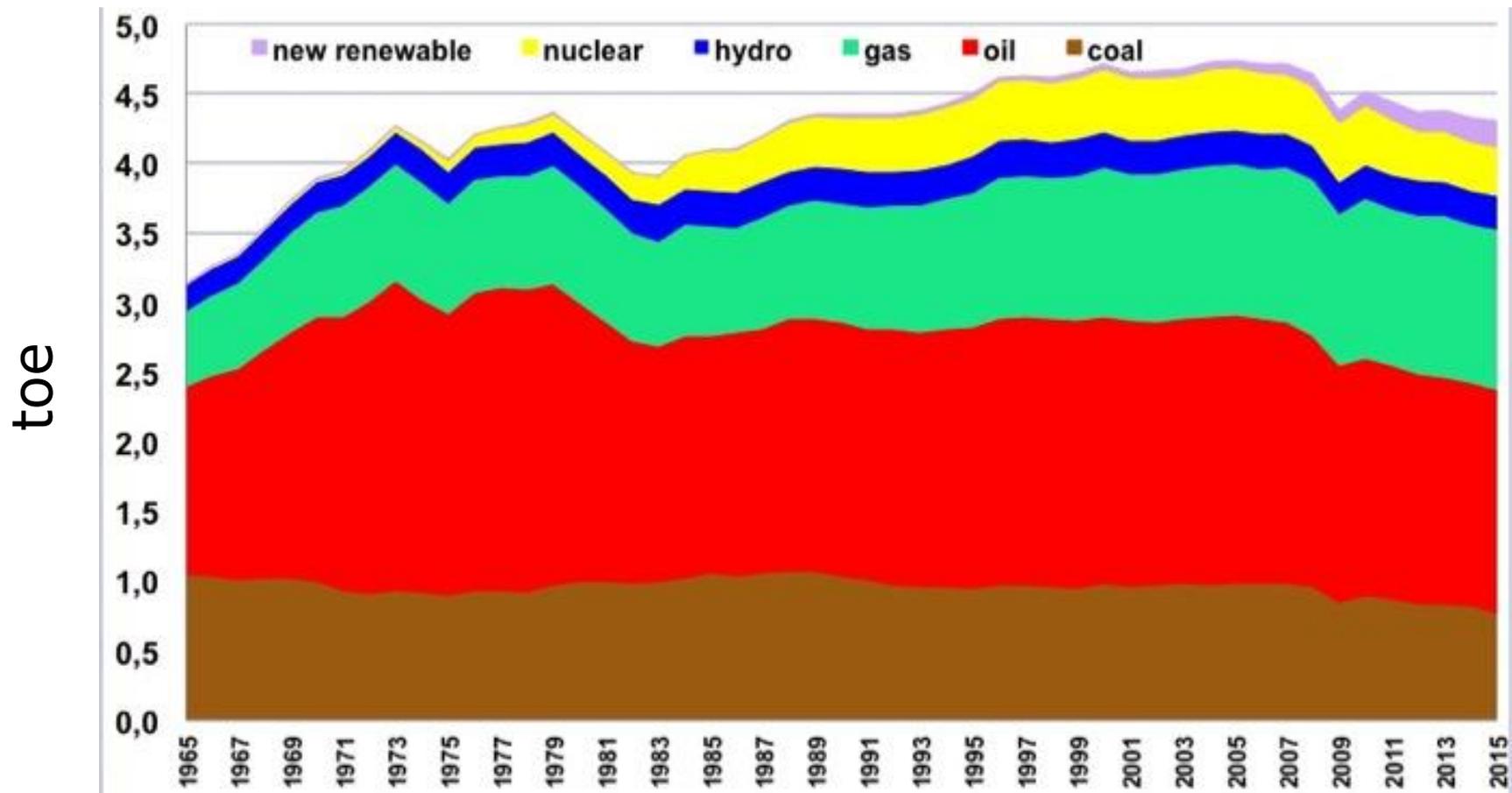


◆ Doyens  
 ■ Olympiens

France  
 Monde

**compression**

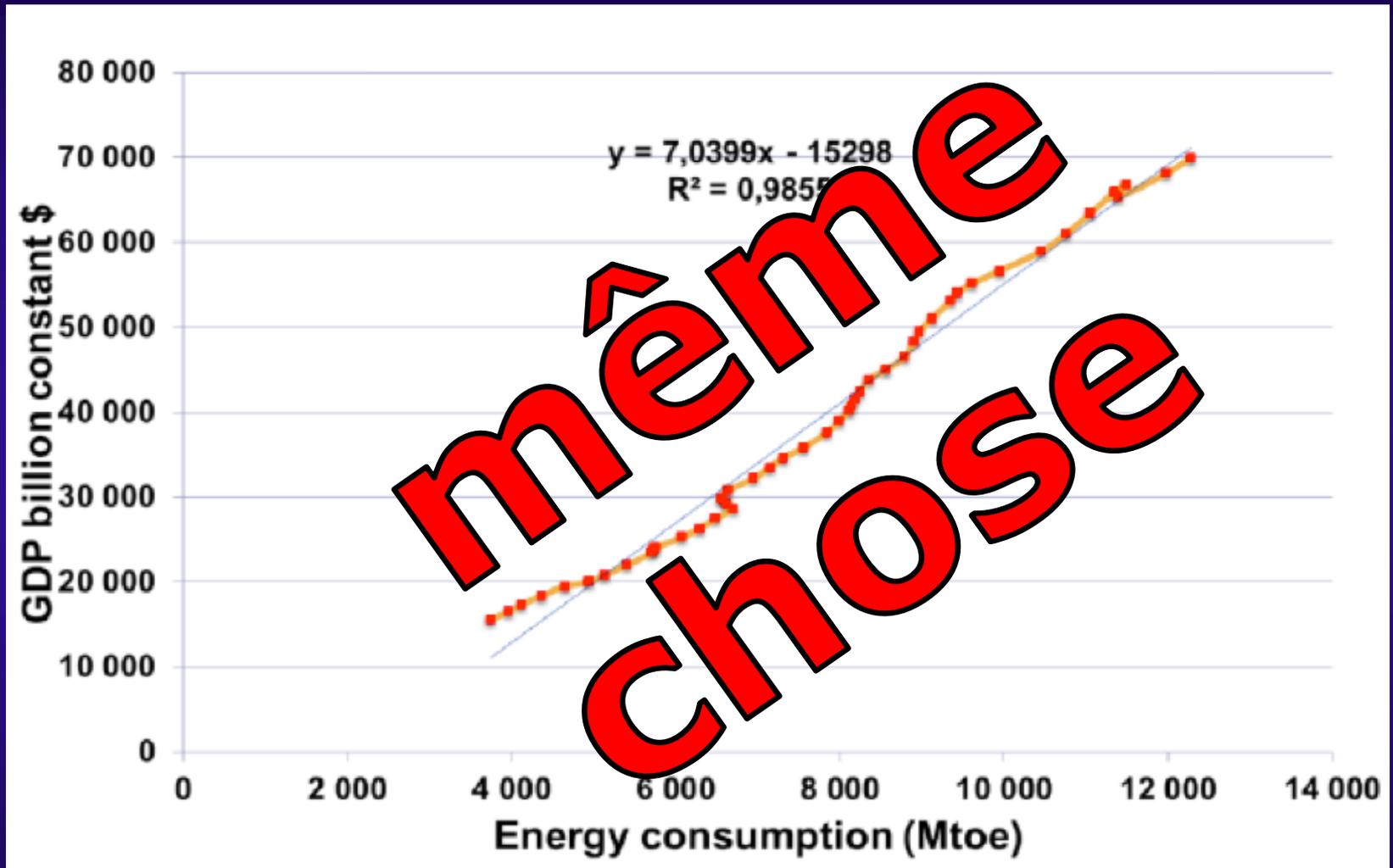
# consommation d'énergie **per capita** OCDE 1900-2015



[http://www.manicore.com/documentation/transition\\_energie.html](http://www.manicore.com/documentation/transition_energie.html)

IEA World Outlook, BP Statistical Review & UN 2016

# énergie / économie



Depuis les années 60, le rapport entre consommation d'énergie et PIB mondial est  $\sim$  constant (un point: une année)

Au niveau mondial, l'efficacité énergétique n'a pas été améliorée depuis 50 ans

JM Jancovici

<http://www.manicore.com/documentation/energie.html>

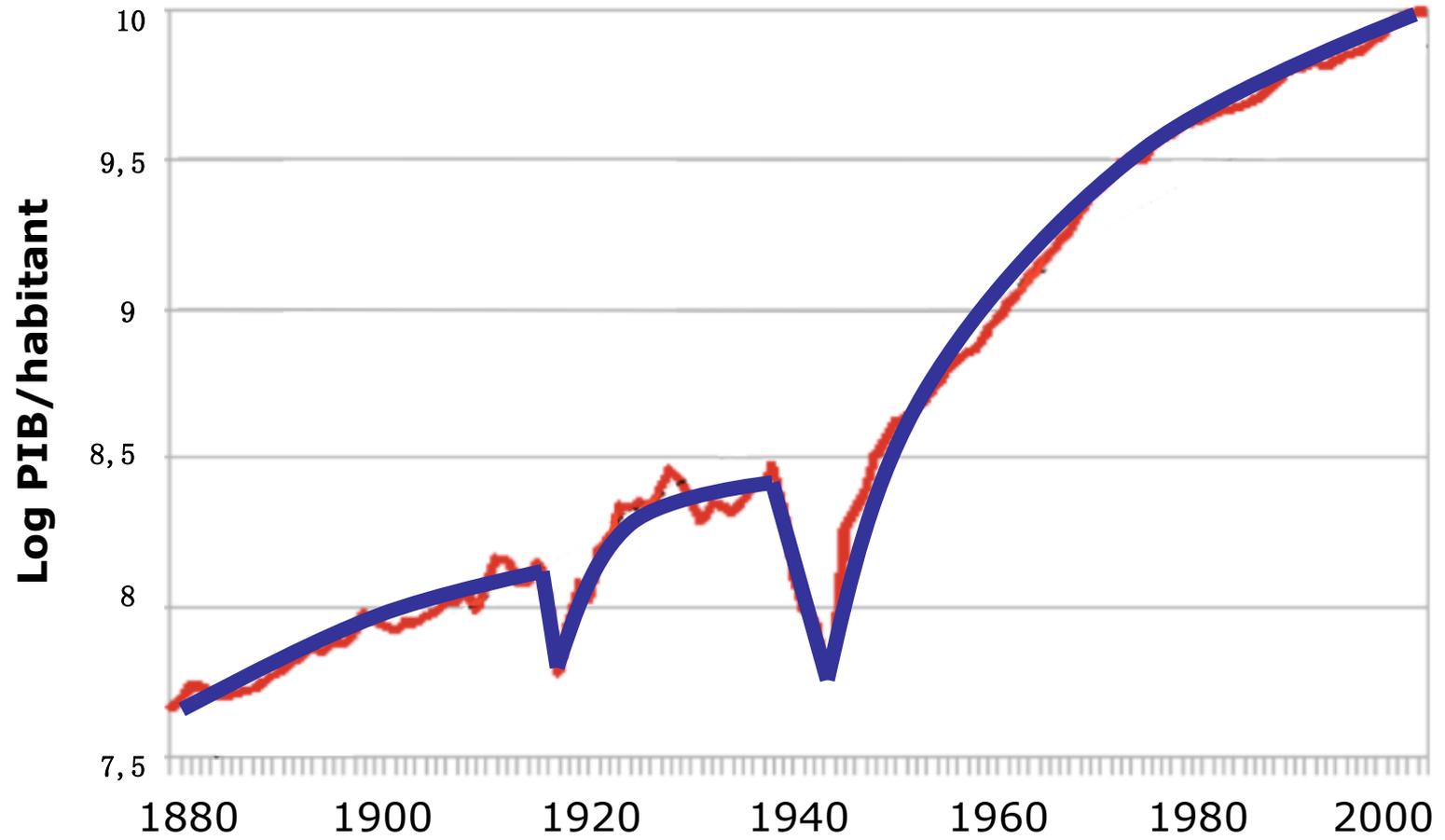
Gaël Giraud, CNRS

Le Monde 19.4.14

expansion économique

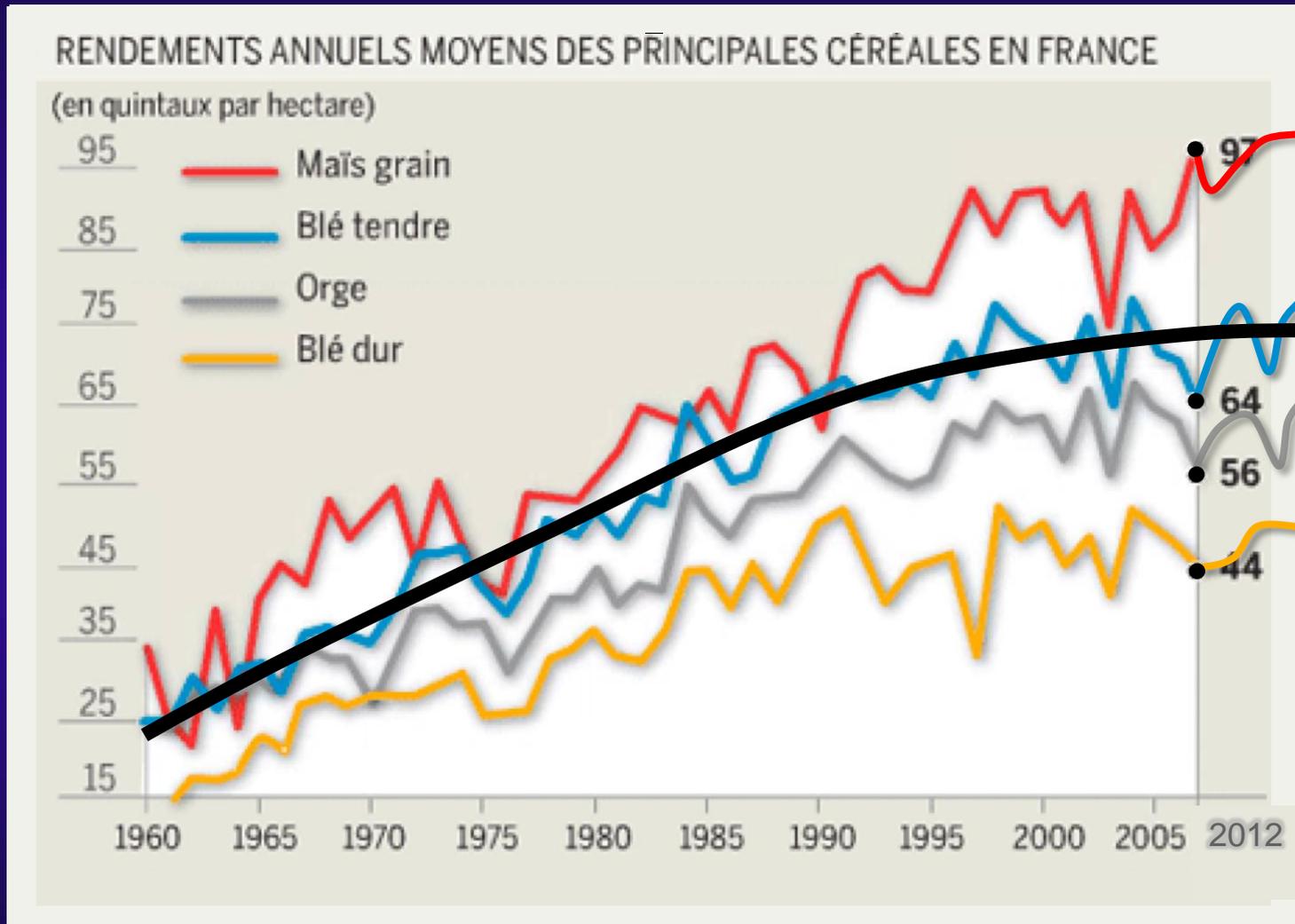
optimisation des potentiels

taux de croissance du PIB



# rendements céréaliers

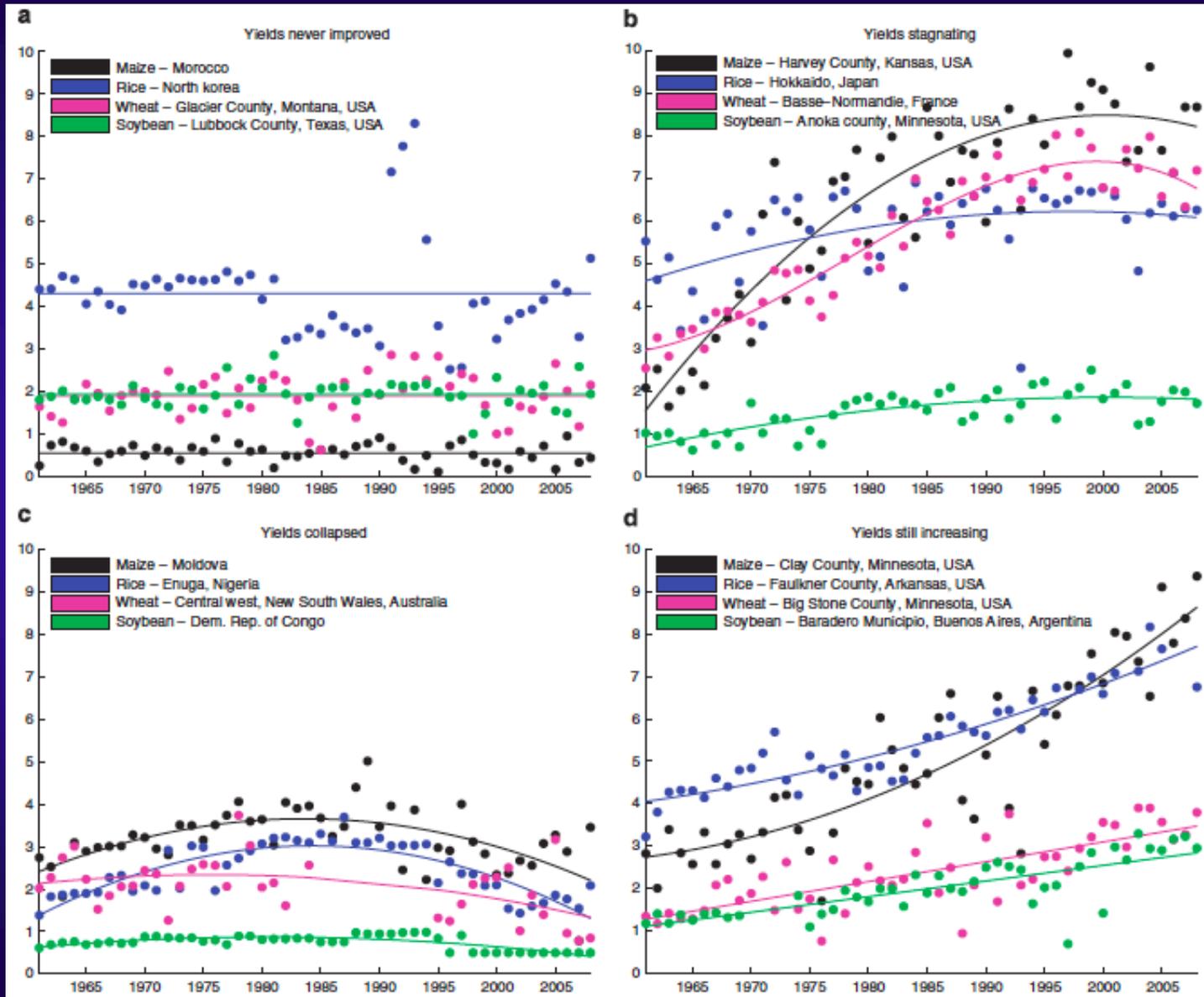
France



stagnation depuis 15 ans

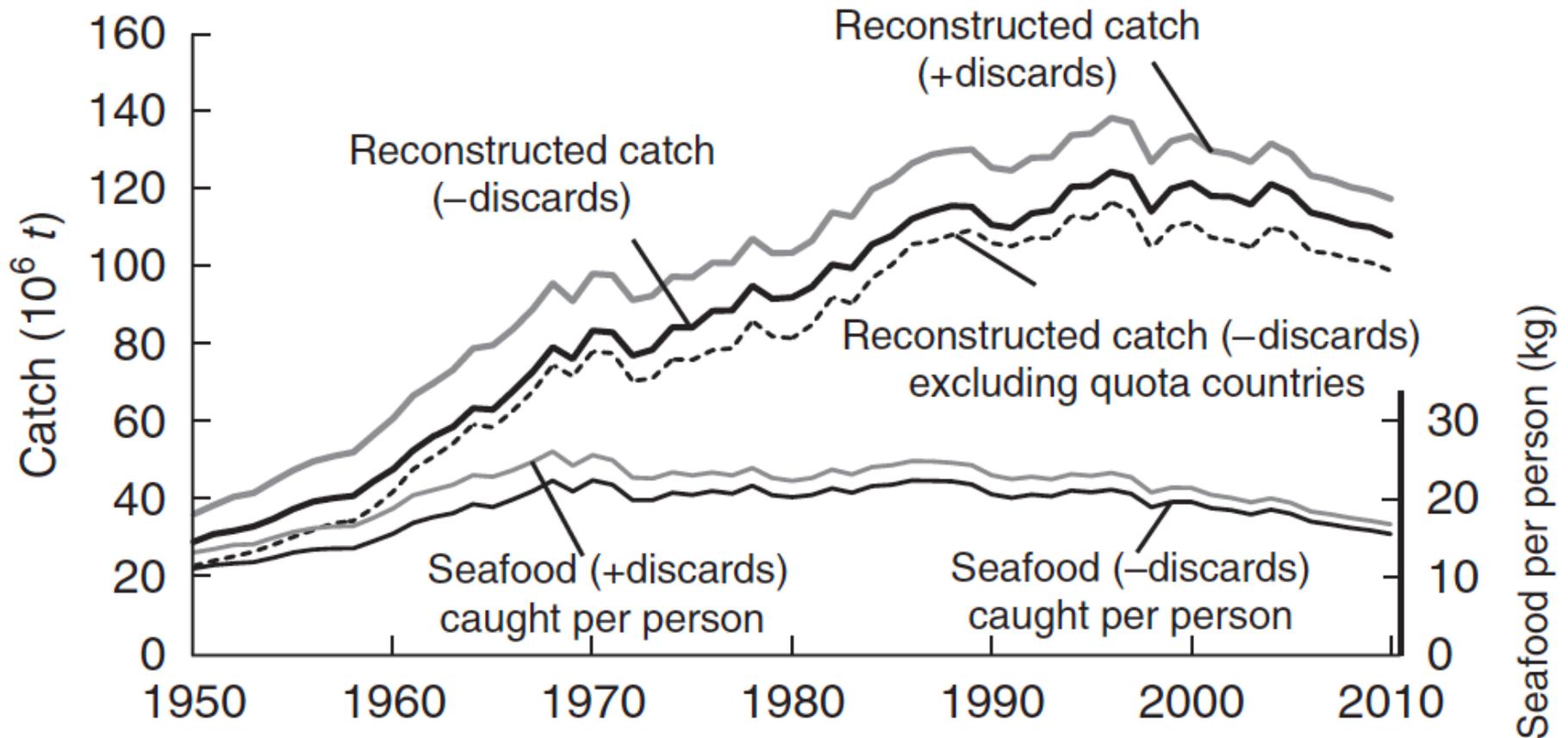
# rendements céréaliers

Monde



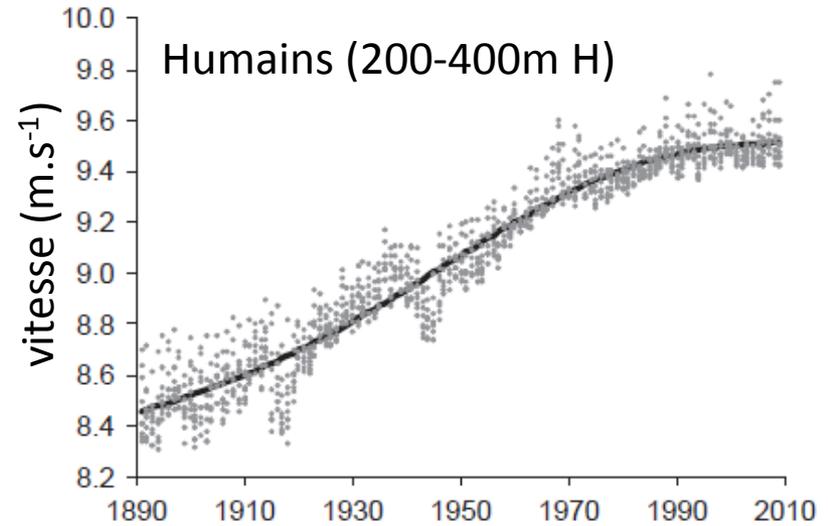
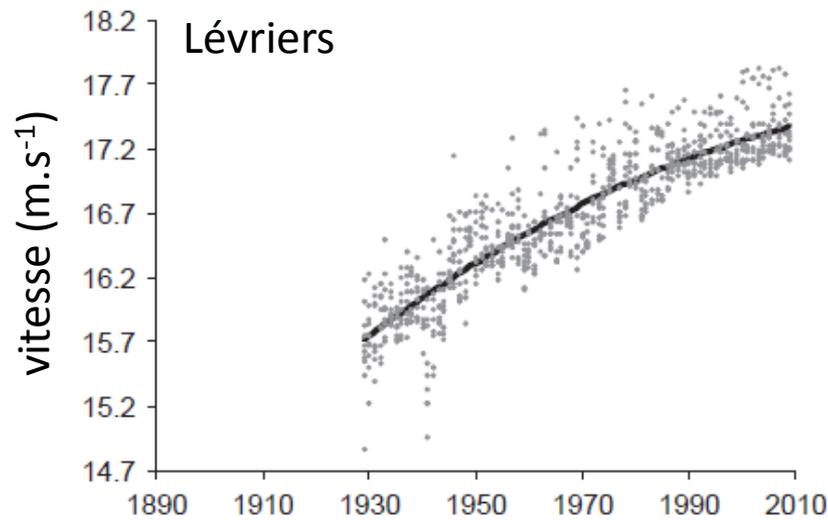
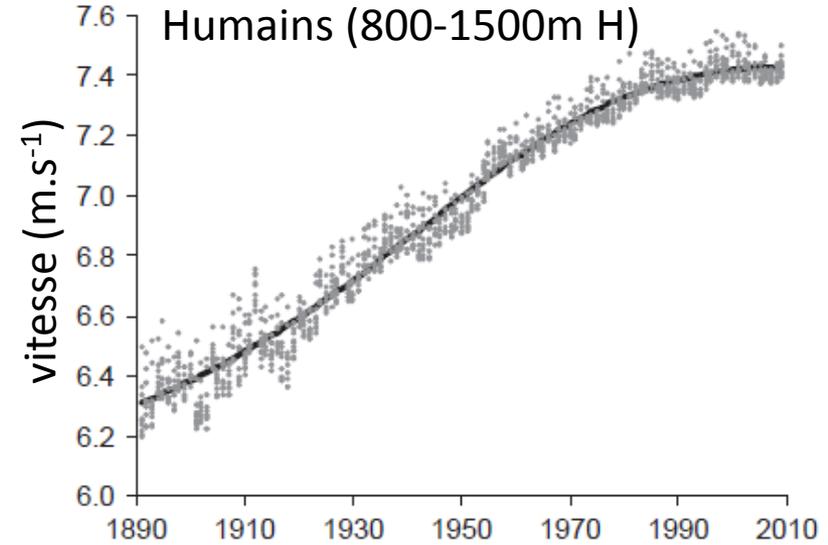
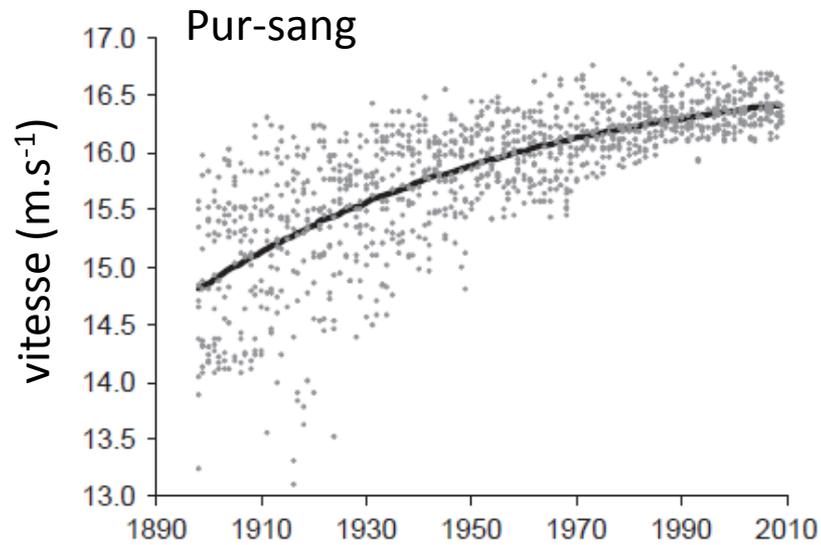
in  
24-39%  
of maize  
rice-, wheat  
and soybean  
growing areas,  
yields  
never improved  
stagnated or  
collapsed

# les prises de pêche déclinent



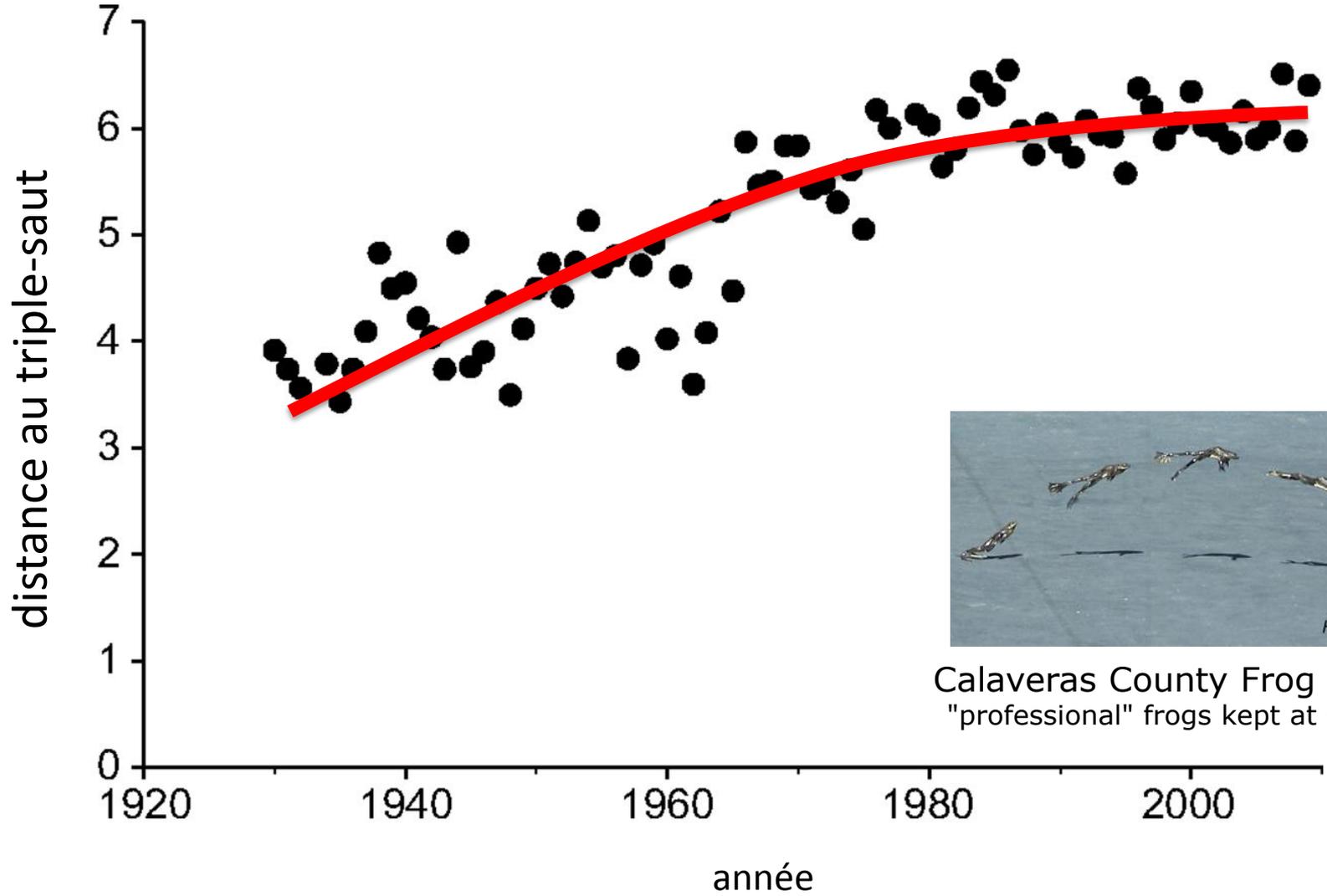
# autres espèces (1)

Un comportement identique chez les espèces 'optimisées' par l'homme [1]



1. Desgorces et al. J. Evol. Biol. (2012)

# autres espèces (2)



Calaveras County Frog Contest  
"professional" frogs kept at warm T°

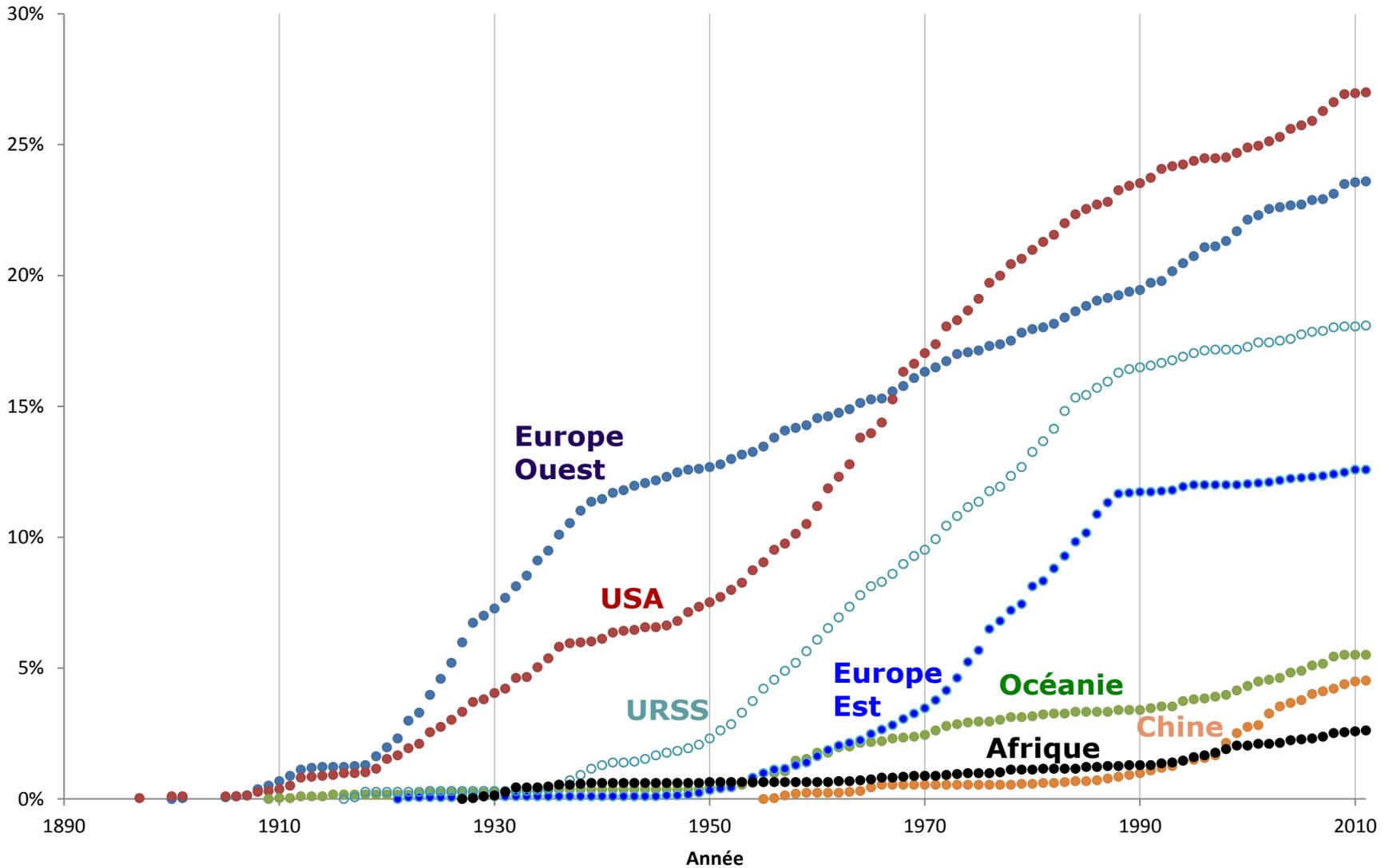
1. HC Astley et al. (2013) J. Exp. Biol. 216 (3947)

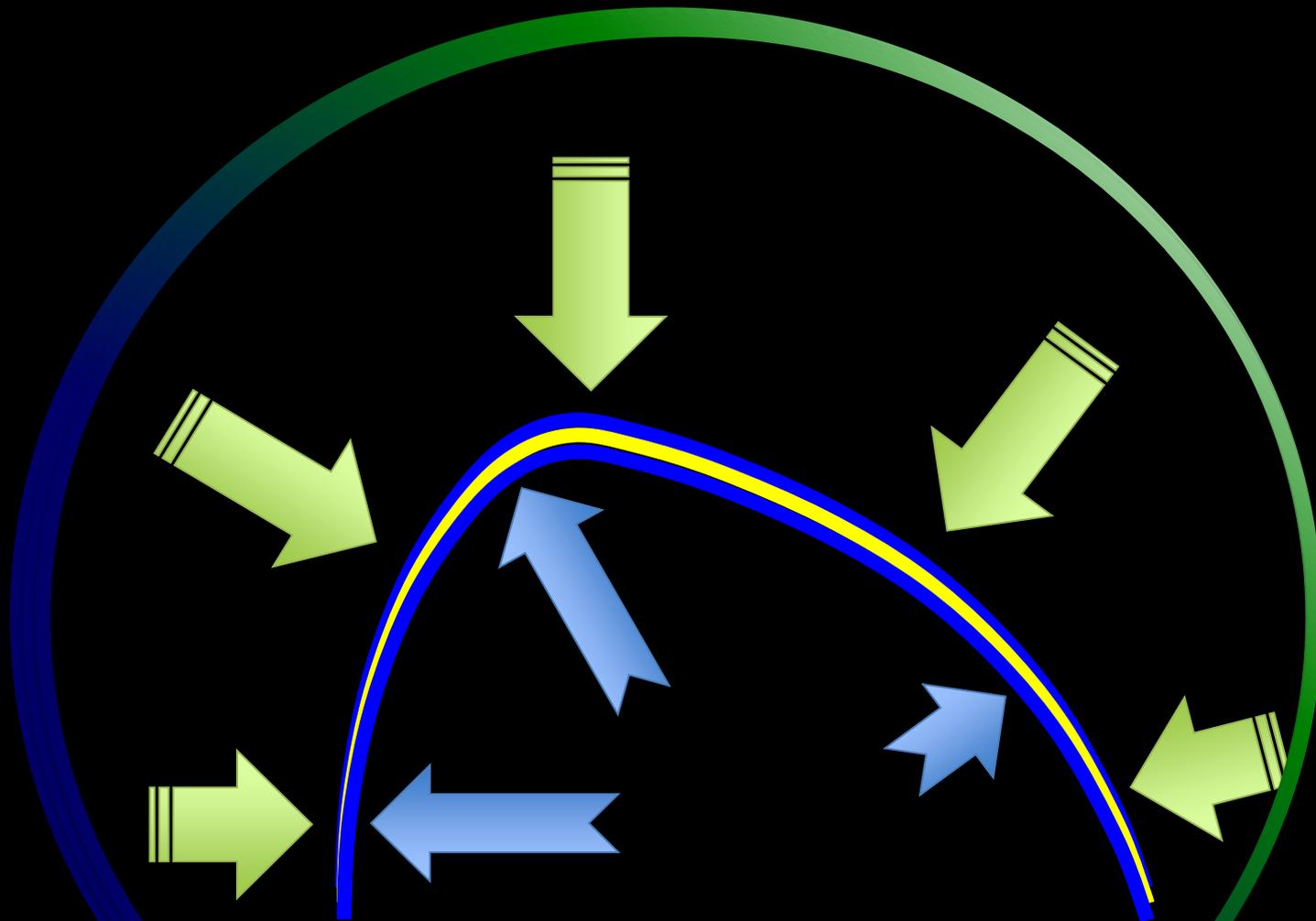
**GÉO**

**POOL**

# Géopolitique & Performances Humaines

## TAC Records du Monde 1896 - 2011



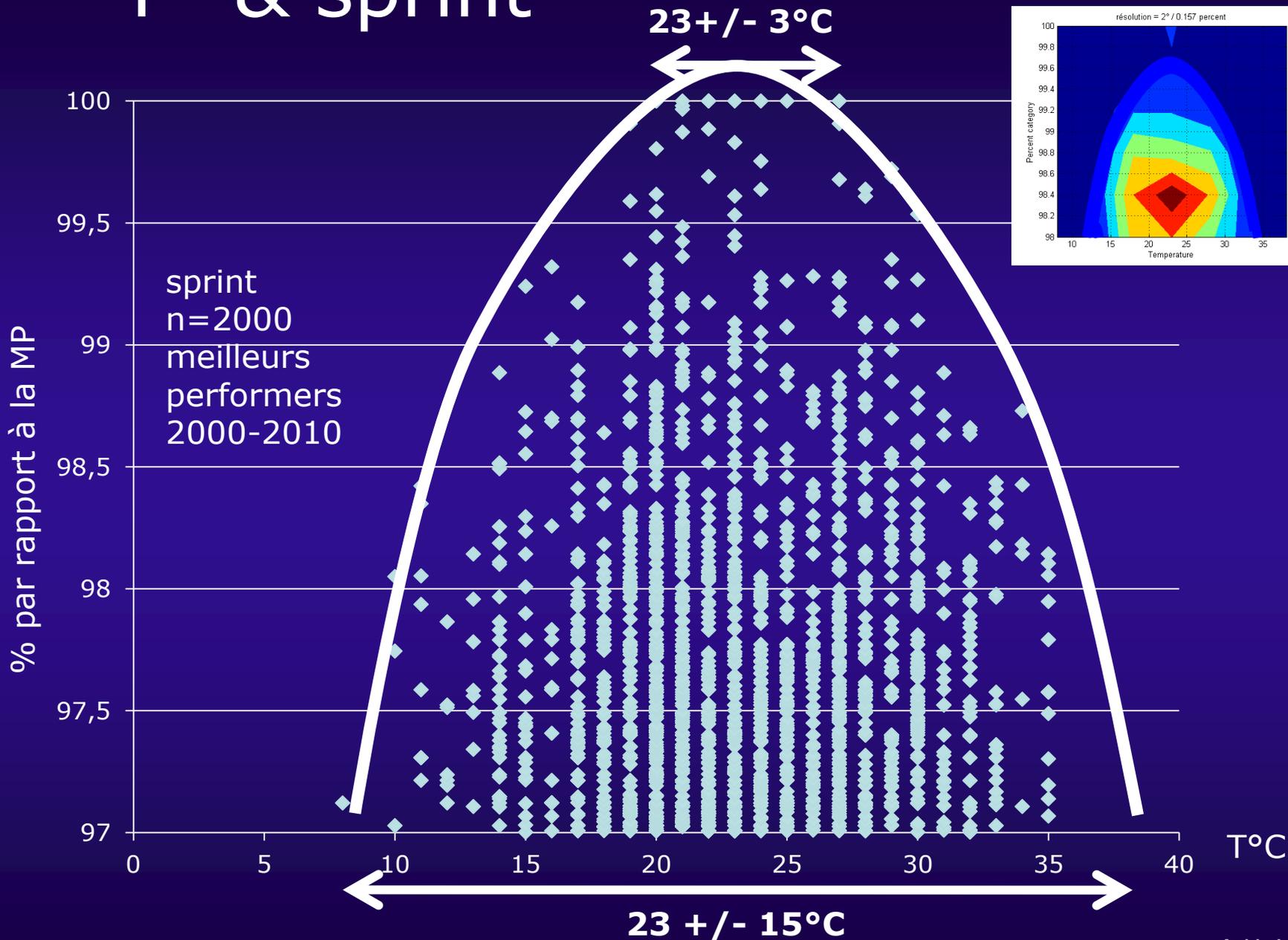


limite = lieu de l'interaction entre  
auto-organisation interne & contraintes externes

Ti

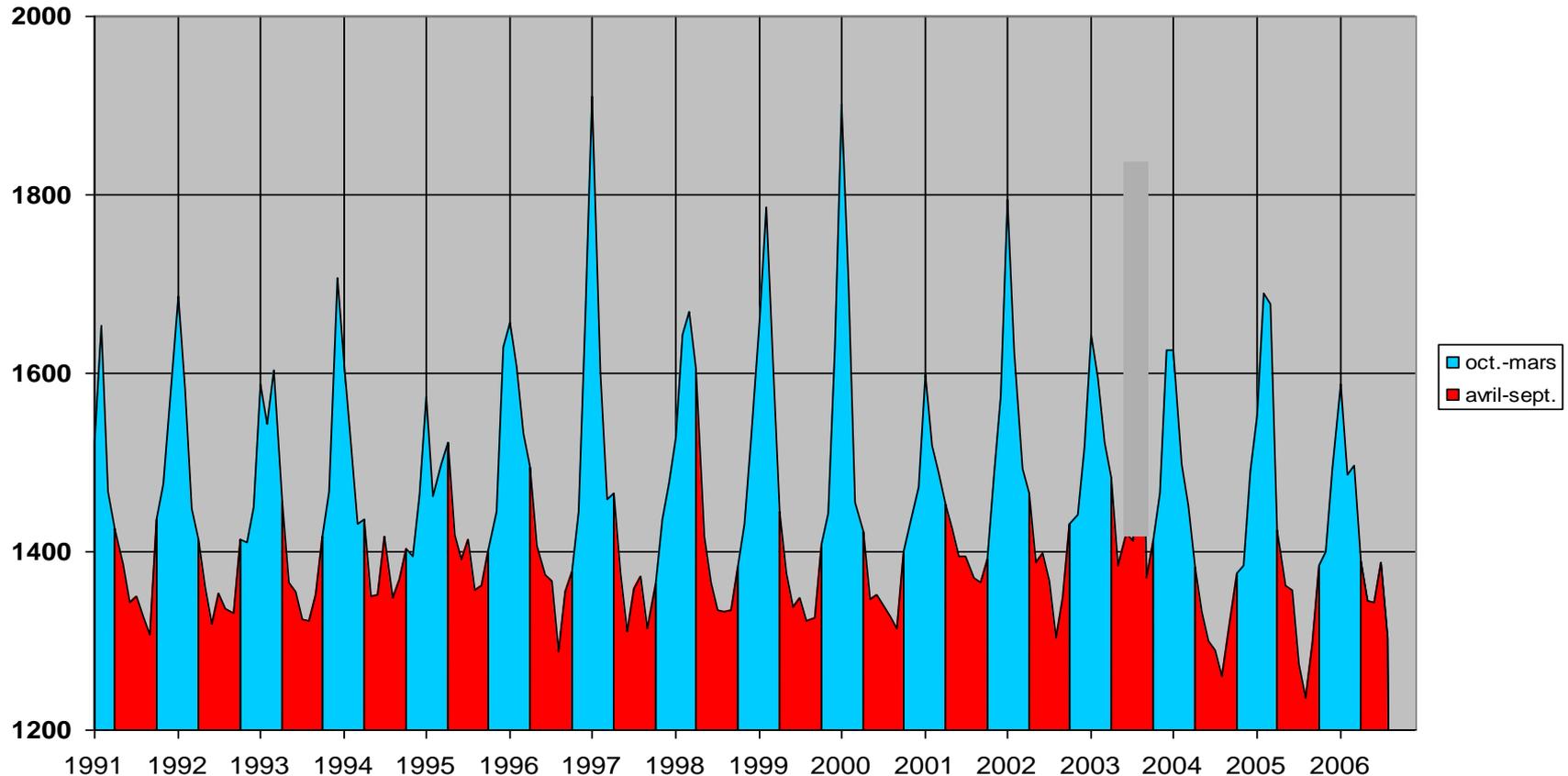
**température**

# T° & sprint



# rythme de mortalité: maximum en hiver minimum en période tempérée

## Nombre de décès quotidiens en France



**Inversion  
2003**

# températures, performance et survie

WA Guy, Seasons and mortality, *J Stat Soc London*, 1843

E Huntington, *Weather & health* New York, 1930

M Gover, *Public Health Rep*, 1938

E Rogot, *Am J Epidemiol*, 1975

JP Besancenot *GICC*, 2004

JPG Rocklöv *ISEE*, 2008

A Haïda, *Plos One* 2013

L Quinquis *Irmes* 2009

A Fouillet *InVS* 2010

G Rey *CepiDC* 2011

Gasparrini A, 2015

Mortality risk and temperature

*Lancet*, May 21

**optimum  
20-25°C**

Mai

Juillet

Janvier

Sept

**2003**



Température (°C)

JFT *Irmes* 2011

**futur**

**???**

**Janvier**

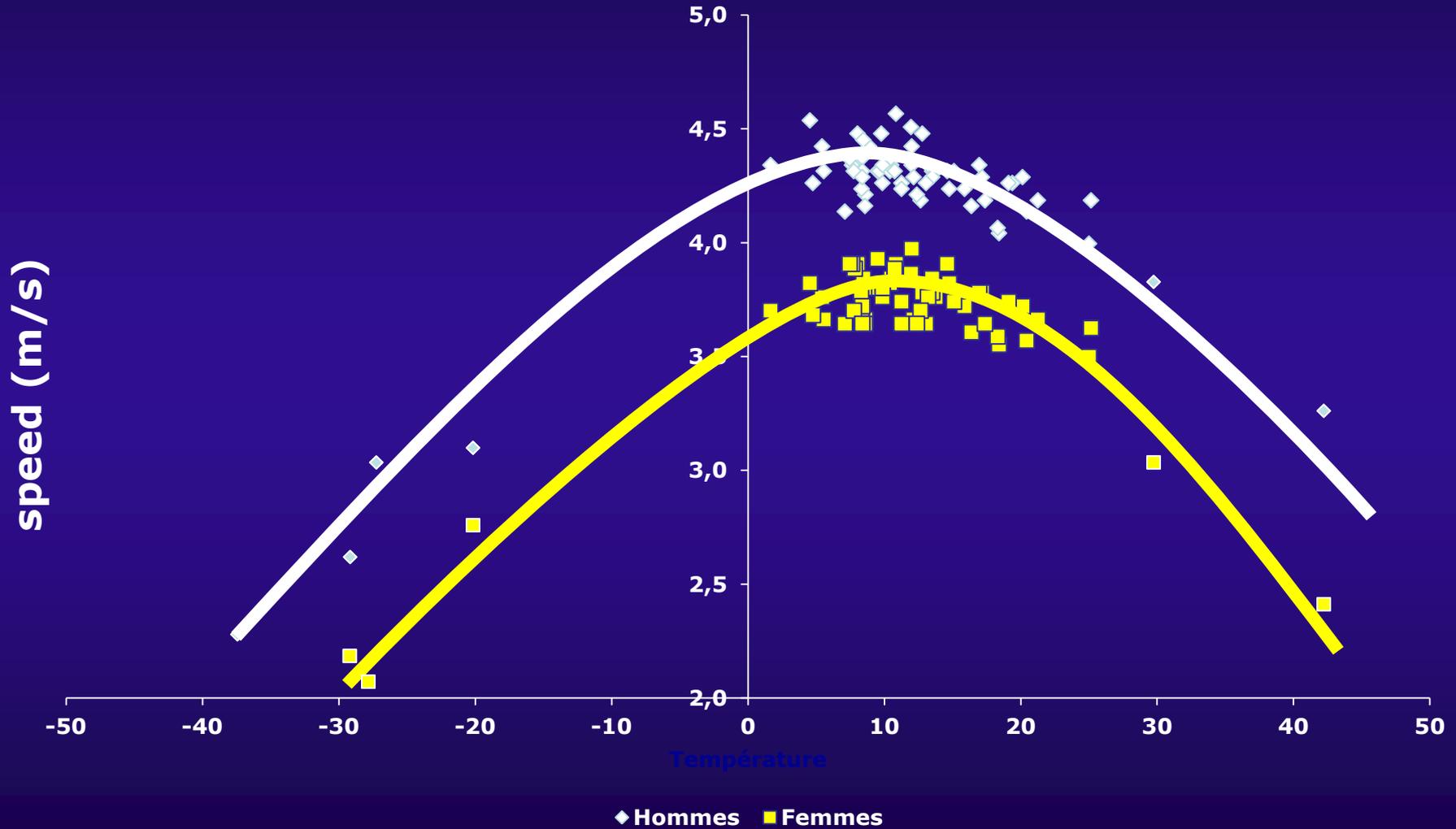
**Juillet**



Température (°C)

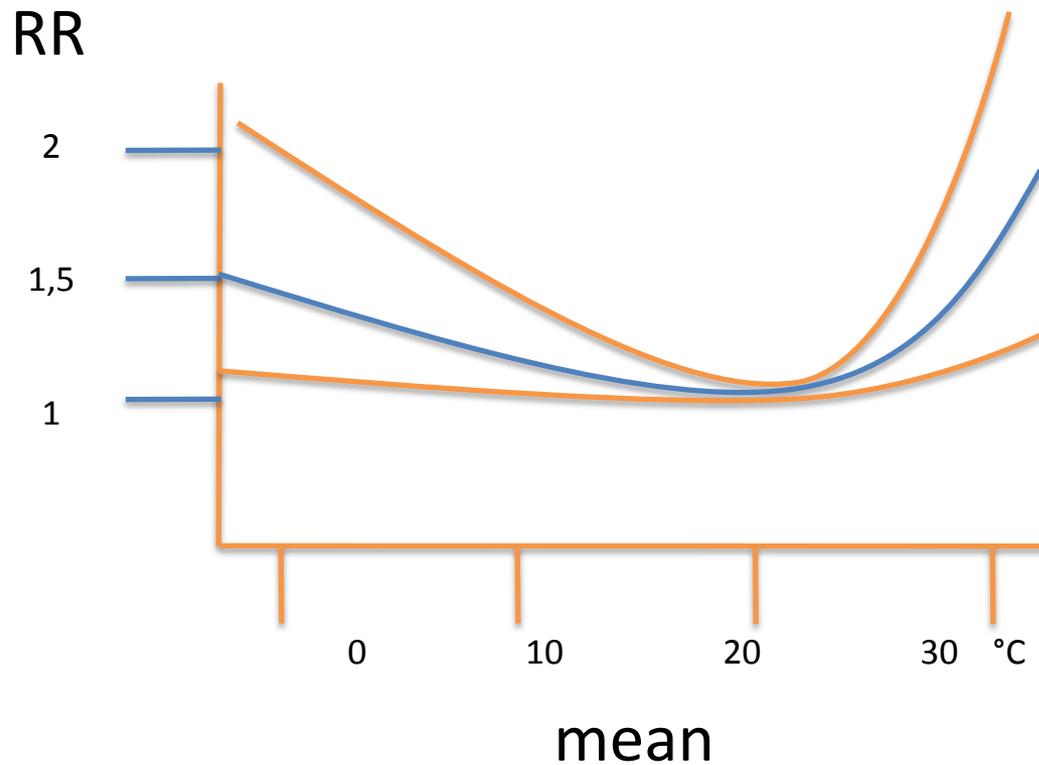
# Temperatures & Marathons

Paris – Berlin – Londres – Boston – Chicago – New York  
North Pole Marathon – Sand Marathon



Temperature (°C)

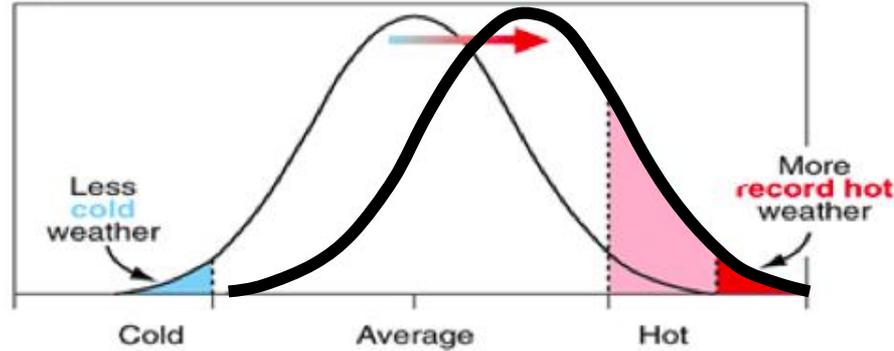
# Température & Mortalité



Gasparrini A, et al.  
Mortality risk attributable to high  
and low ambient temperature  
*The Lancet* May 21, 2015  
[http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(14\)62114-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(14)62114-0)

# effets sur les températures moyennes et extrêmes

augmentation de la moyenne



tout est plus chaud

augmentation de la variance

+ gde variabilité  
+ grande vitesse de changement  
d'un jour à l'autre

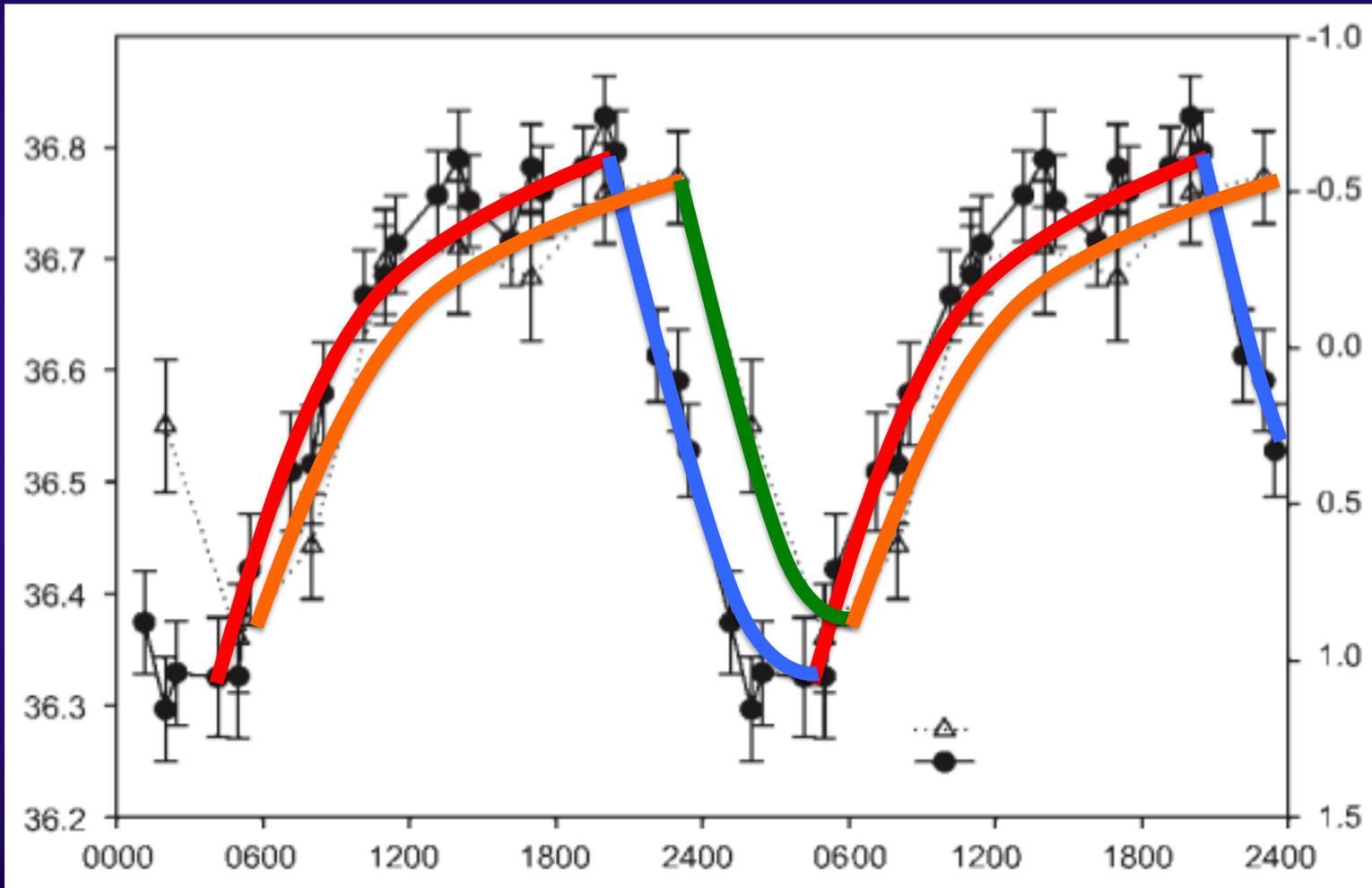
augmentation de la moyenne  
ET  
de la variance

+ chaud  
et  
extrêmes  
+ fréquents

# rythme circadien de performance et pic de température $p=0,01$

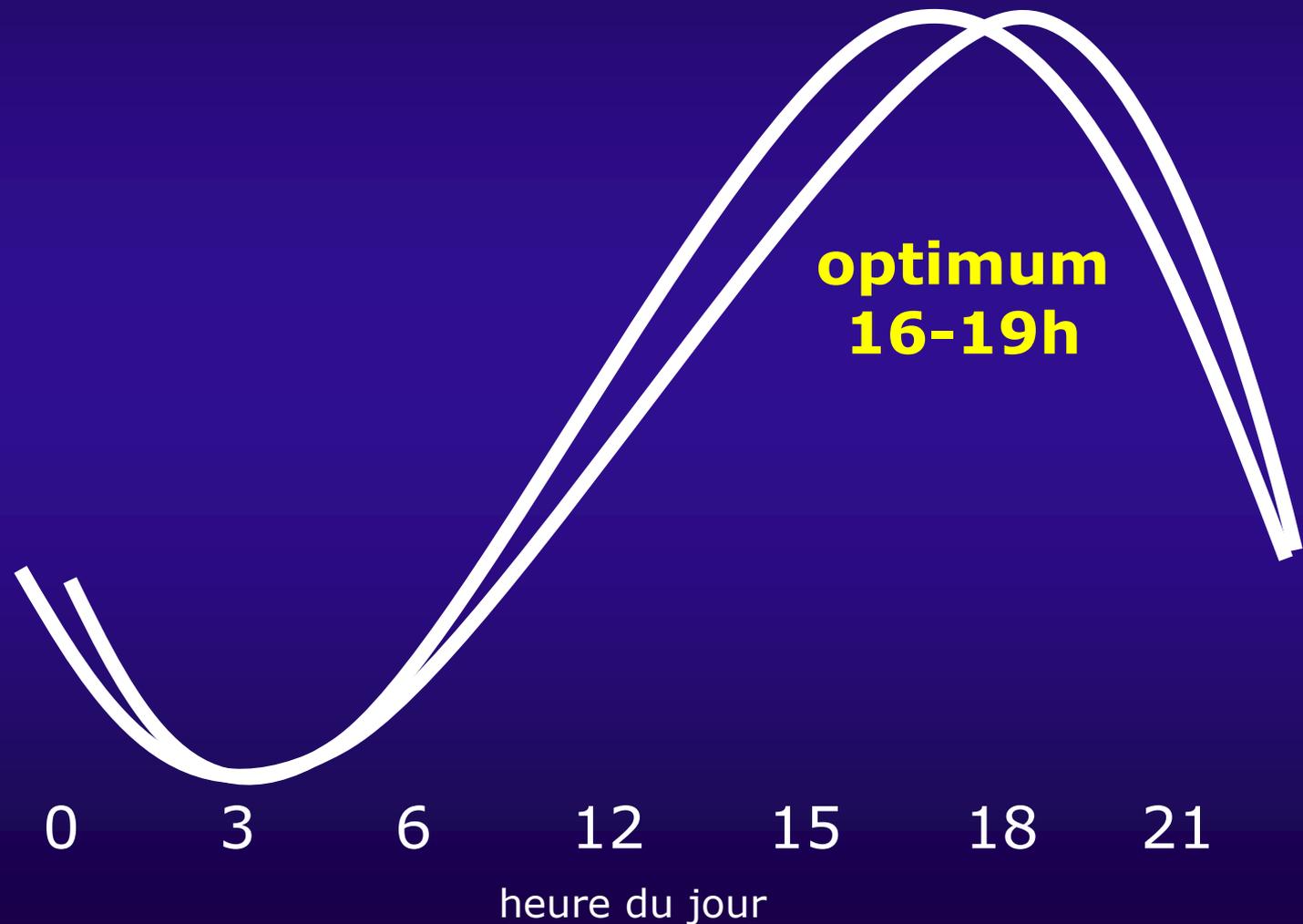
température (°C)

performance



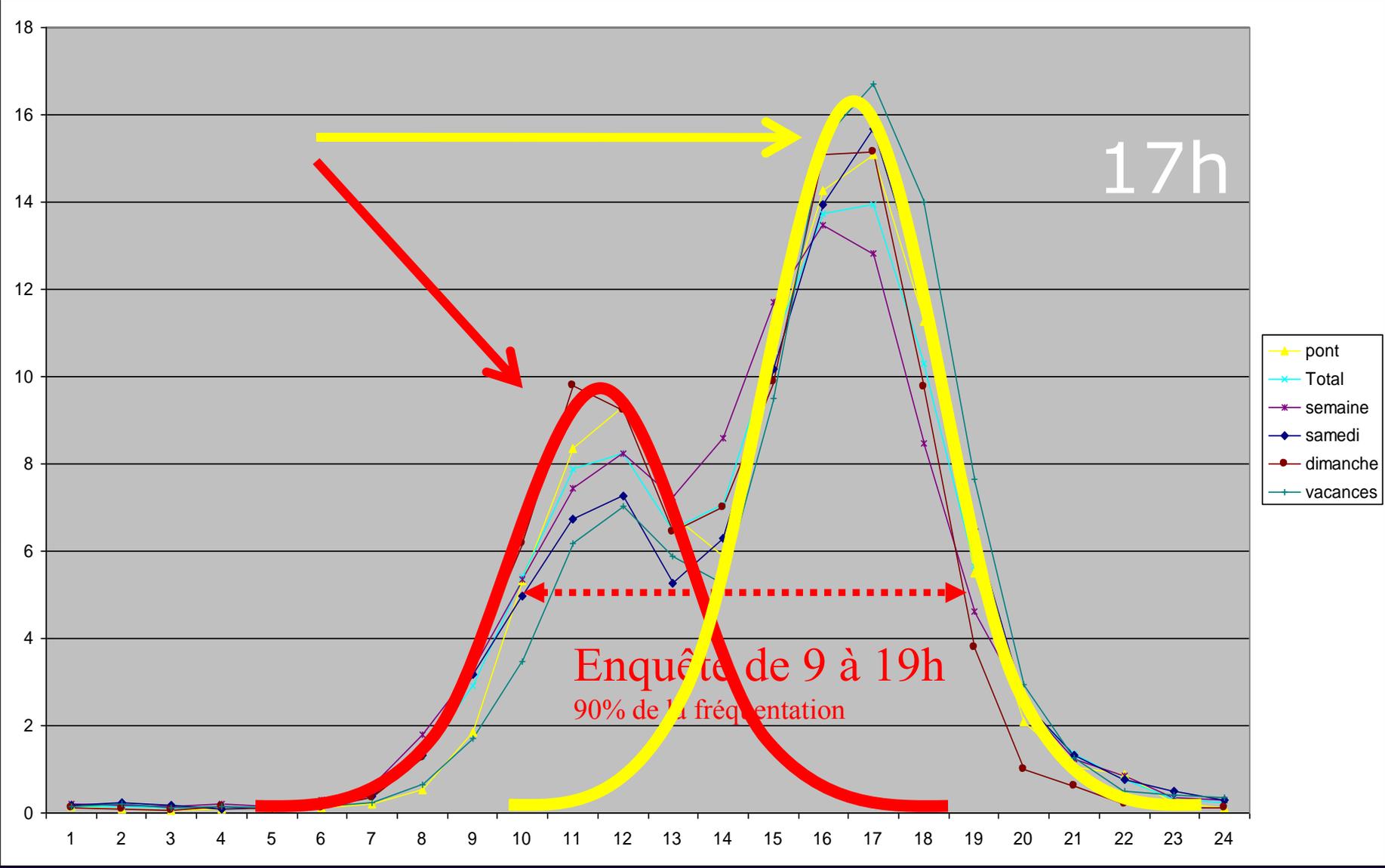
heure du jour

# Pas de record du monde à 3h du matin

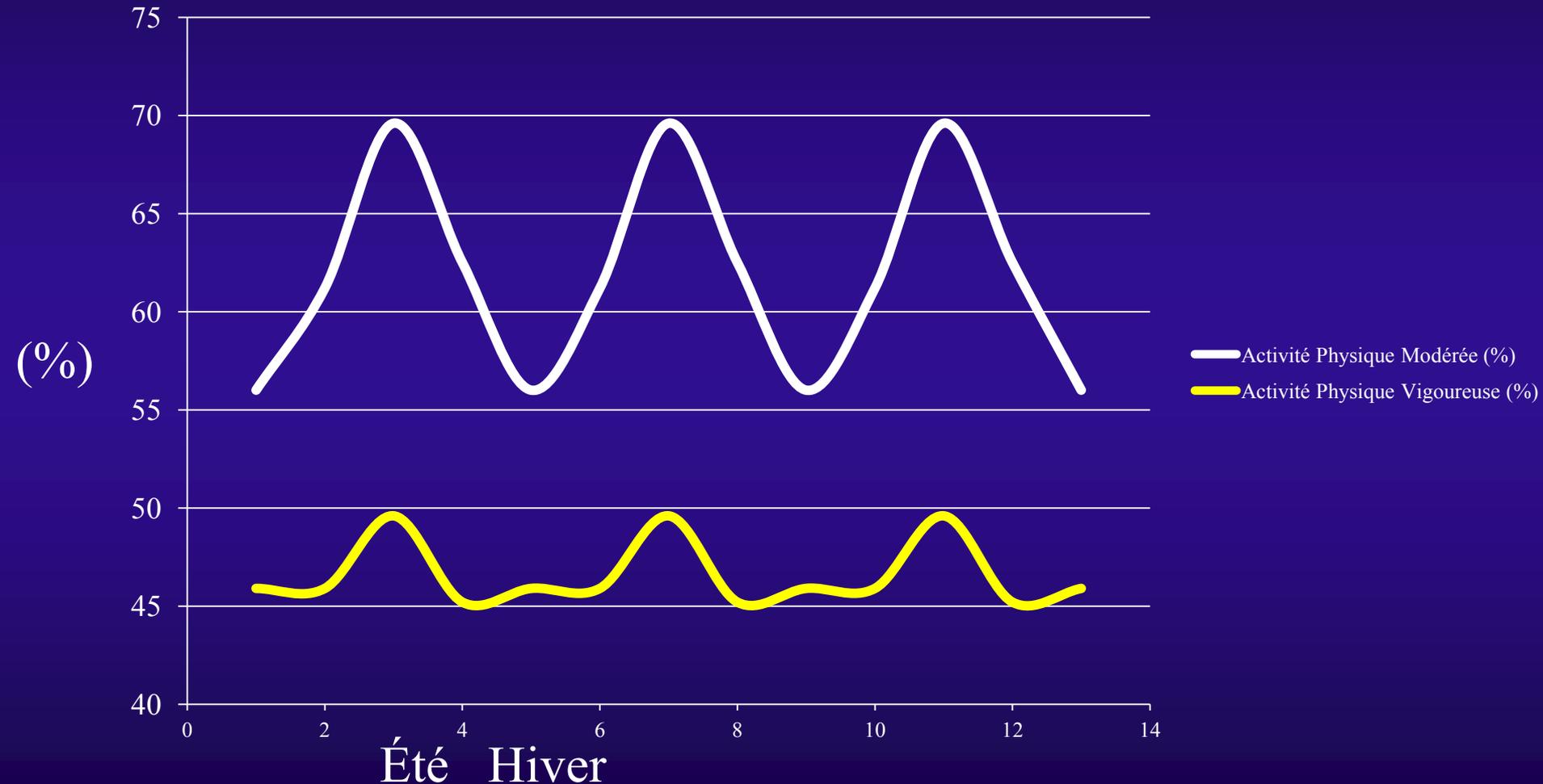


# Répartition horaire

## chemins de randonnées en Bourgogne

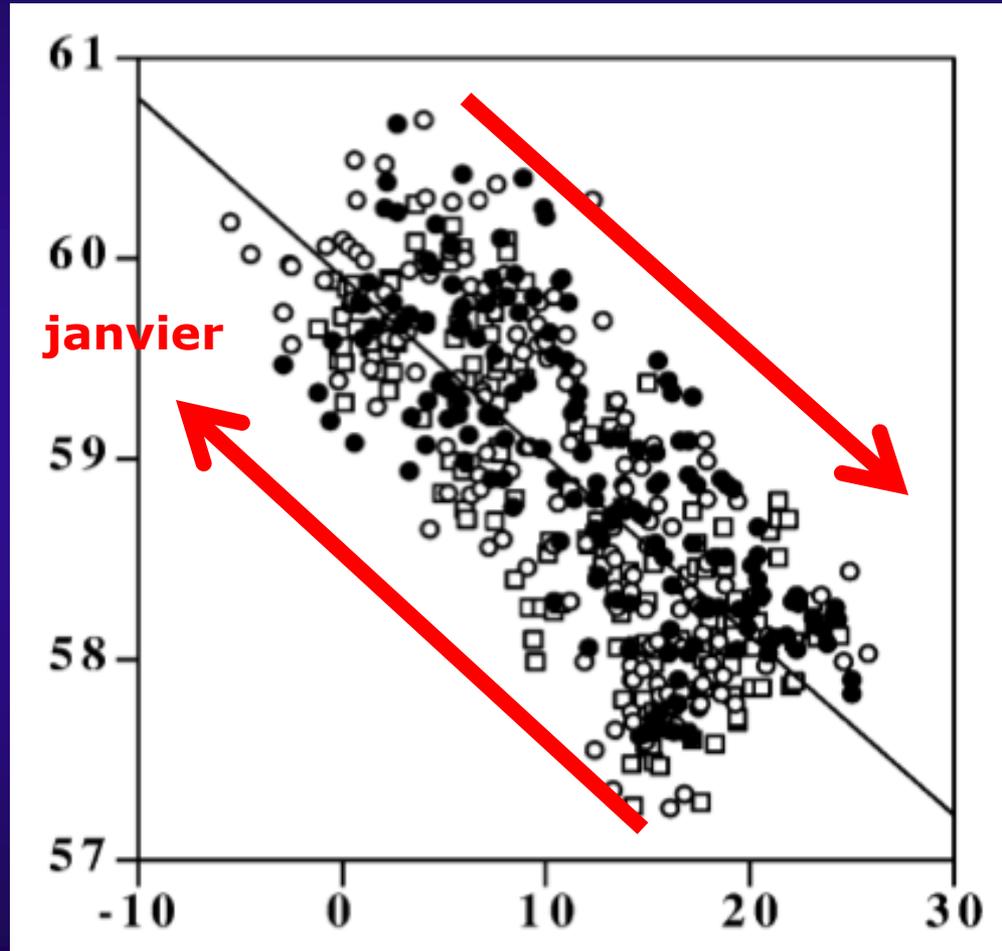


# saisonnalité de l'activité physique en population générale



# saisonnalité du poids

**poids**



**juillet**

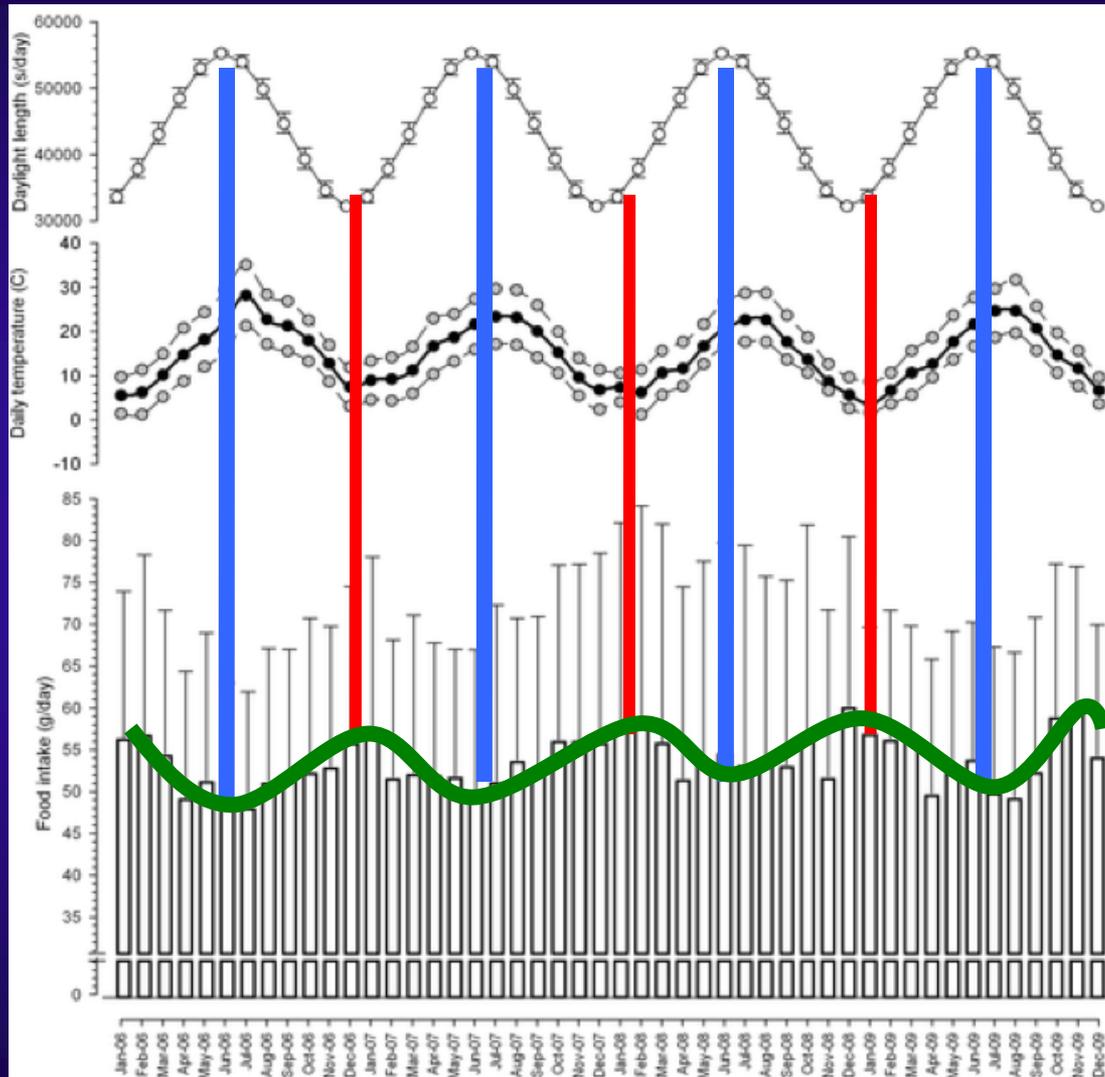
**température**

# saisonnalité de la prise alimentaire chez le chat domestique

durée  
lumière

T°

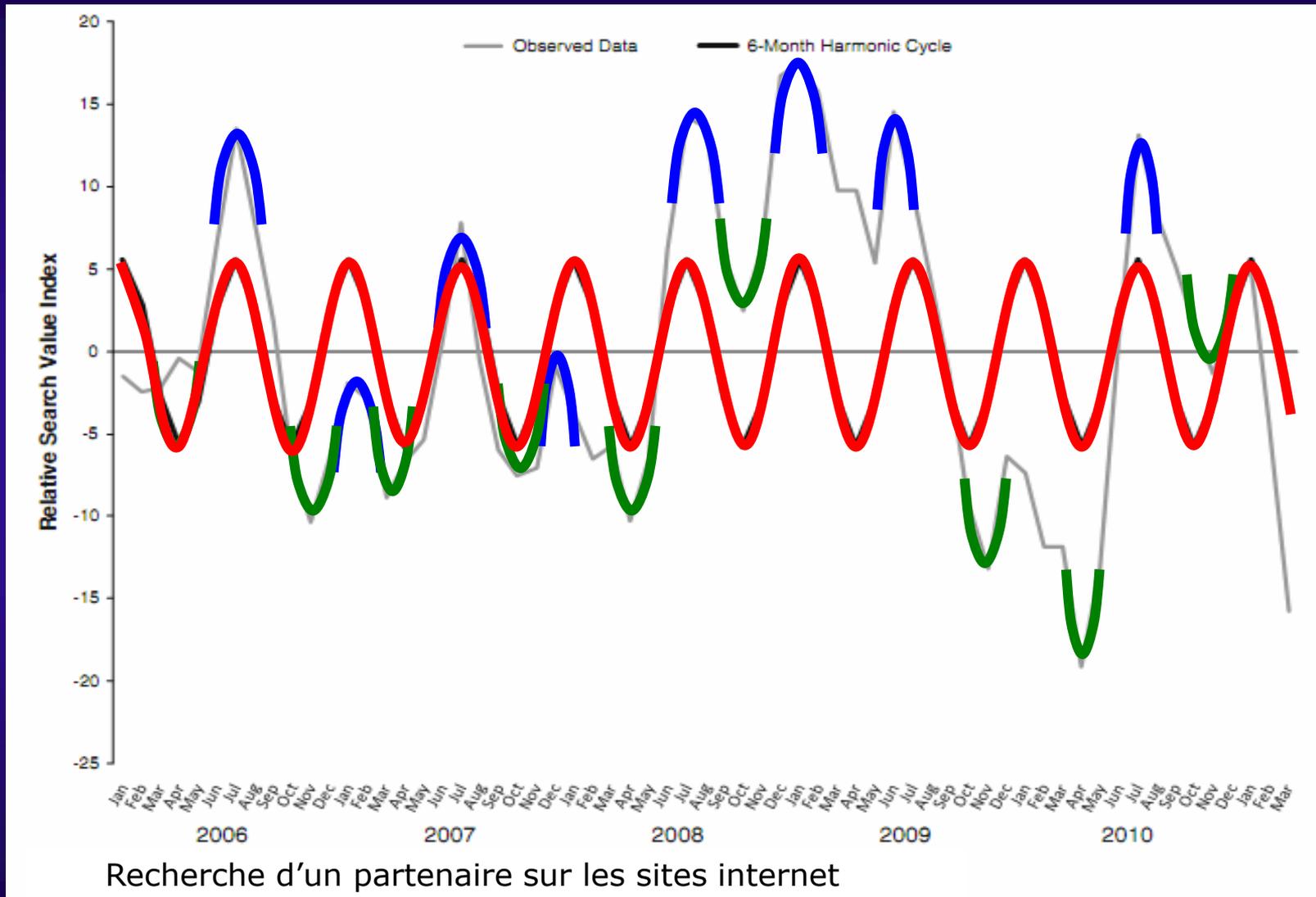
apports  
nutrition



**Δ 15%**

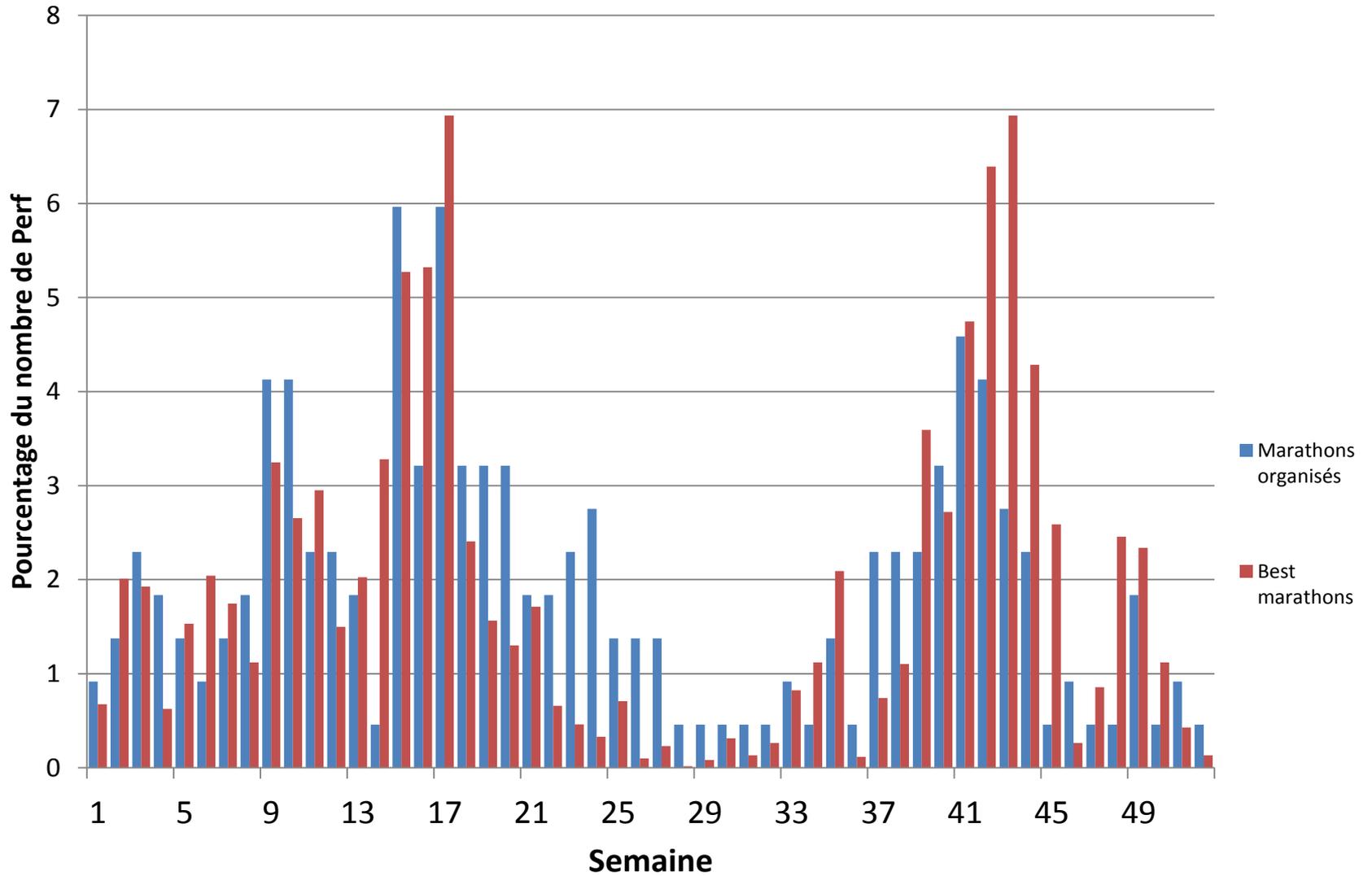
Measured and predicted average food intake by using artificial neural network (ANN). Best variables to predict food intake: year, temperature, daylight length & body weight

# reproduction et saisonnalité

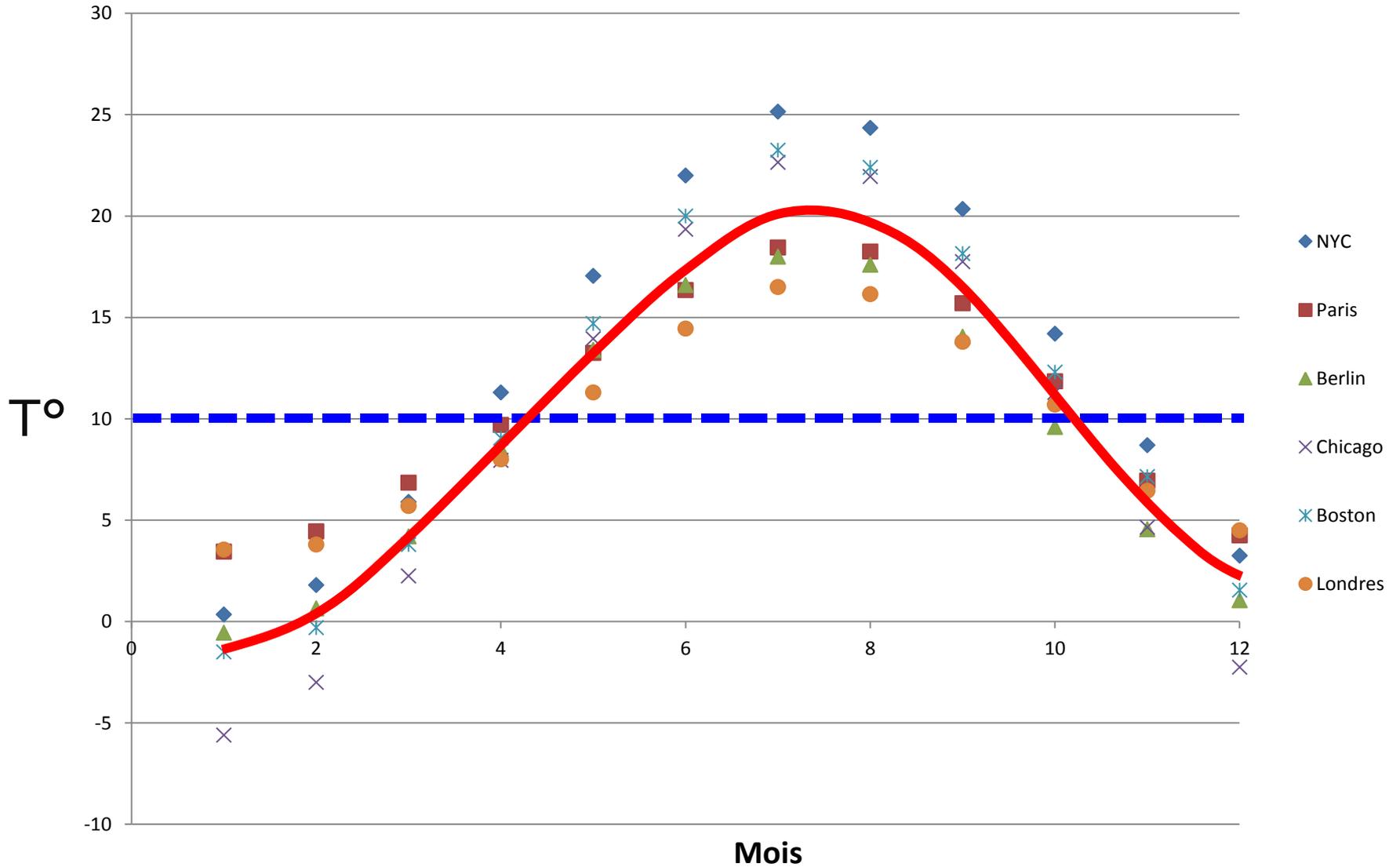


Seasonal Variation in Internet Searches  
 A Proxy of Sex Mating Behaviors  
 PM Markey 2012, *Arch Sex Behavior*

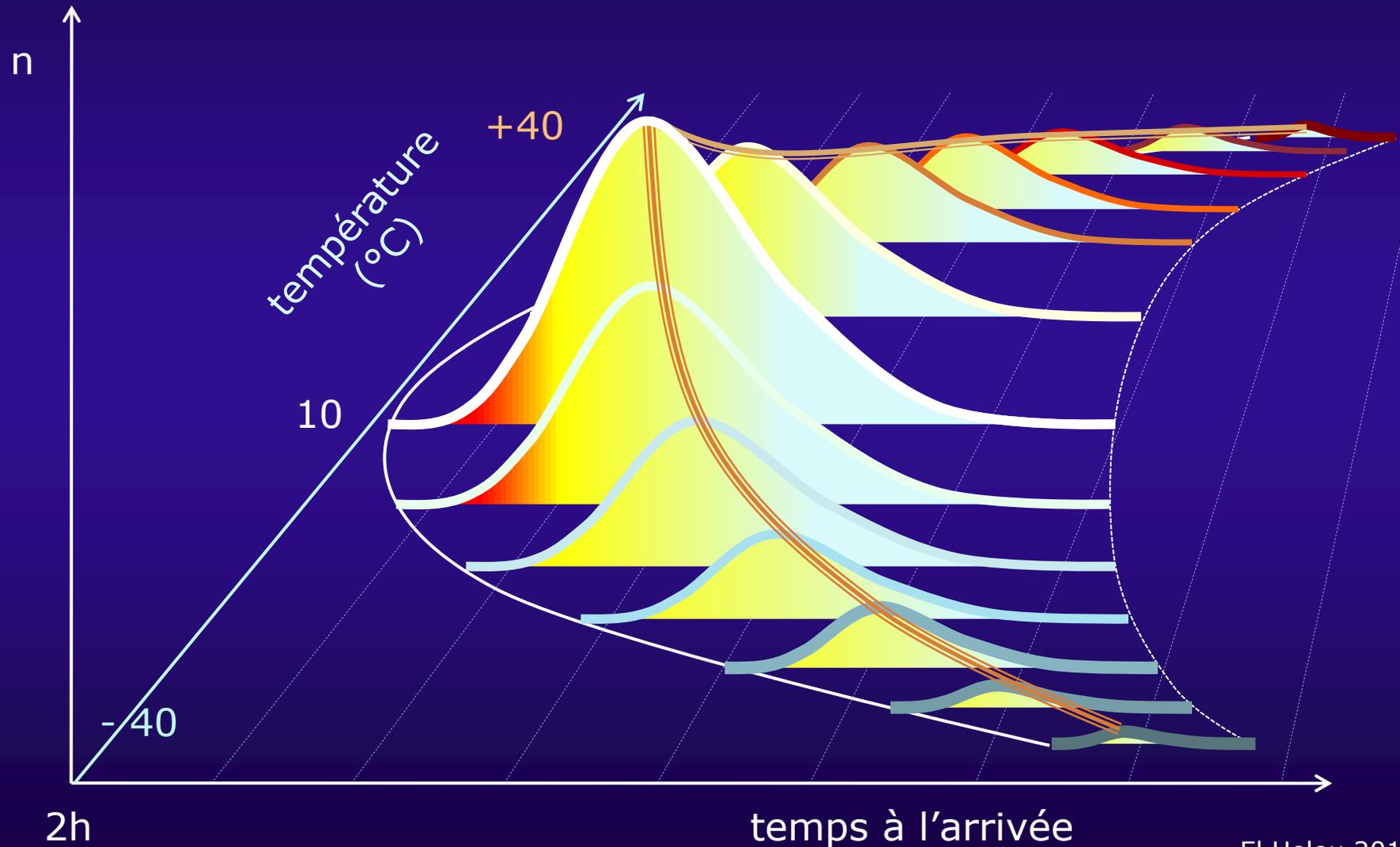
# calendrier & performances



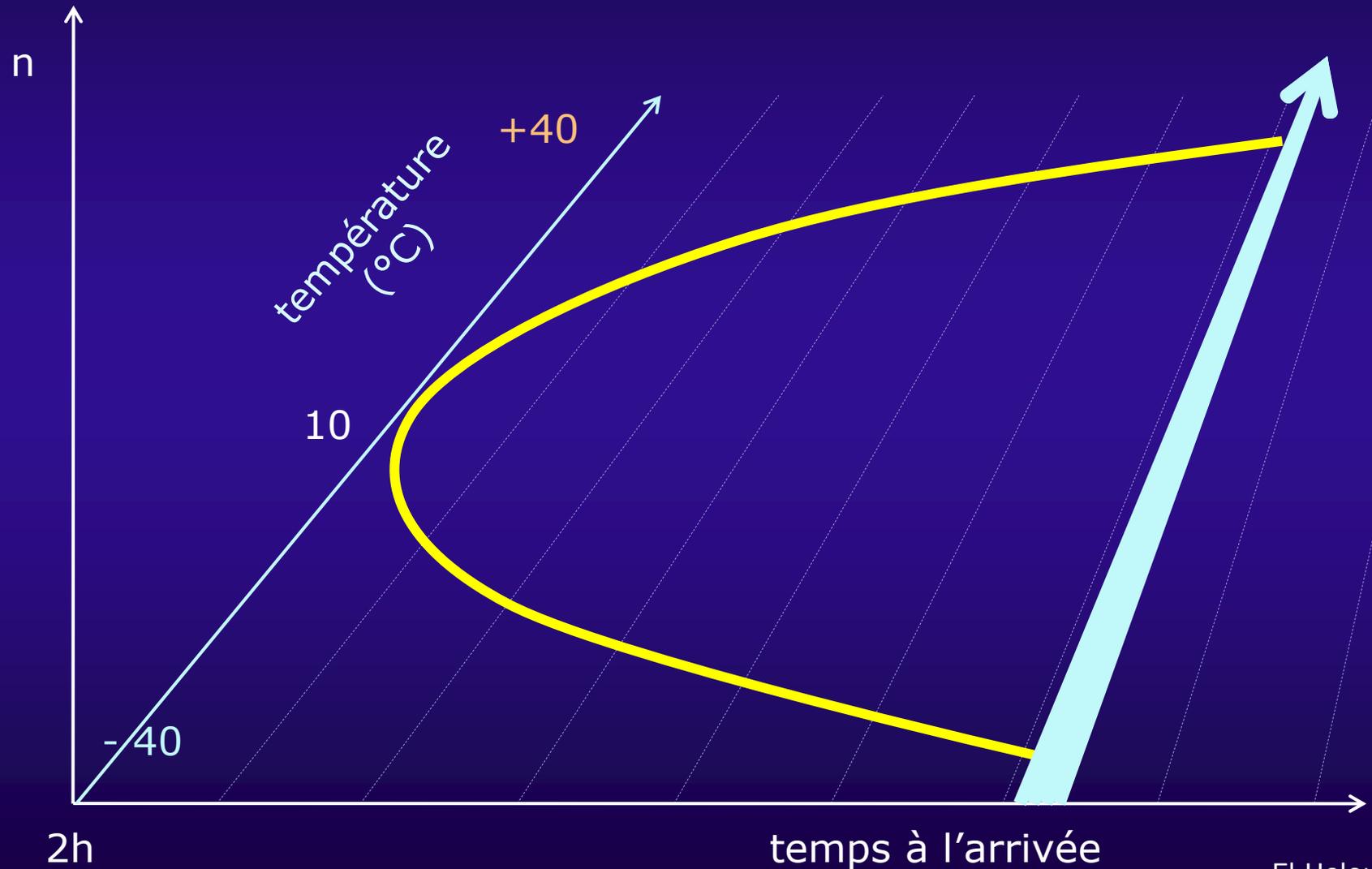
# températures moyennes mensuelles



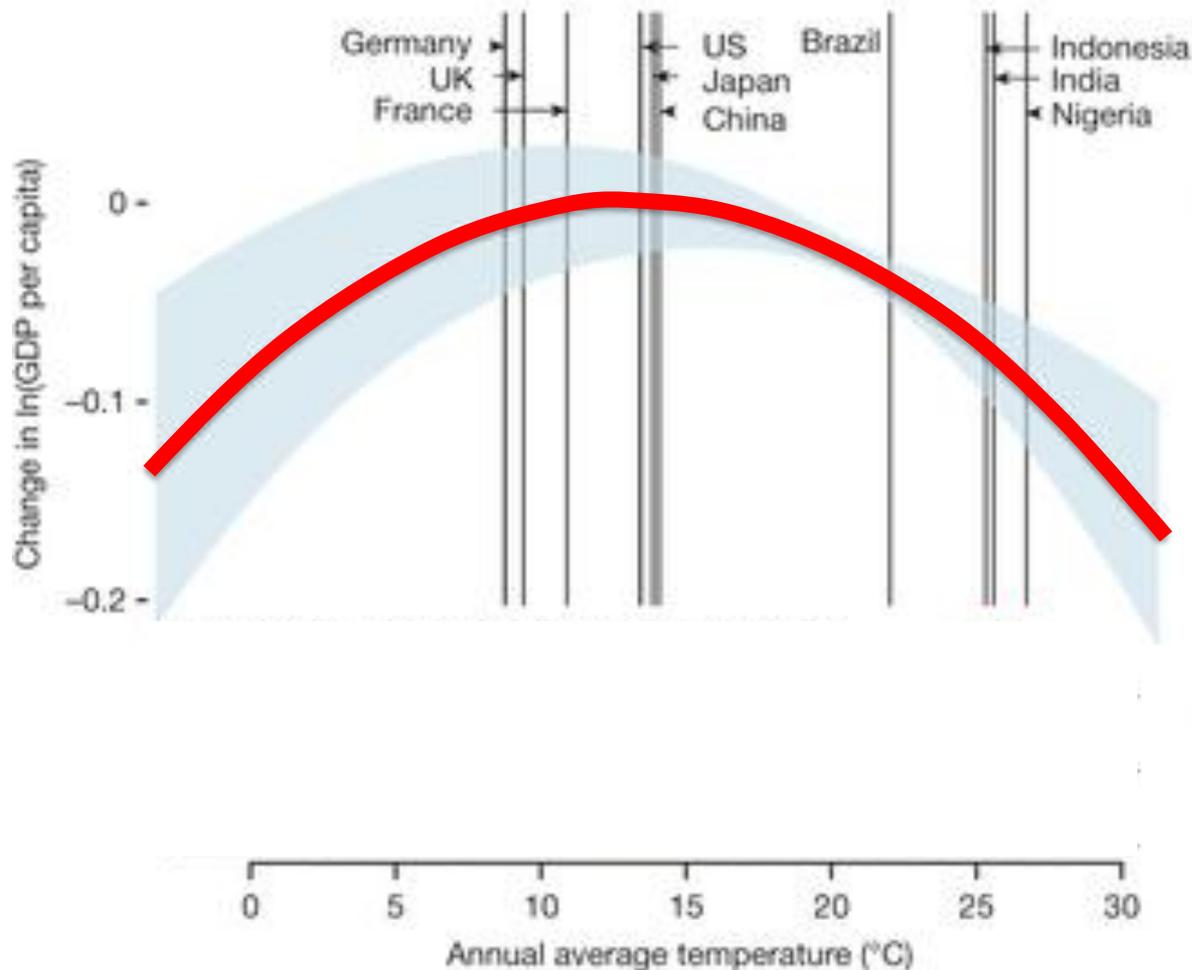
# température, performance & géographie du marathon



# température, performance & géographie du marathon



# Performance économique et Température



effet  
non-linéaire  
de la  
température  
sur la  
production  
économique

CC





# changement climatique



**... une réalité**

# réchauffement Mont Blanc



~~Pilier Bonatti~~ Les Drus, 14 sept 2011

alpinisme ?

# 19 août 2012

L'ascension du Mont-Blanc par la voie dite "normale", la plus fréquentée par les alpinistes, est "fortement déconseillée" en raison d'importantes chutes de pierres provoquées par les fortes chaleurs, a mis en garde la mairie de Saint-Gervais-les-Bains mardi dans un communiqué

77 morts en 20 ans



La voie normale, qui emprunte le couloir du Goûter, est la plus fréquentée de toutes les voies d'ascension du Mont-Blanc

Le couloir du Goûter, parfois baptisé "couloir de la mort", connaît de nombreuses chutes de pierres. Lorsque les températures augmentent, les blocs retenus par le gel se détachent

La compagnie des guides de Saint-Gervais a annoncé la suspension des ascensions du Mont-Blanc "jusqu'à nouvel ordre"

9 morts le 12 juillet 2012



l'ascension du Mont-Blanc par la voie normale, la plus fréquentée, est fortement déconseillée









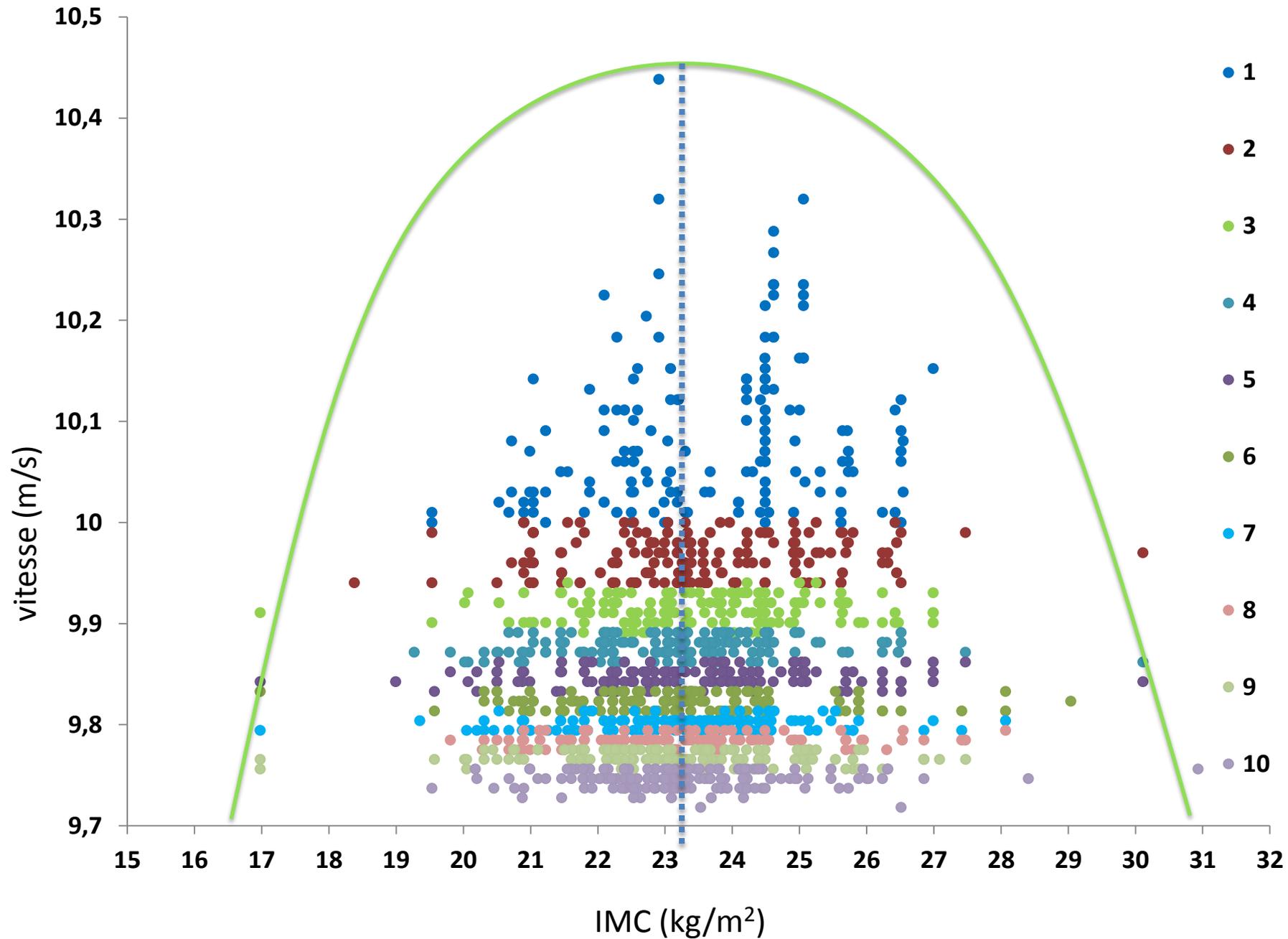




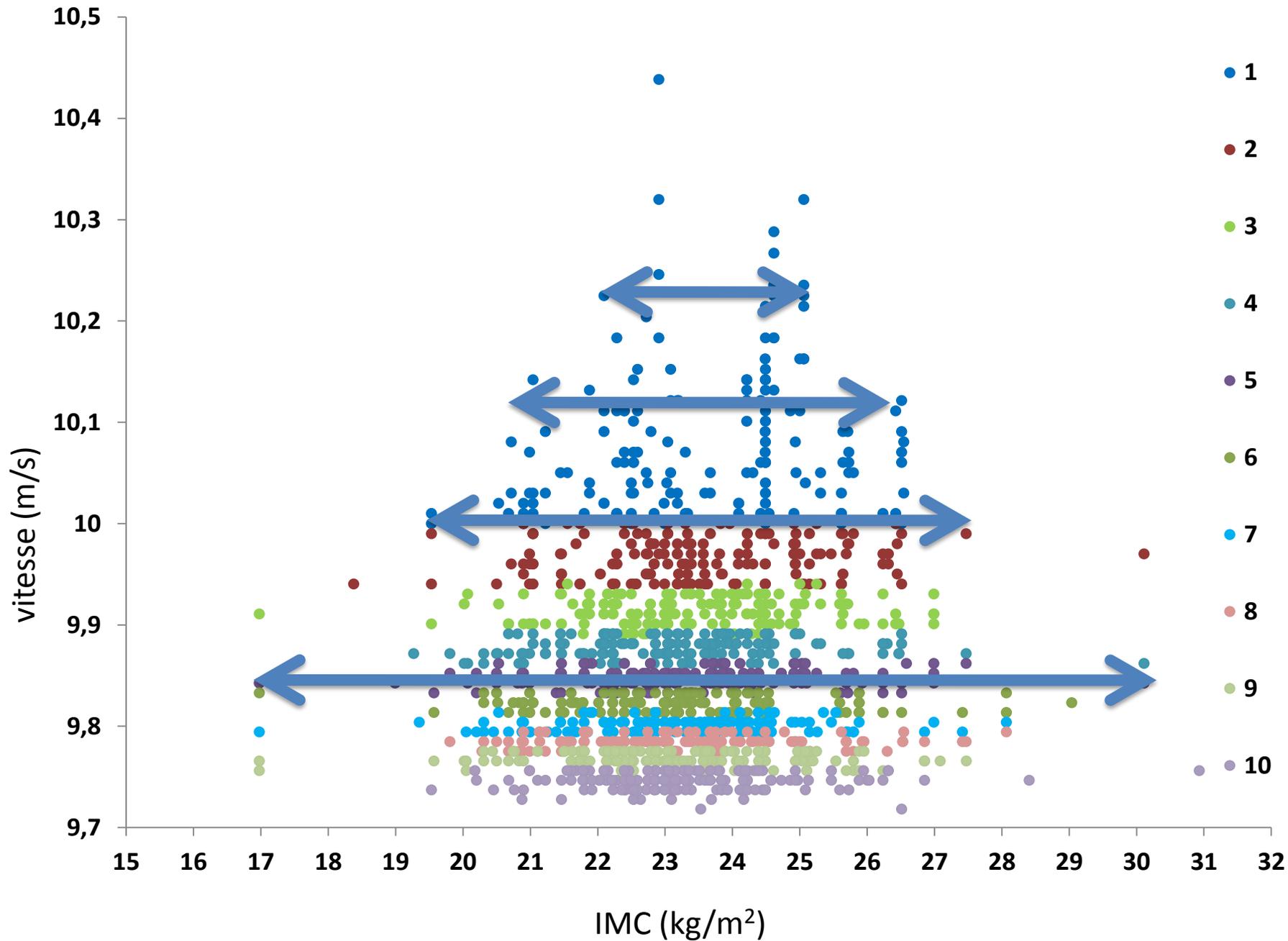
**BIO**

**MÉT**

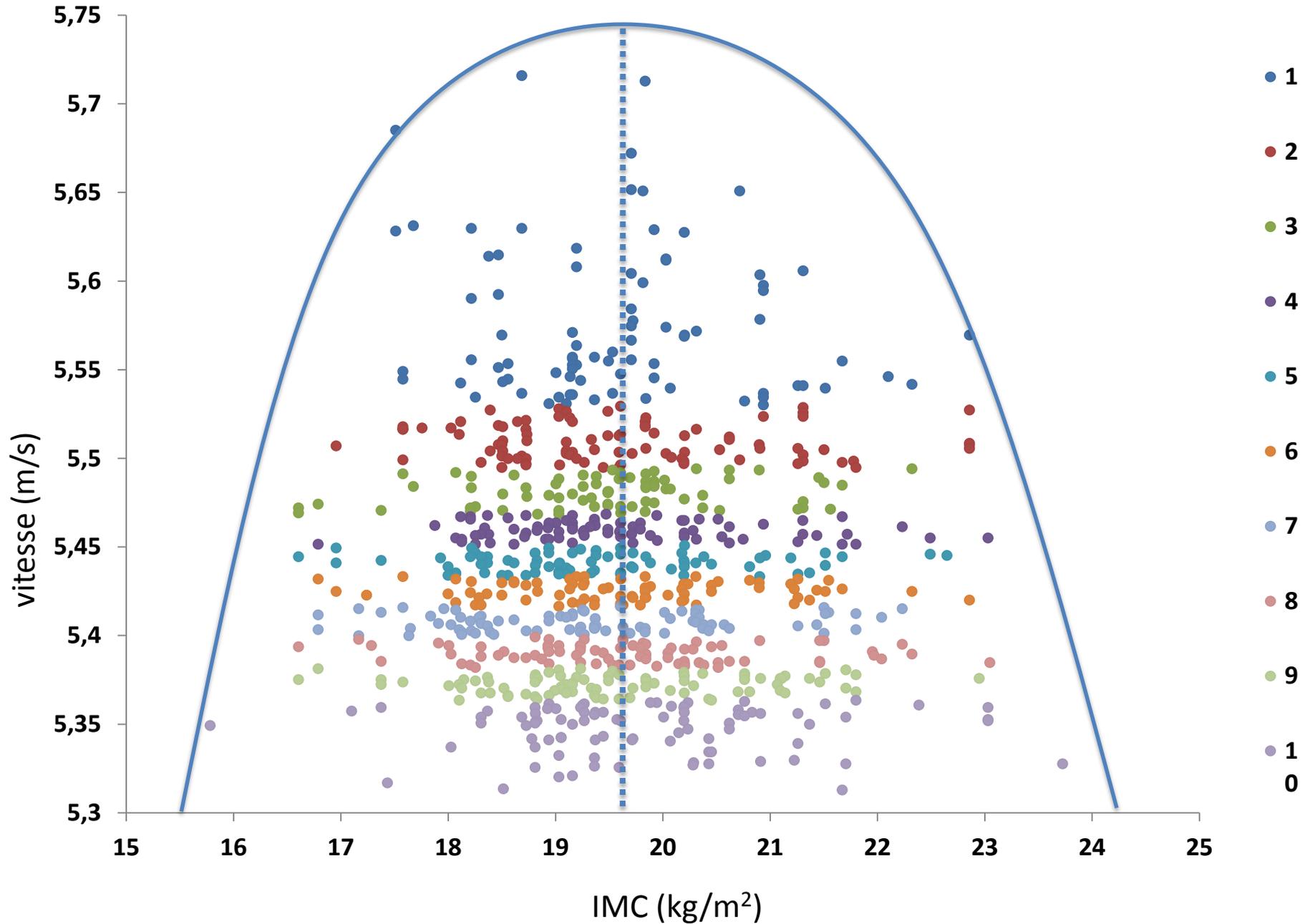
# 100m



# 100m

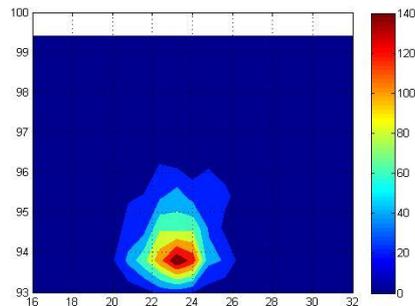
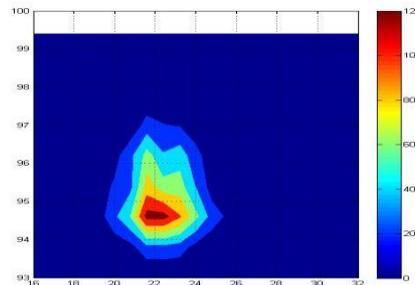
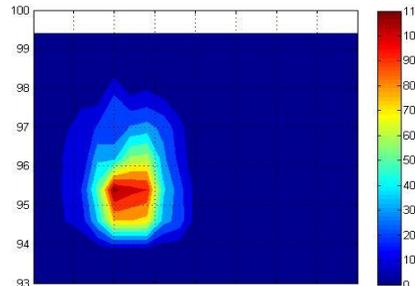
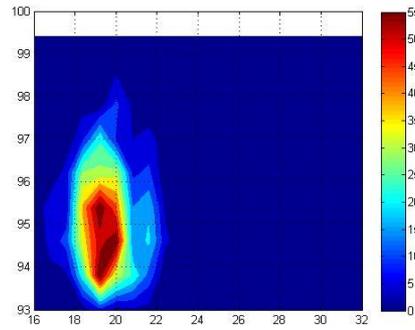
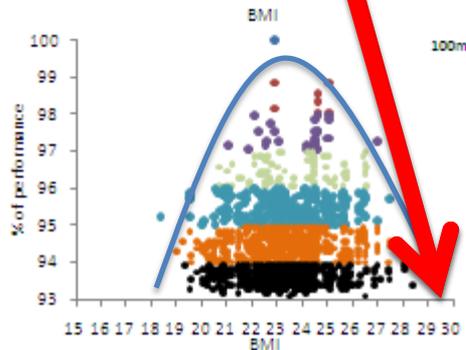
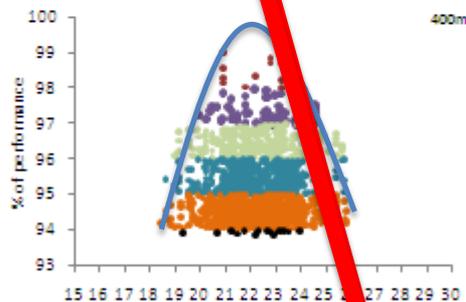
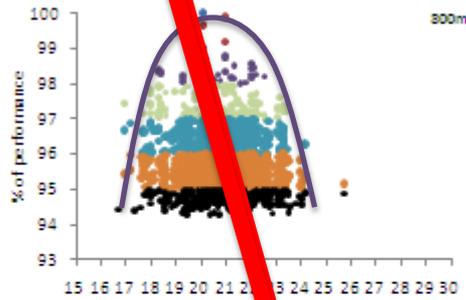
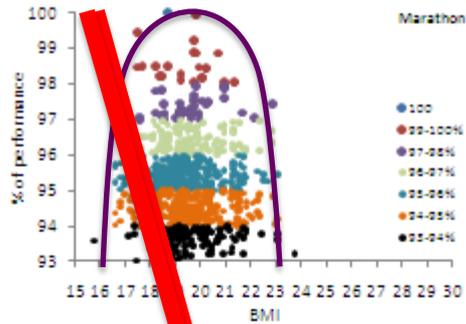


# Marathon



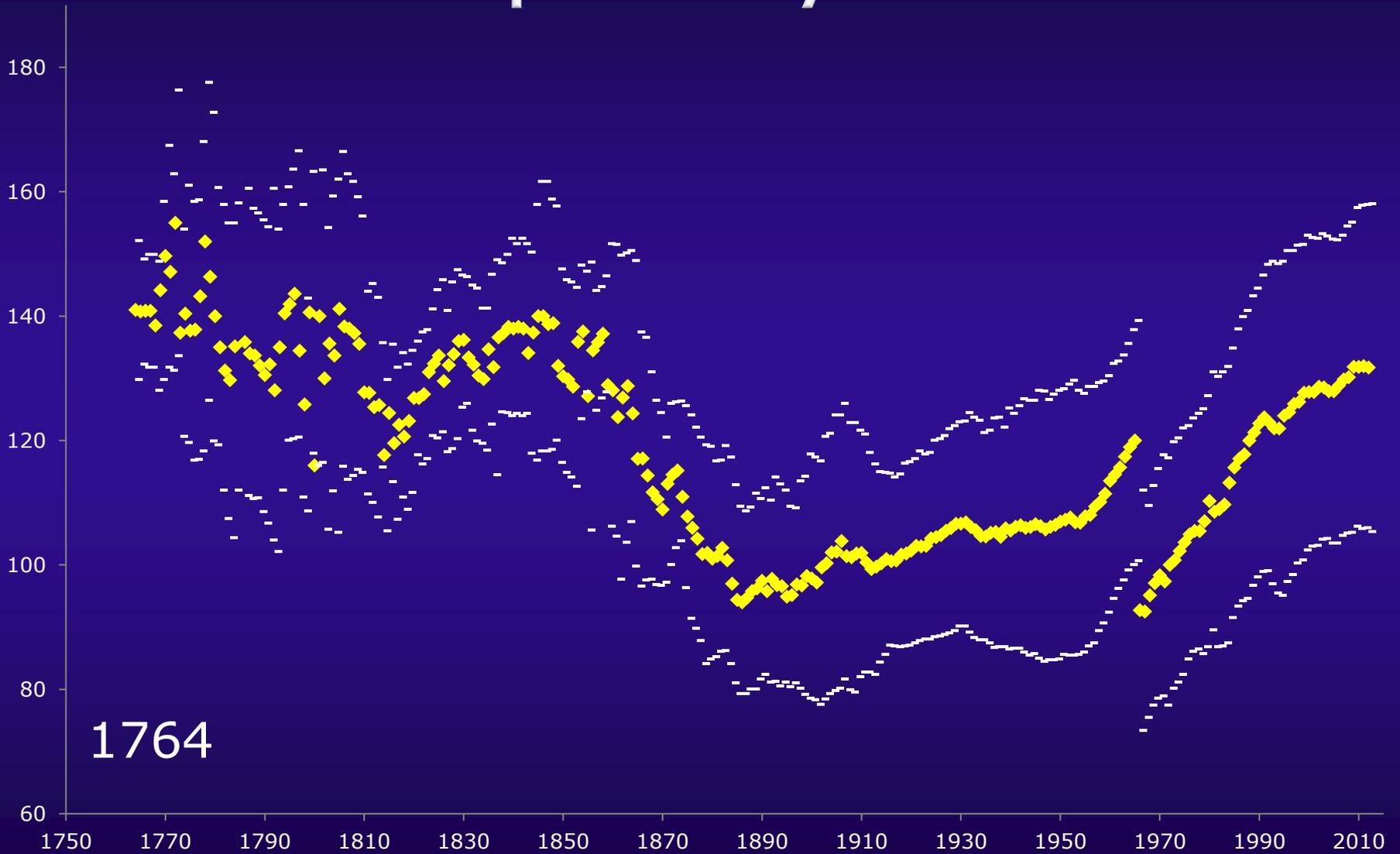
# Performance (%) et IMC

## Athlétisme Course



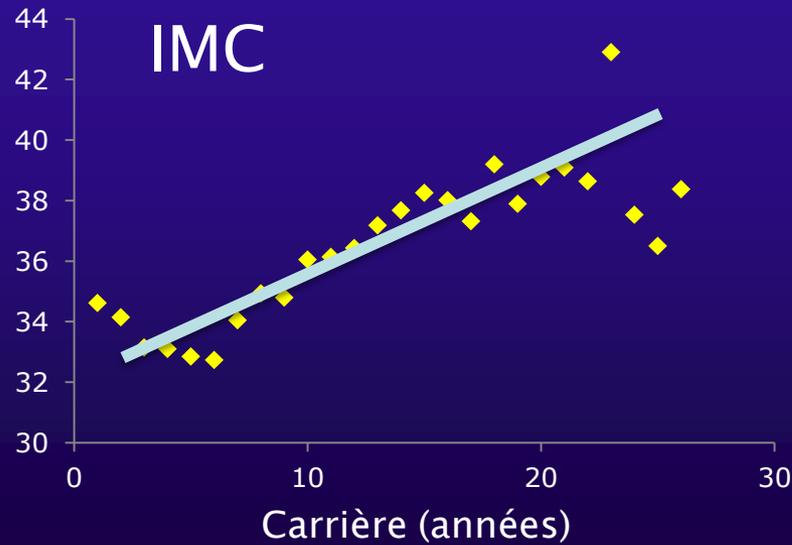
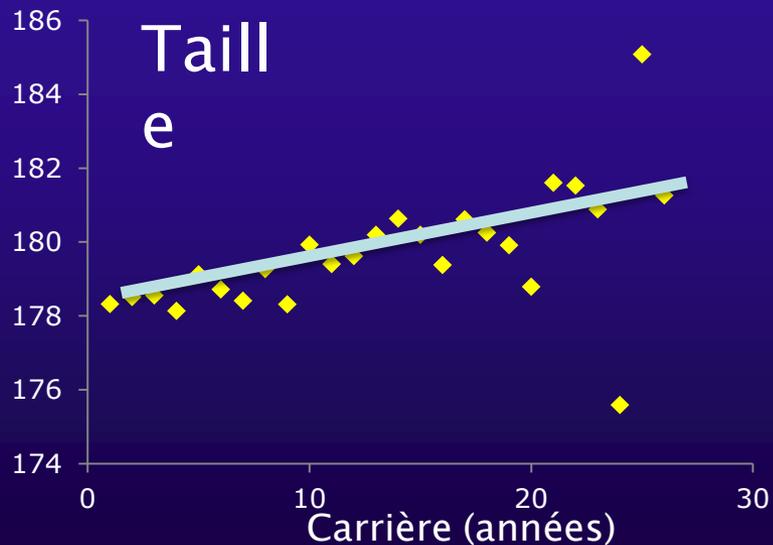
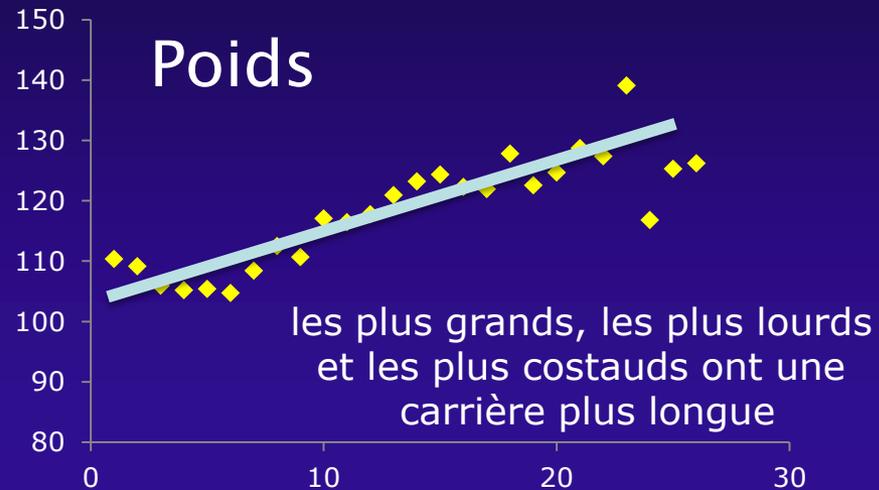
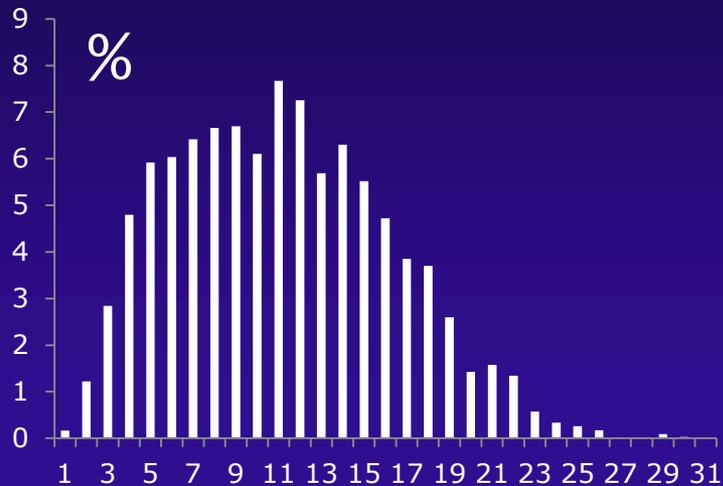
# Sumo

## poids moyen



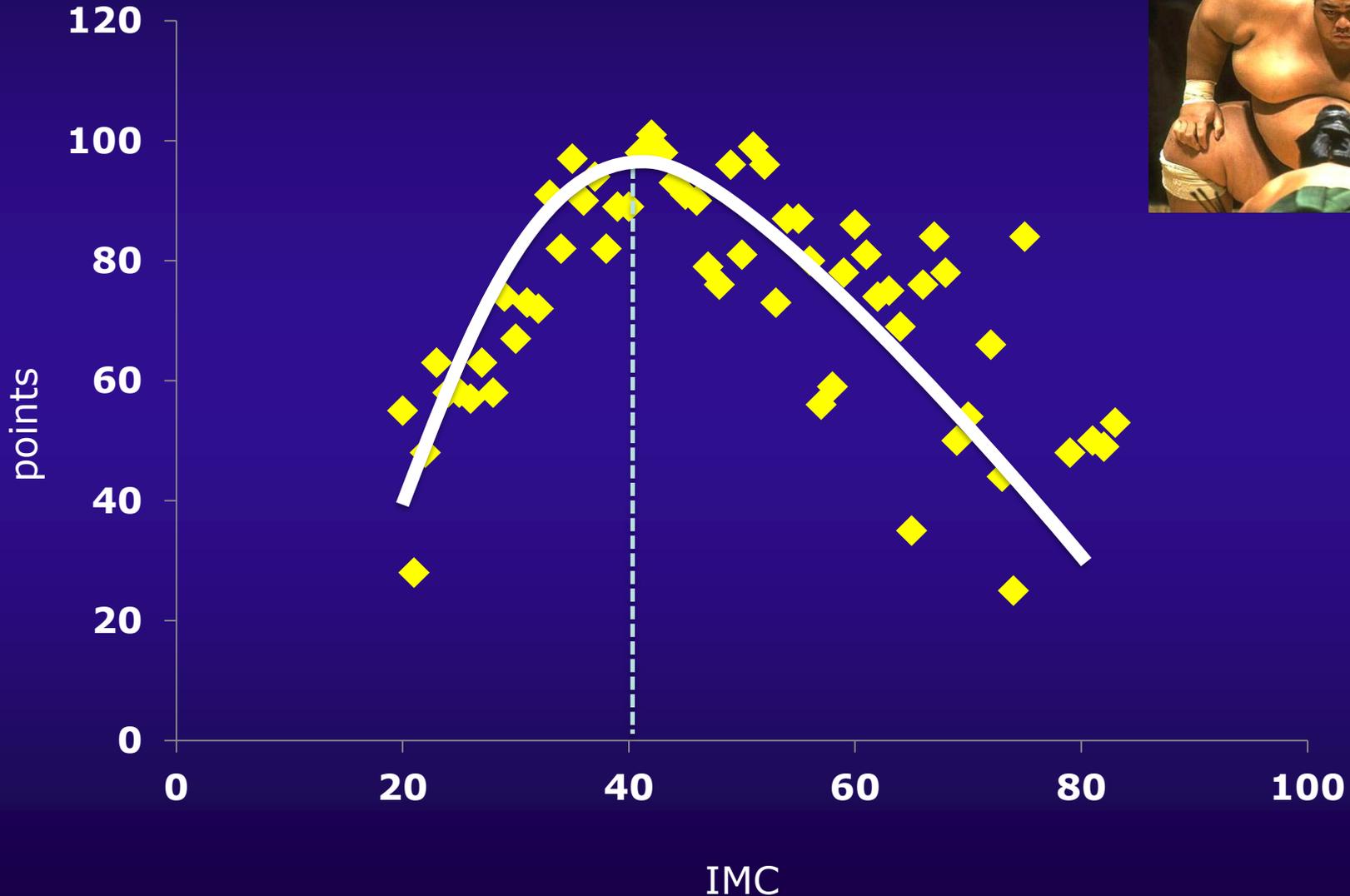
# Sumo

## Durées de carrière & Biométrie



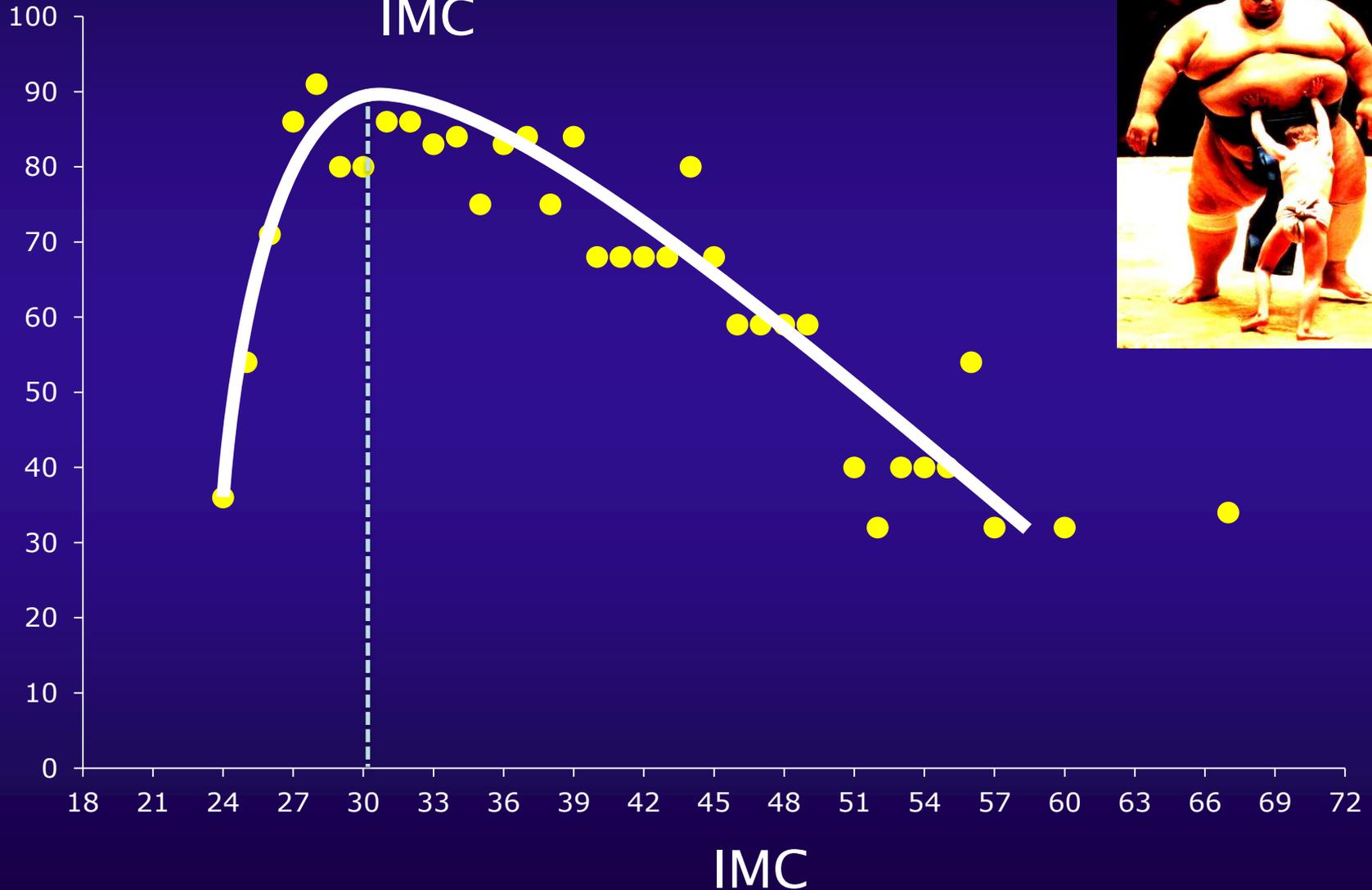
# SUMO & performance

Perf maximale & IMC



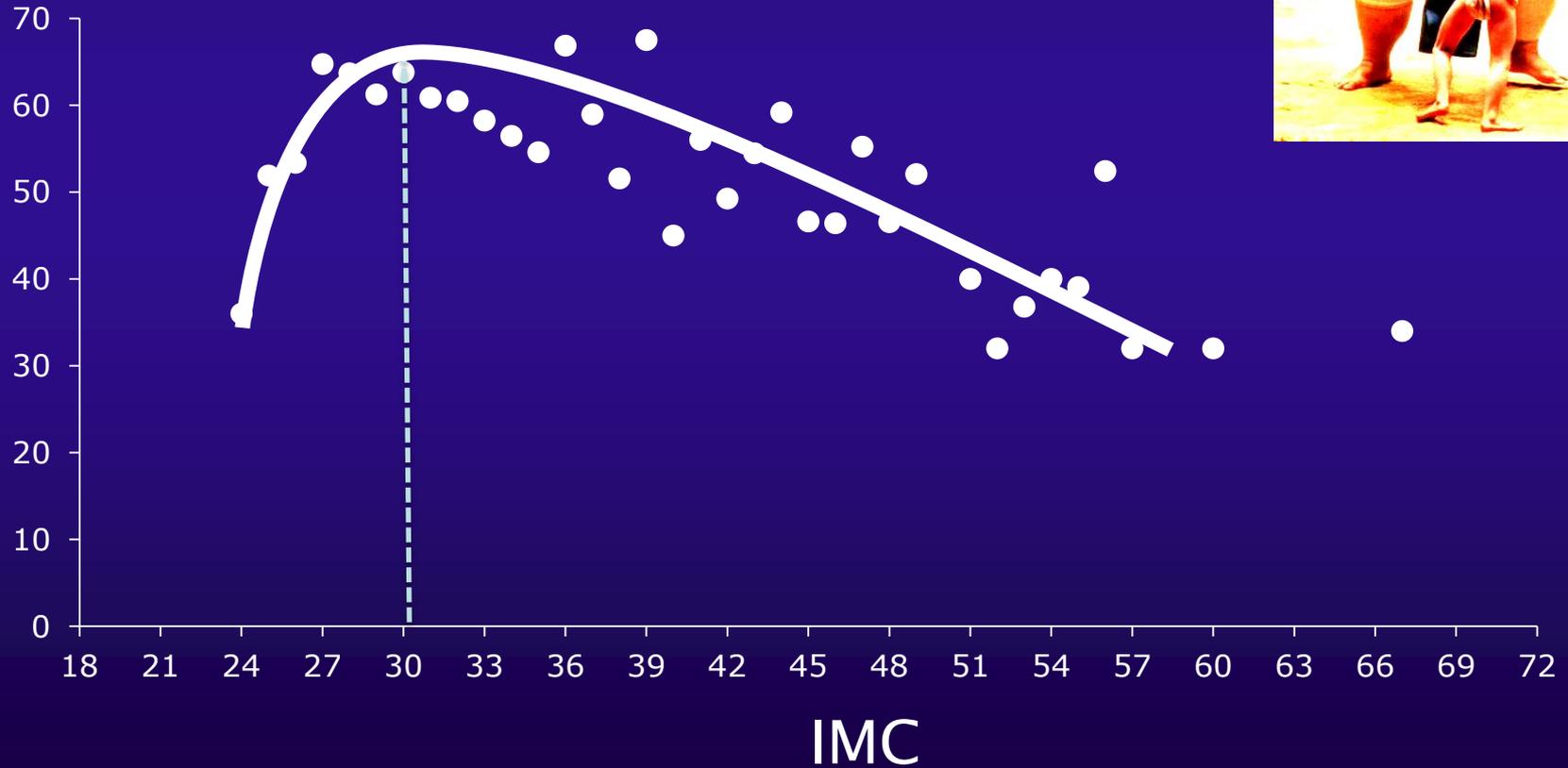
# SUMO & mortalité

Longévité maximale &  
IMC

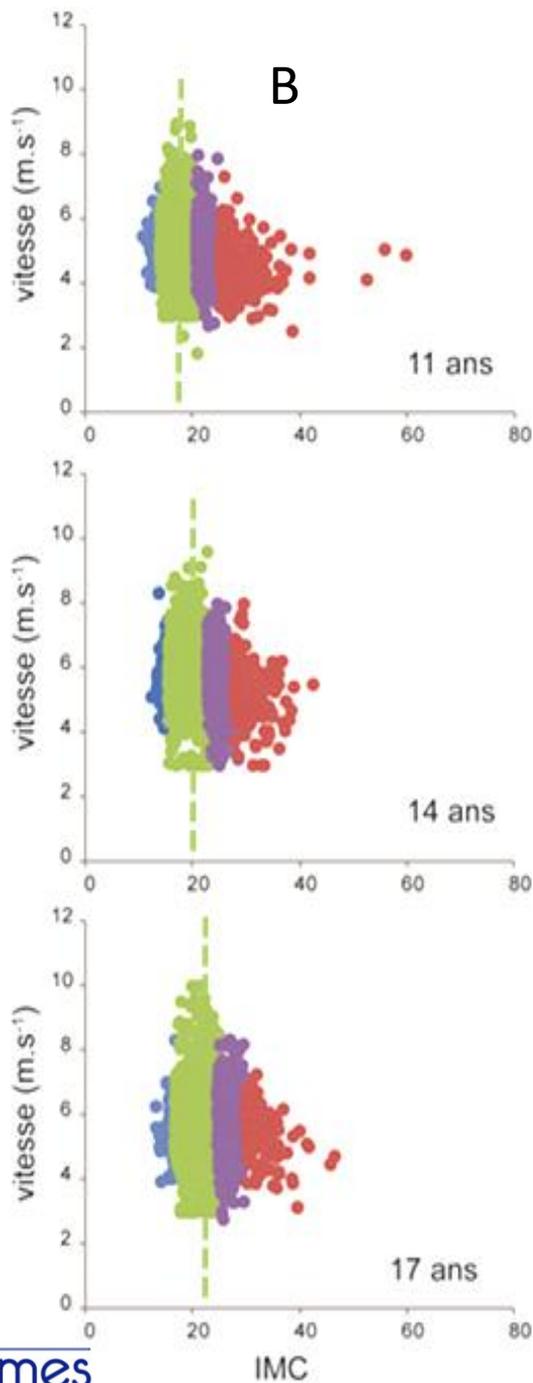


# SUMO & mortalité

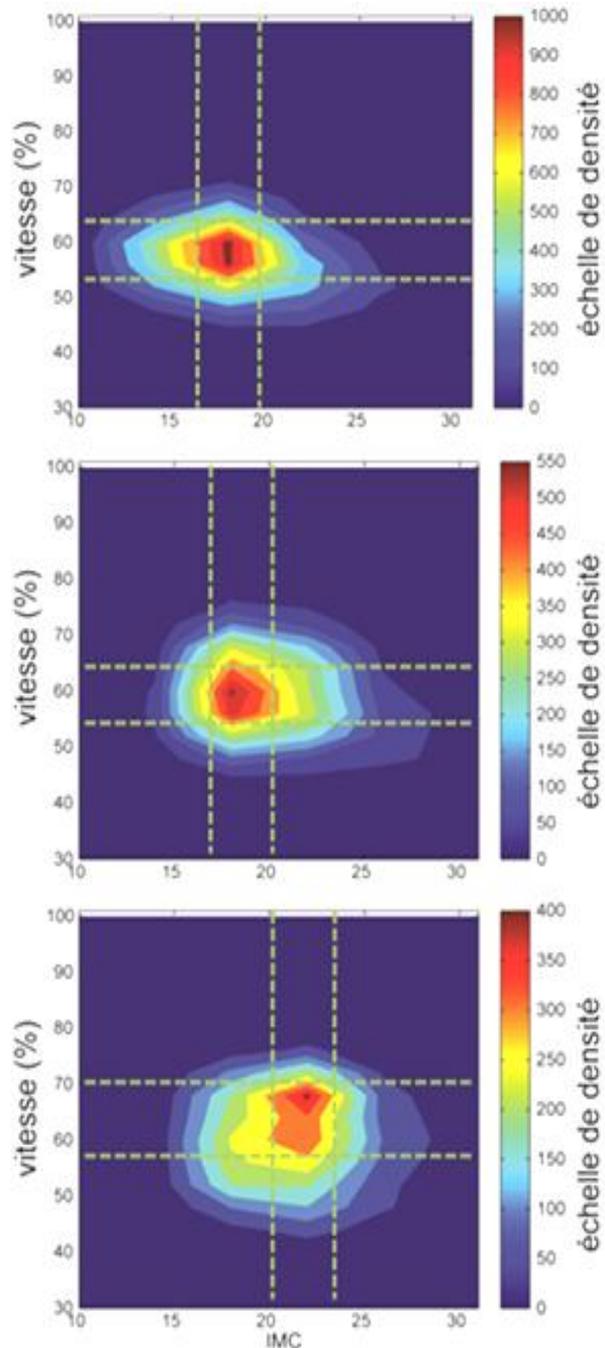
Longévité moyenne & IMC



A



B



## IMC et condition physique chez 49 600 collégiens & lycéens français 2007- 2014

Vitesses de sprint ( $\text{m/s}$ )  
chez les collégiens et  
lycéens de 6 régions  
selon l'IMC, à  
11, 14 et 17 ans

A. Distribution  
des vitesses et des  
IMC individuels

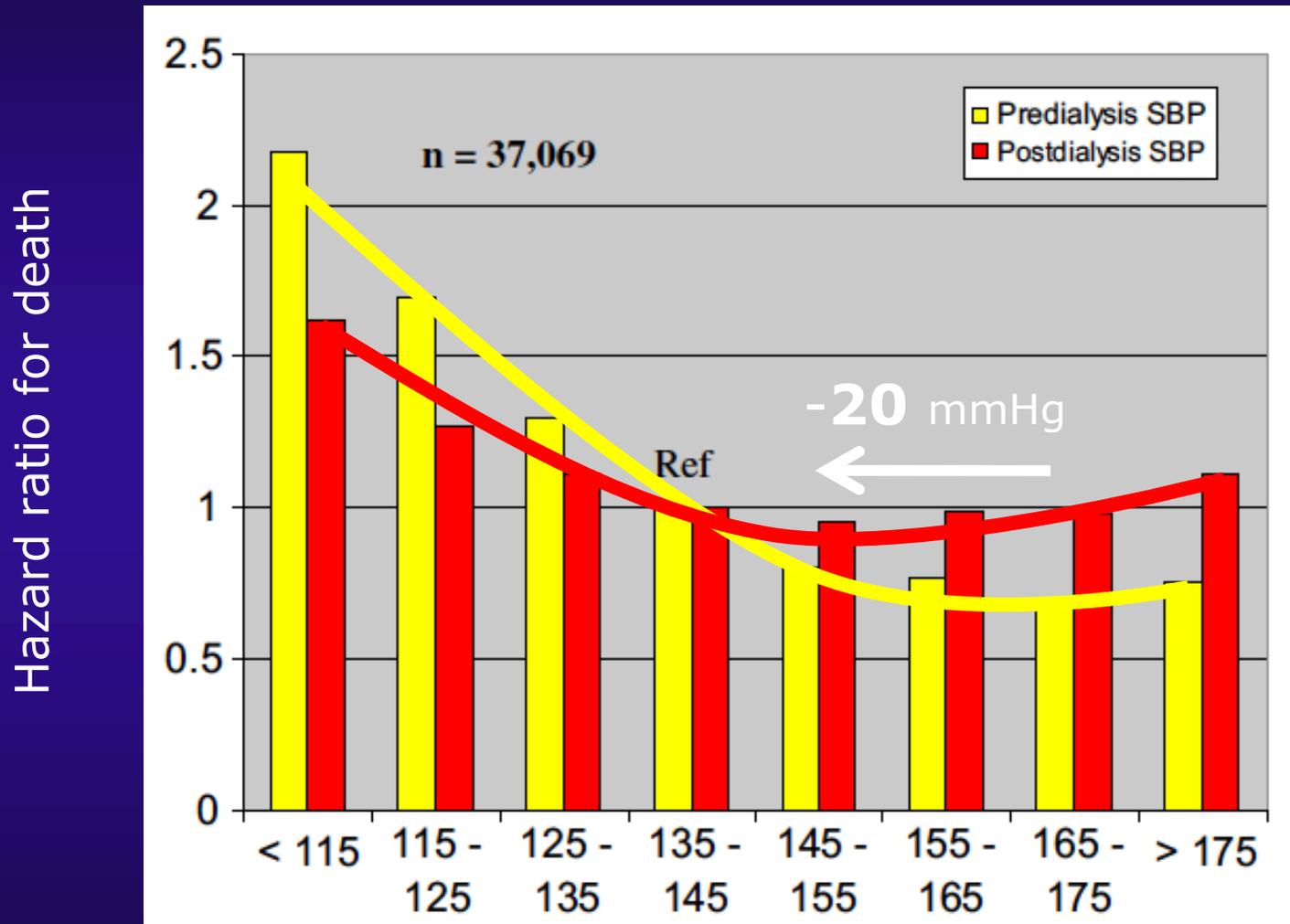
B. Fonctions de densité  
pour l'ensemble des enfants de la  
tranche d'âge

**OPTI**

**MA**

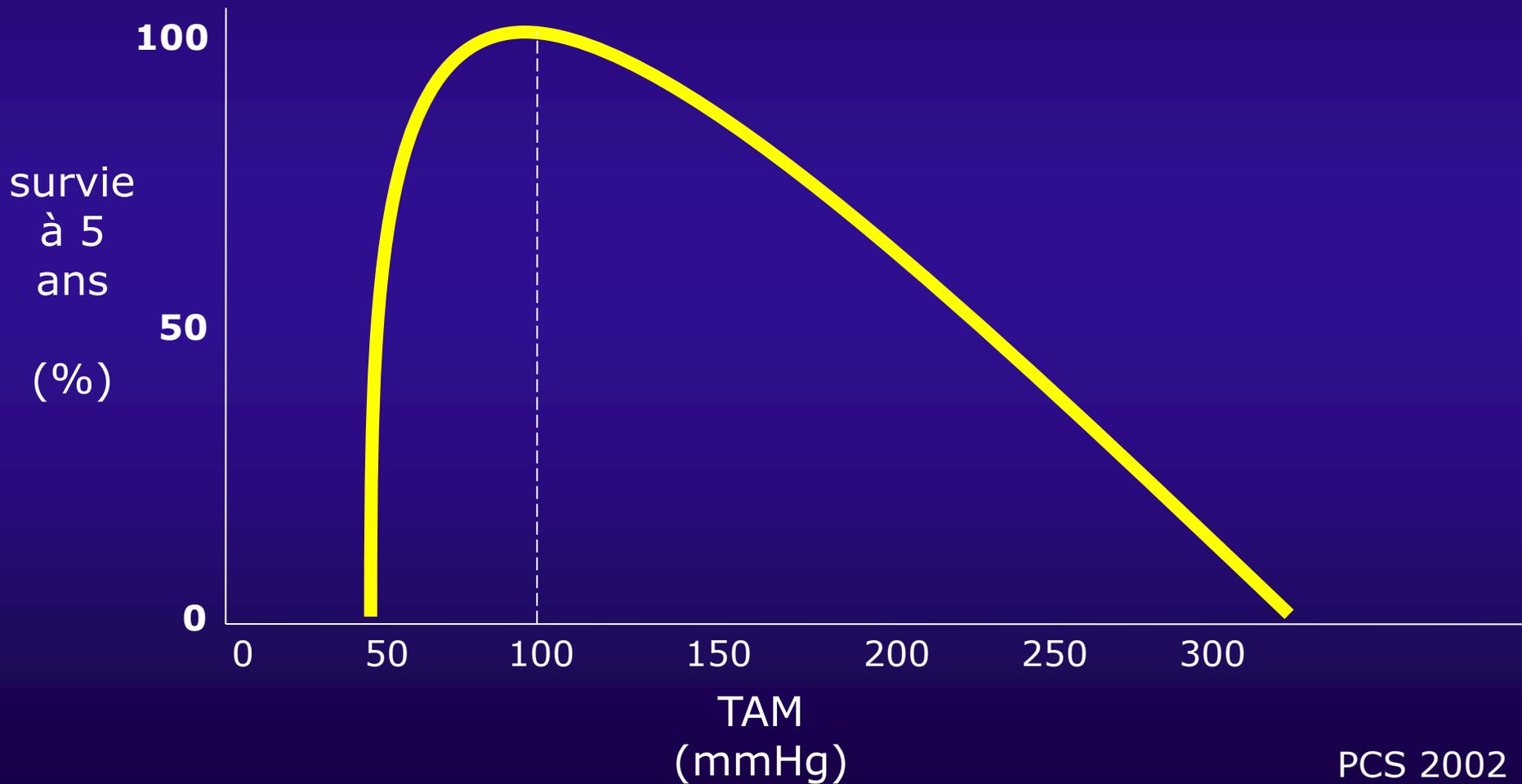
# HTA & survie

courbes en J



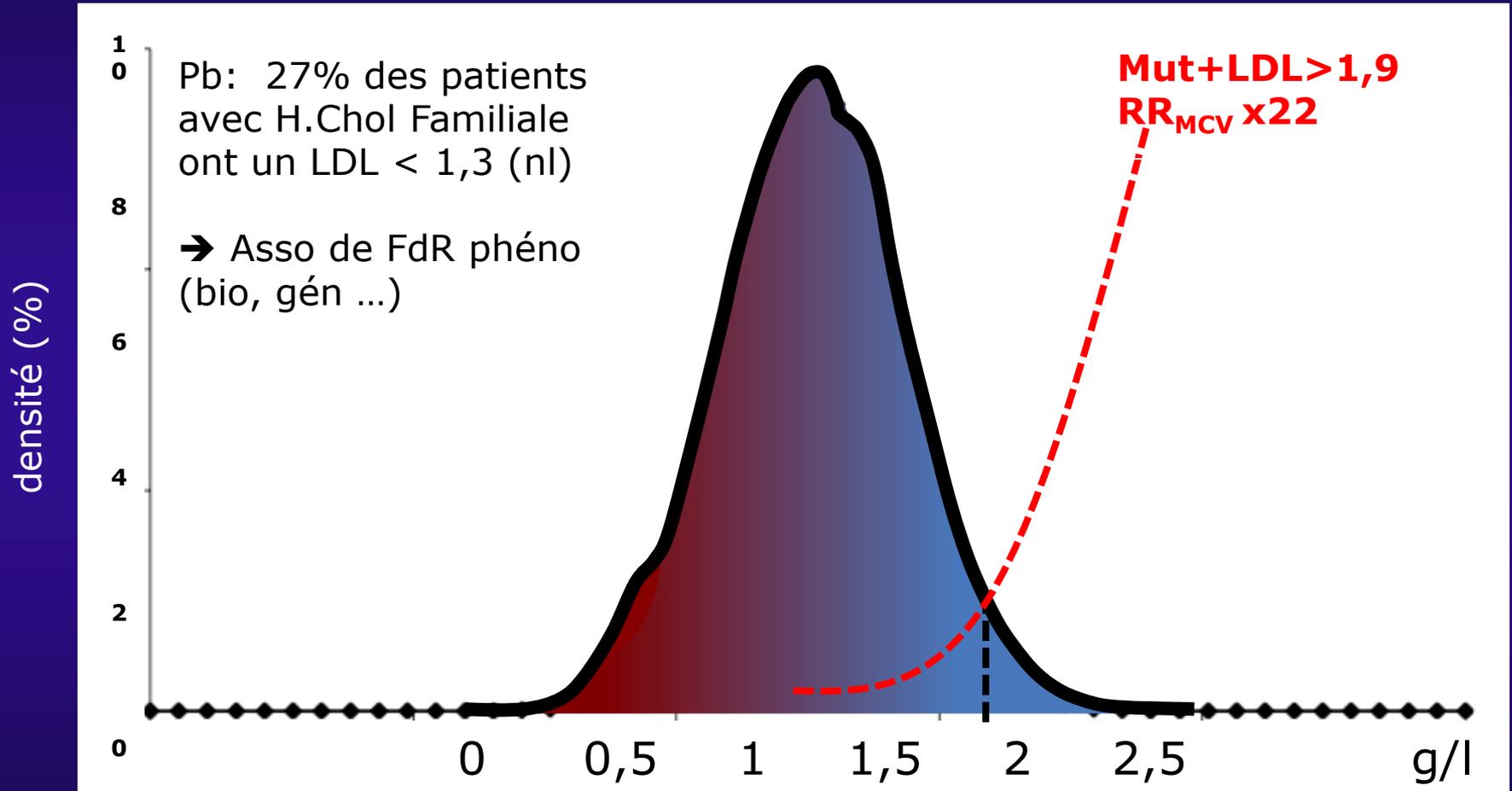
TAS pre- & post-dialyse  
(mmHg)

# TA & survie



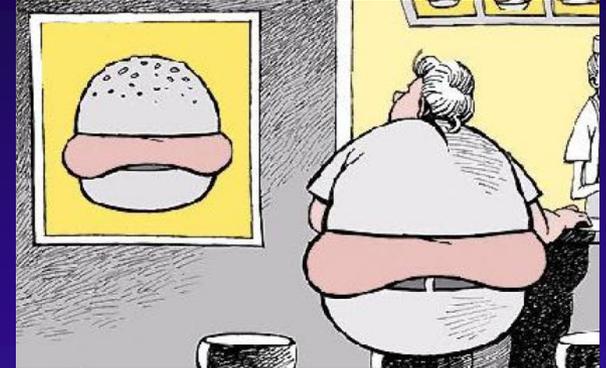
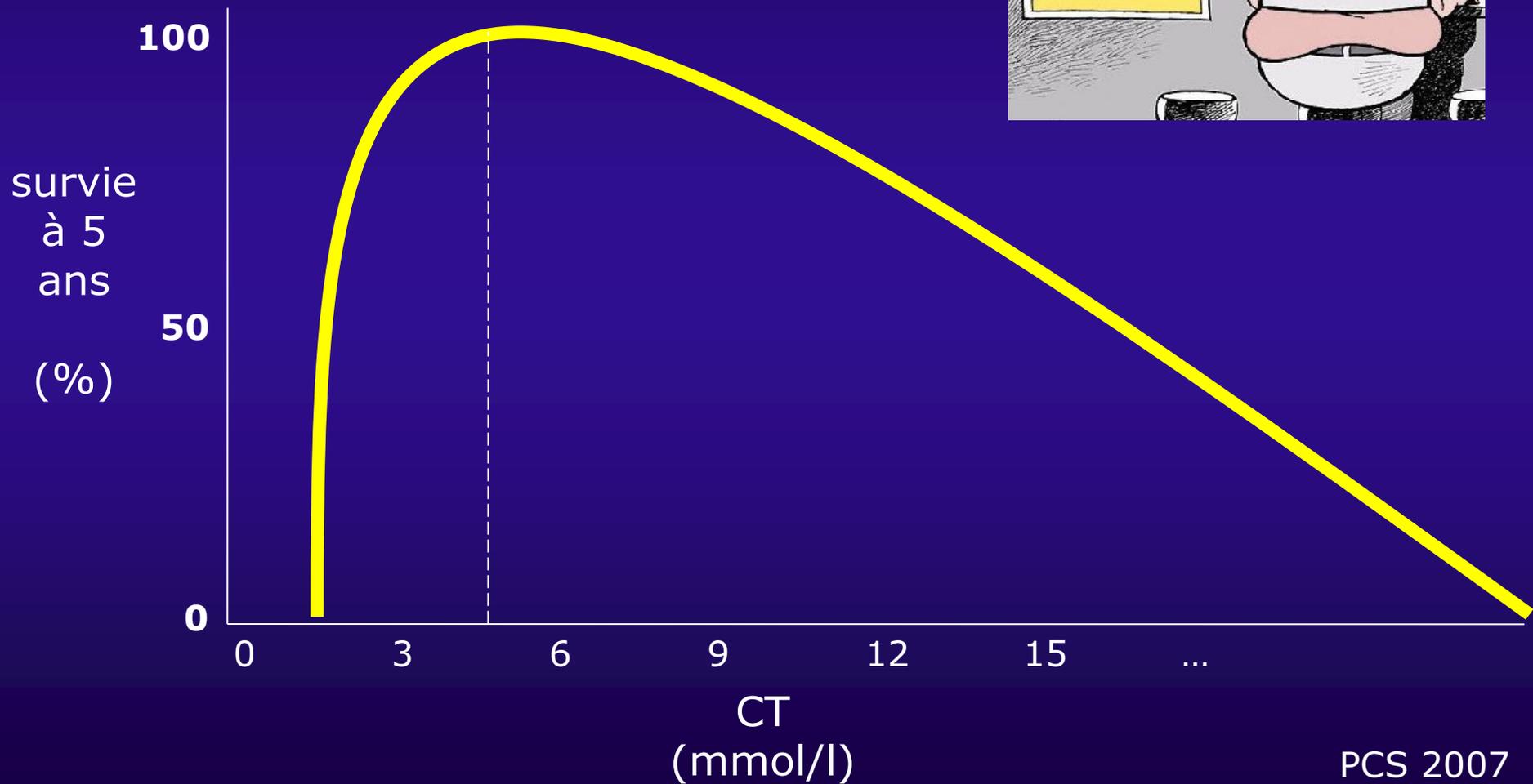
# généétique et distribution du risque

## LDL

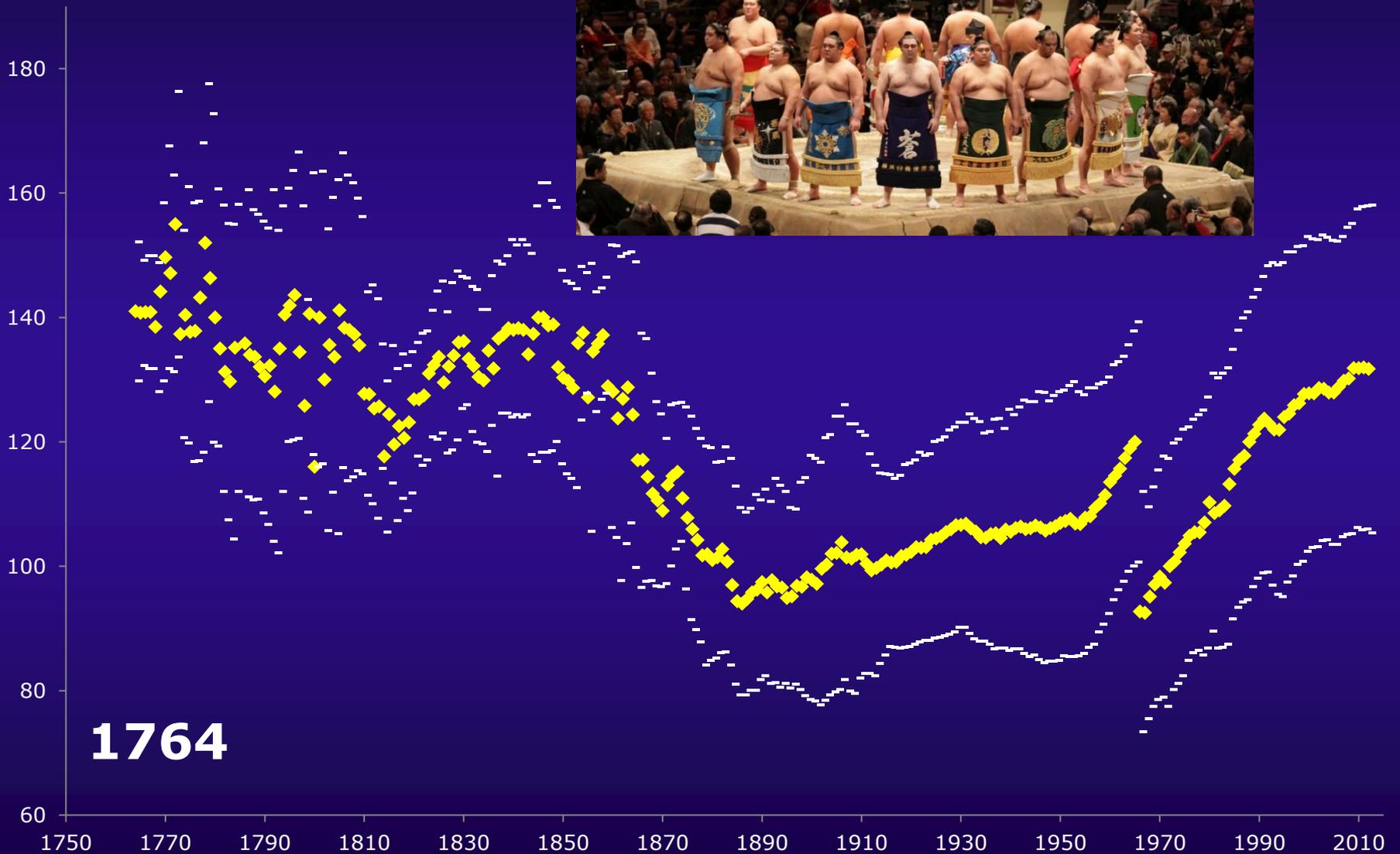


7% avec LDL > 1,9 g/l  
dont 1,7% mutation familiale  
(LDL<sub>R</sub>, apoB ou PCSK<sub>9</sub>)

# Cholestérol & survie

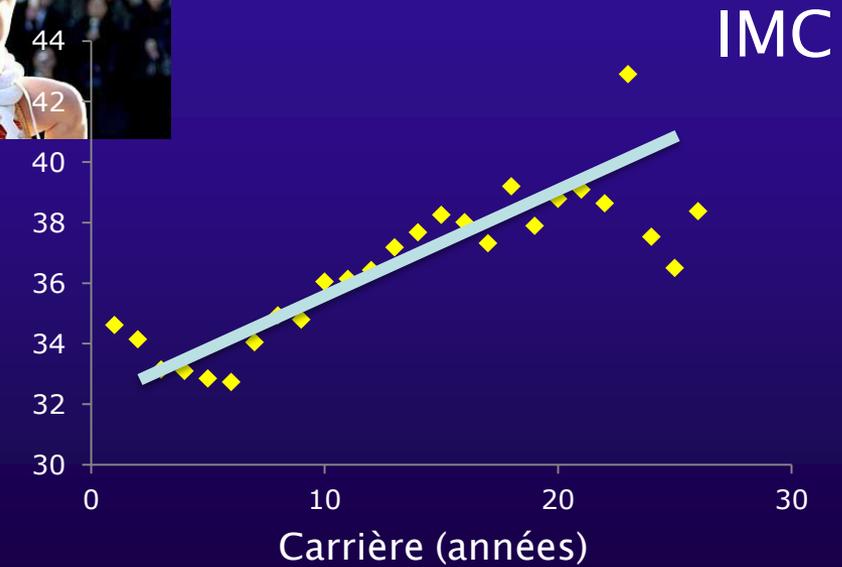
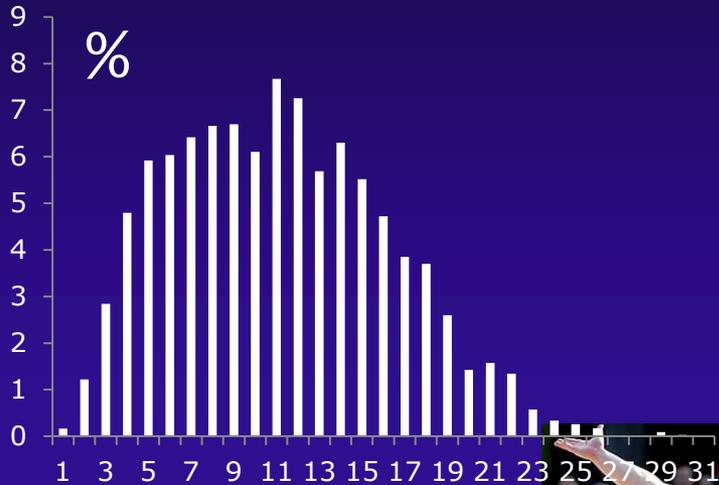


# Sumo poids moyen



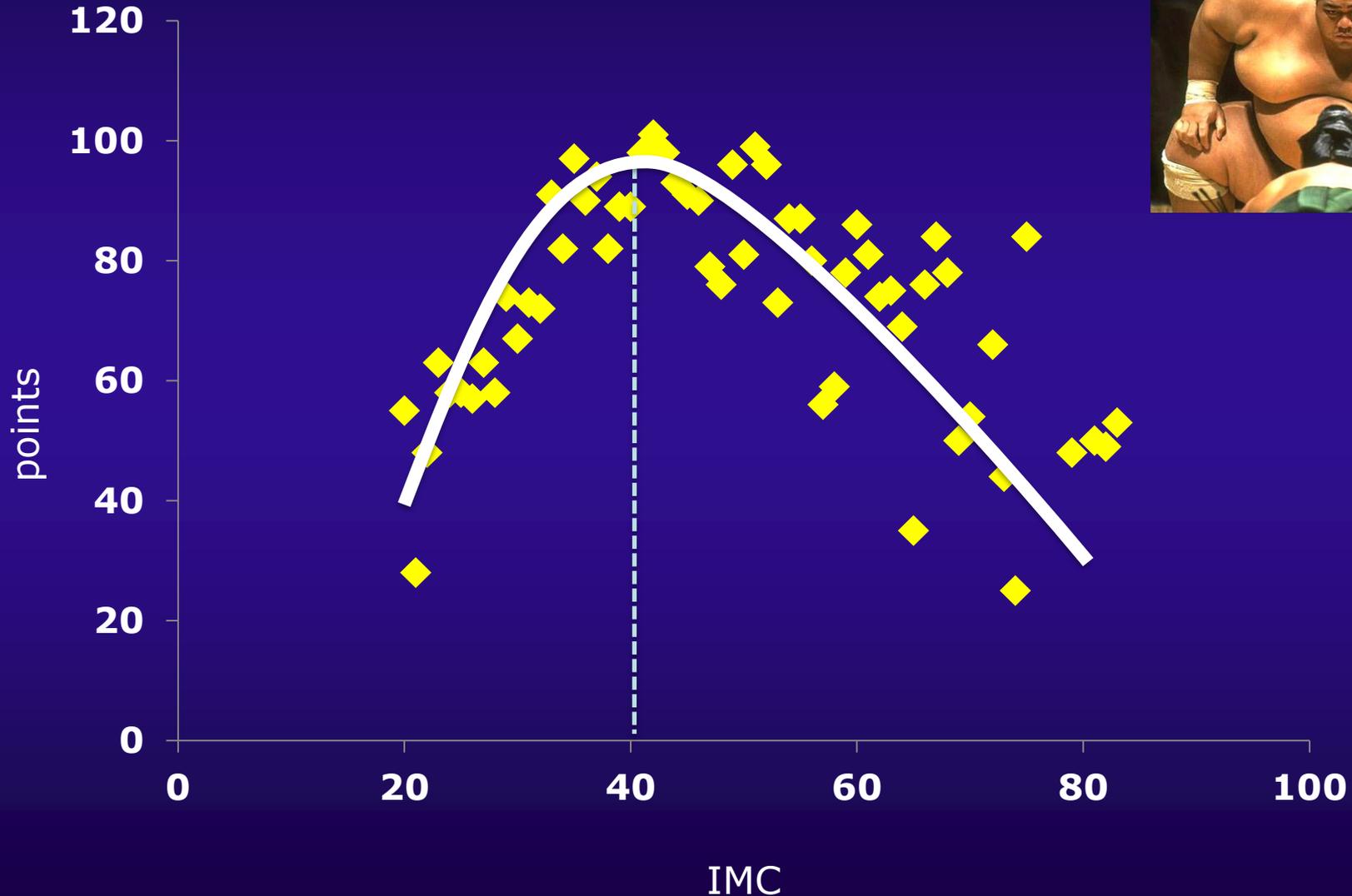
# Sumo

## Durées de carrière & Biométrie



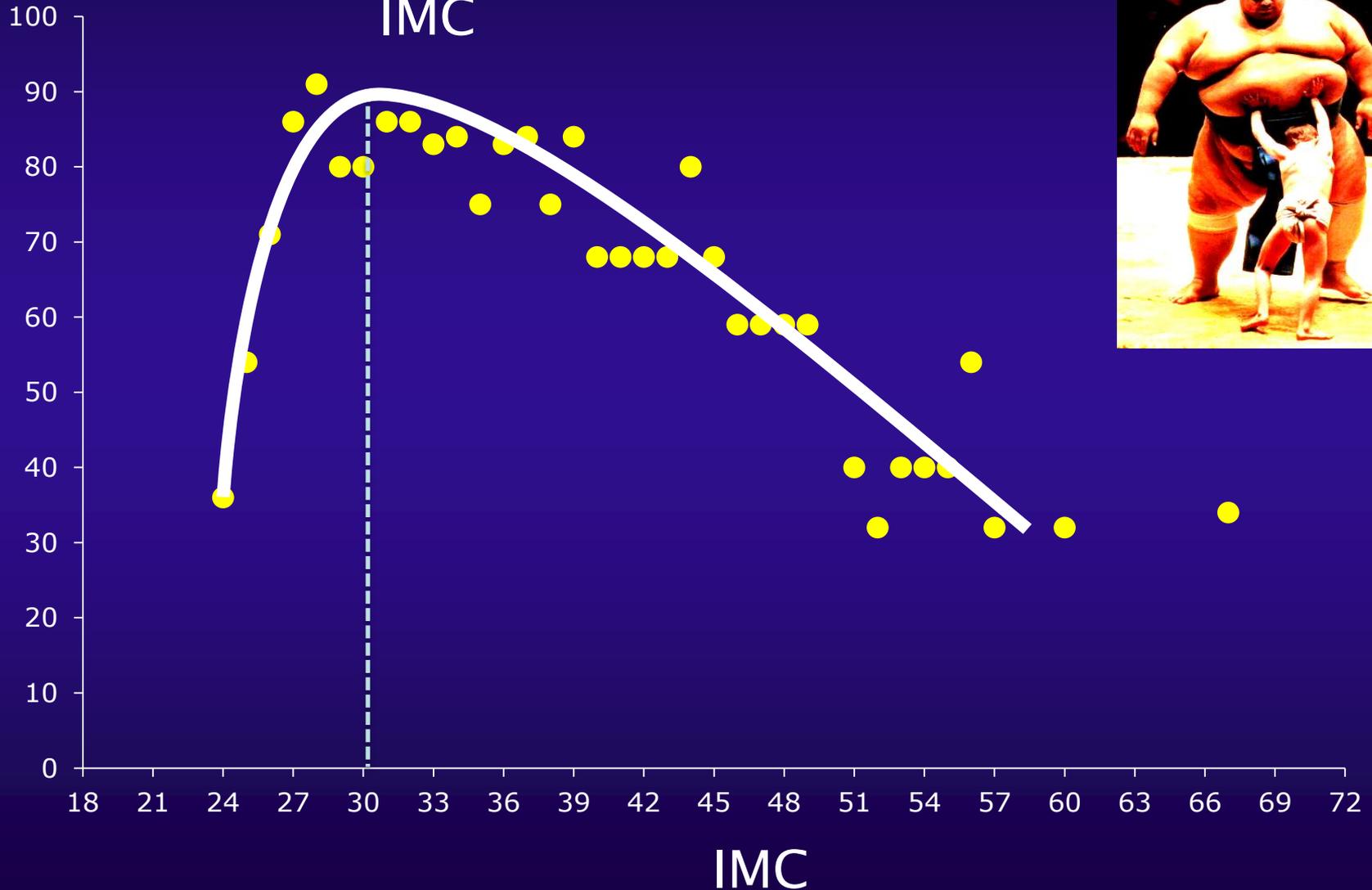
# SUMO & performance

Perf maximale & IMC

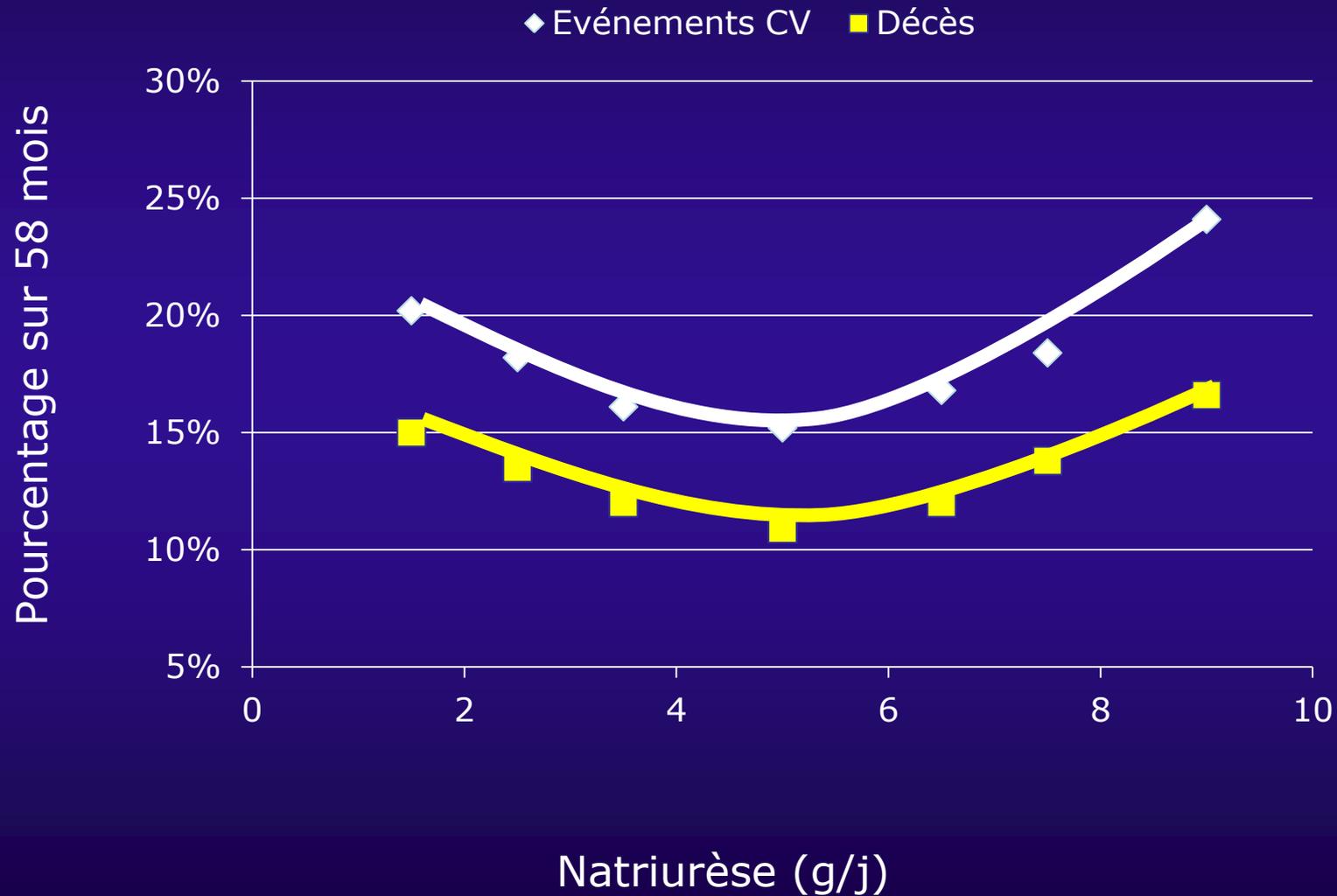


# SUMO & mortalité

Longévité maximale &  
IMC



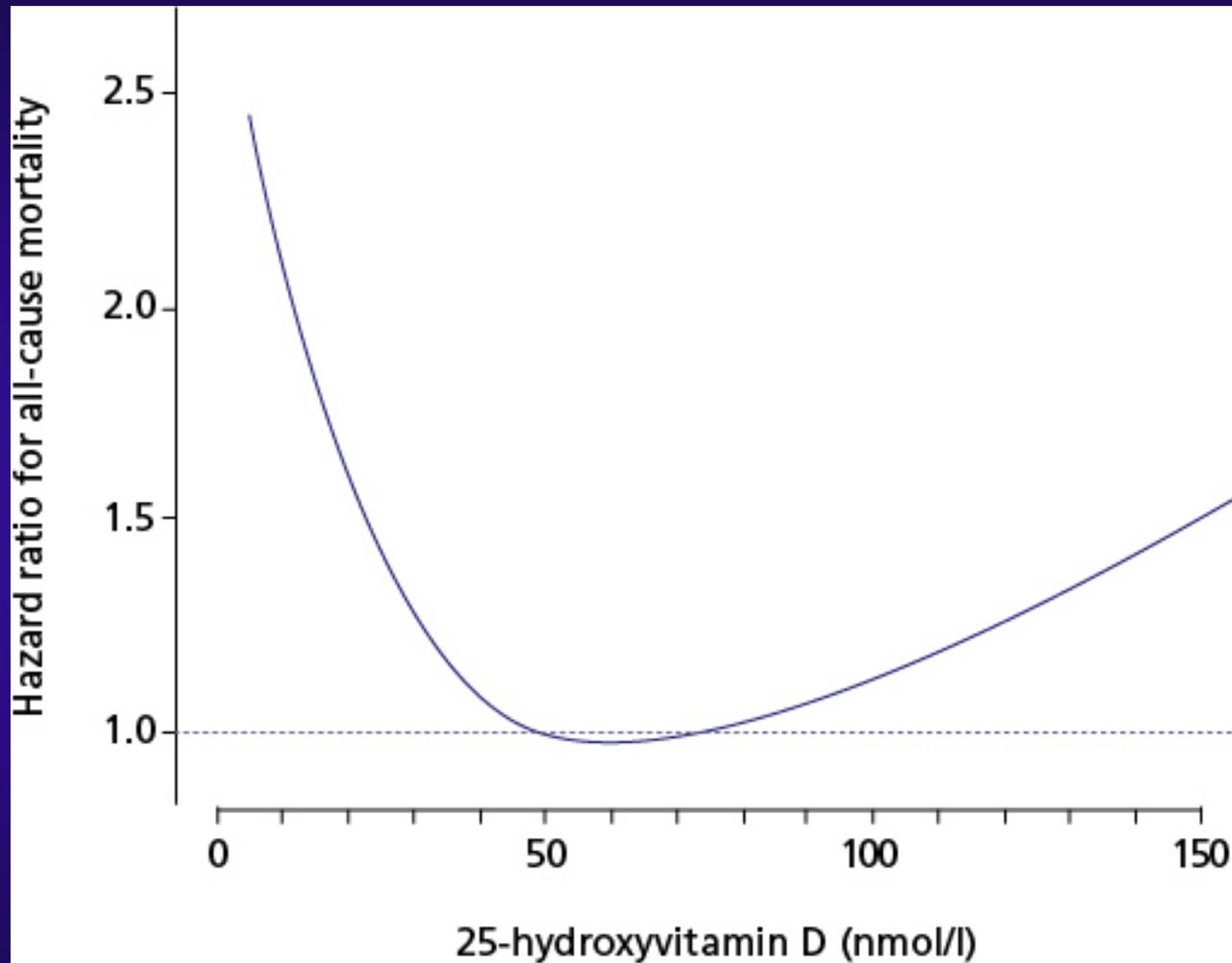
# Sel & survie



Natriurèse (g/j)  
28 800 sujets, suivis 5 ans

# vitamine D & survie

mortalité globale



concentration sérique

# optima multi-dimensionnels

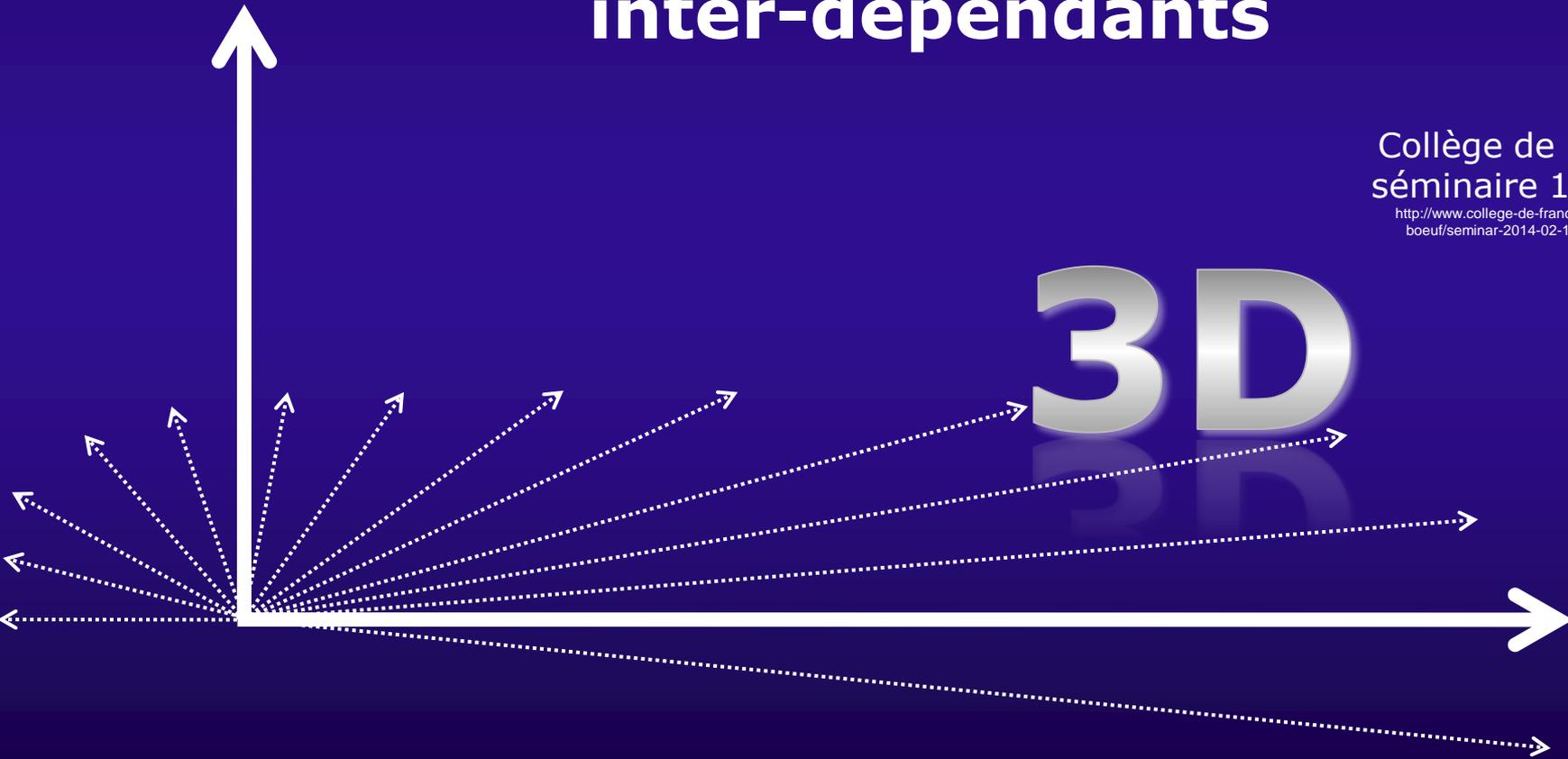
## phénotype et performance

Berthelot G, 2015  
*Sport Med* 45: 1263

**phénotype : ensemble d'indicateurs  
inter-dépendants**

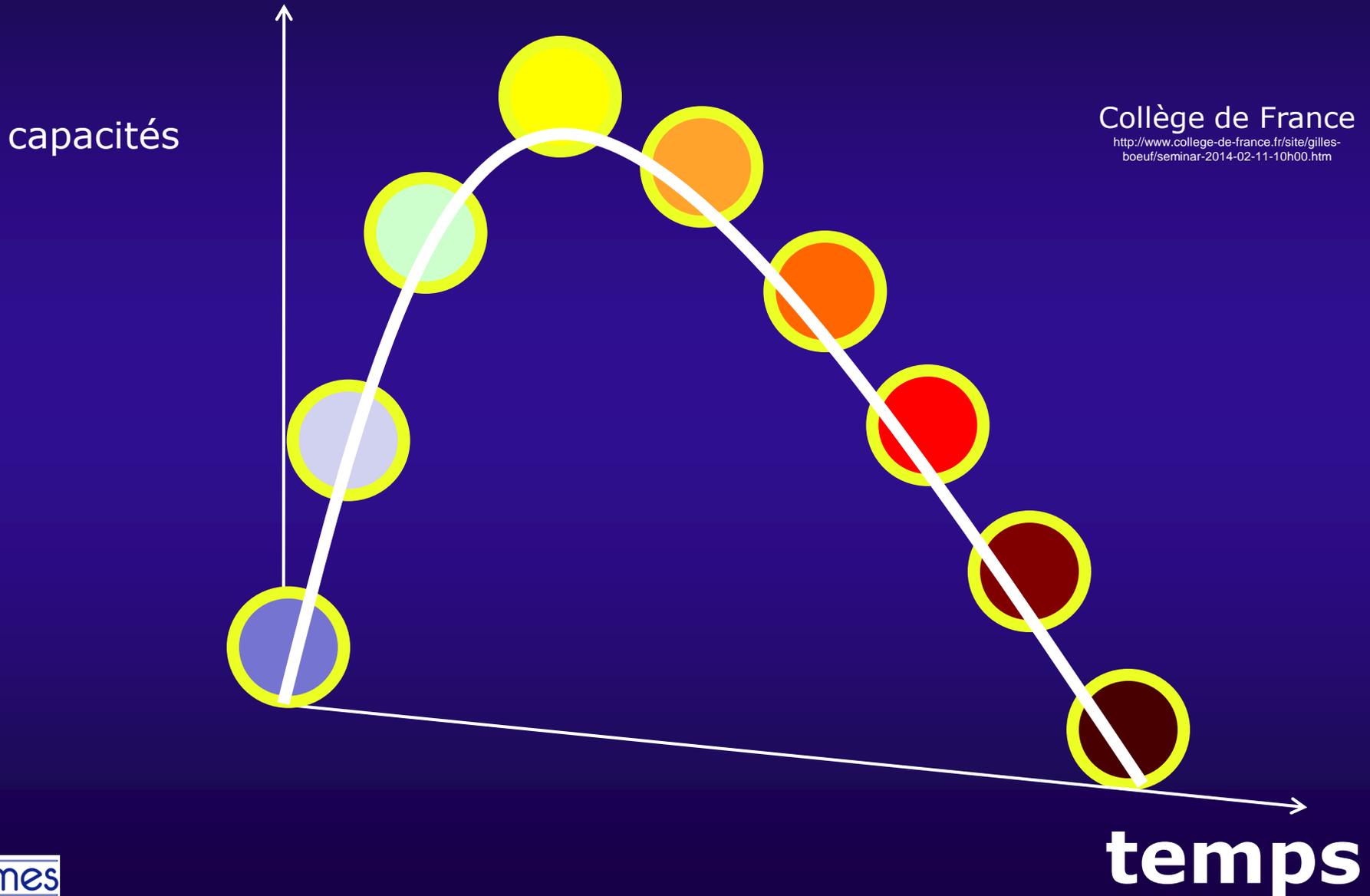
Collège de France  
séminaire 11/2/14  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

**3D**



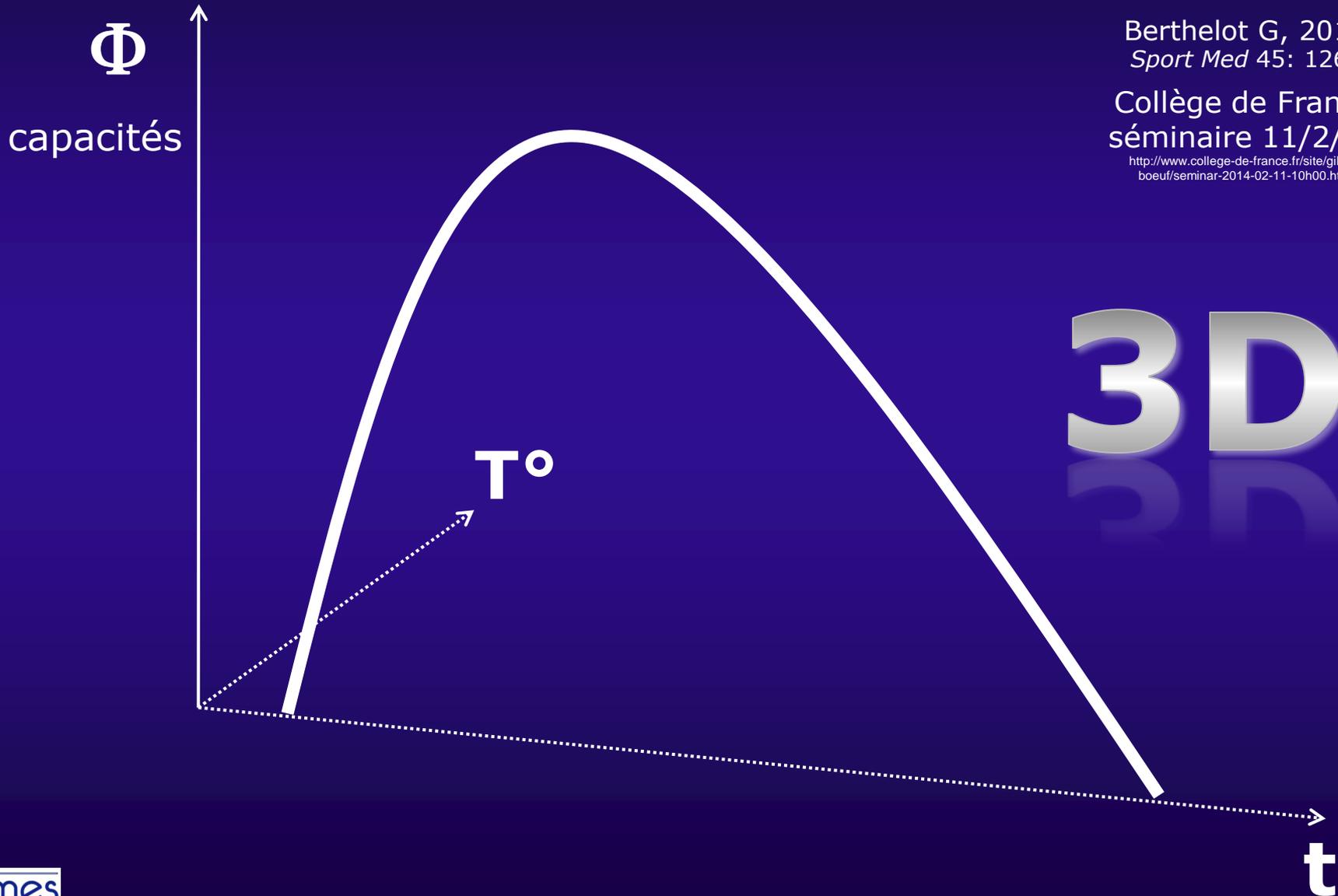
# optima multi-dimensionnels

## phénotype et âge



# optima multi-dimensionnels

## phénotype, âge et température



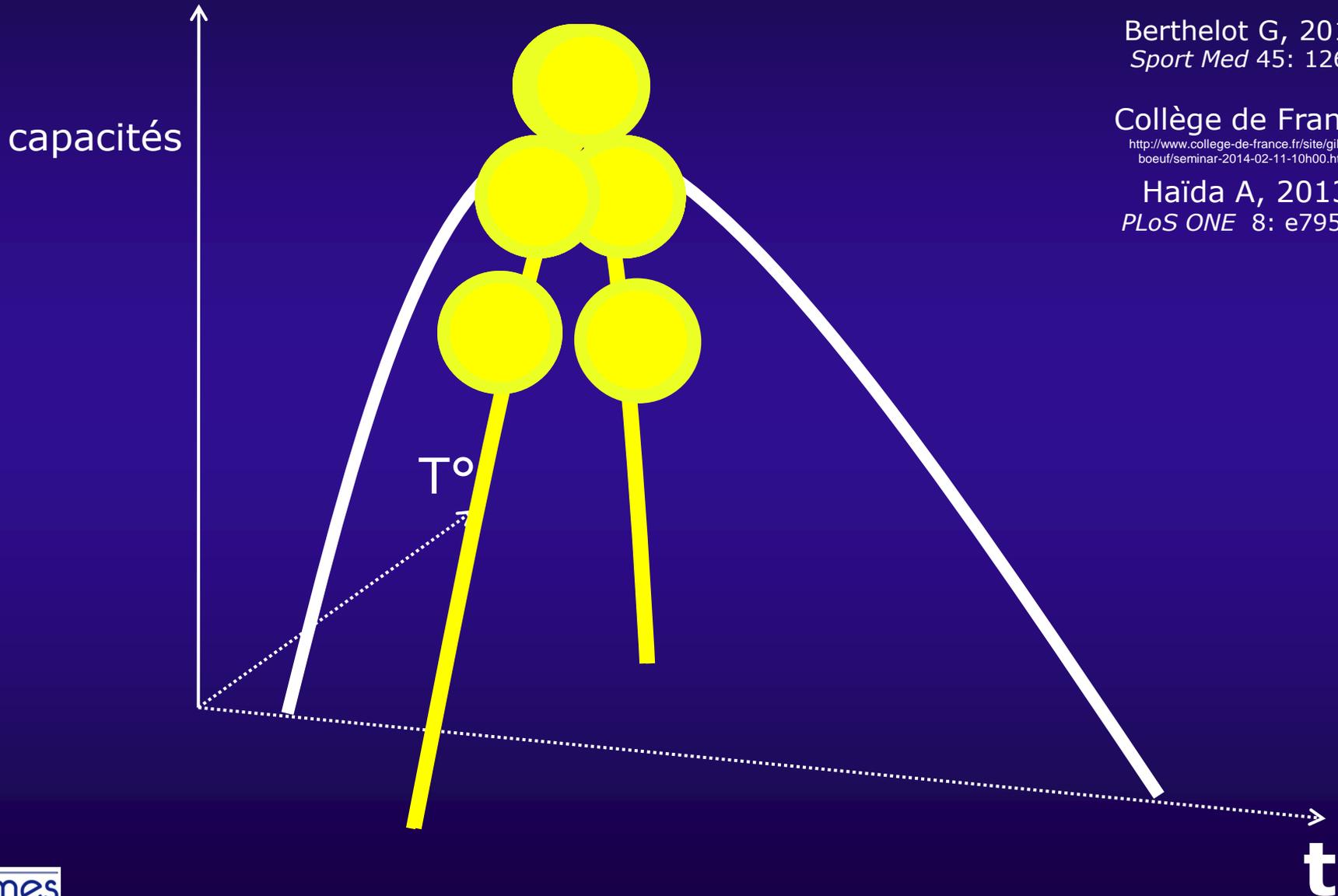
Berthelot G, 2015  
*Sport Med* 45: 1263

Collège de France  
séminaire 11/2/14

<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

# optima multi-dimensionnels

## âge et température



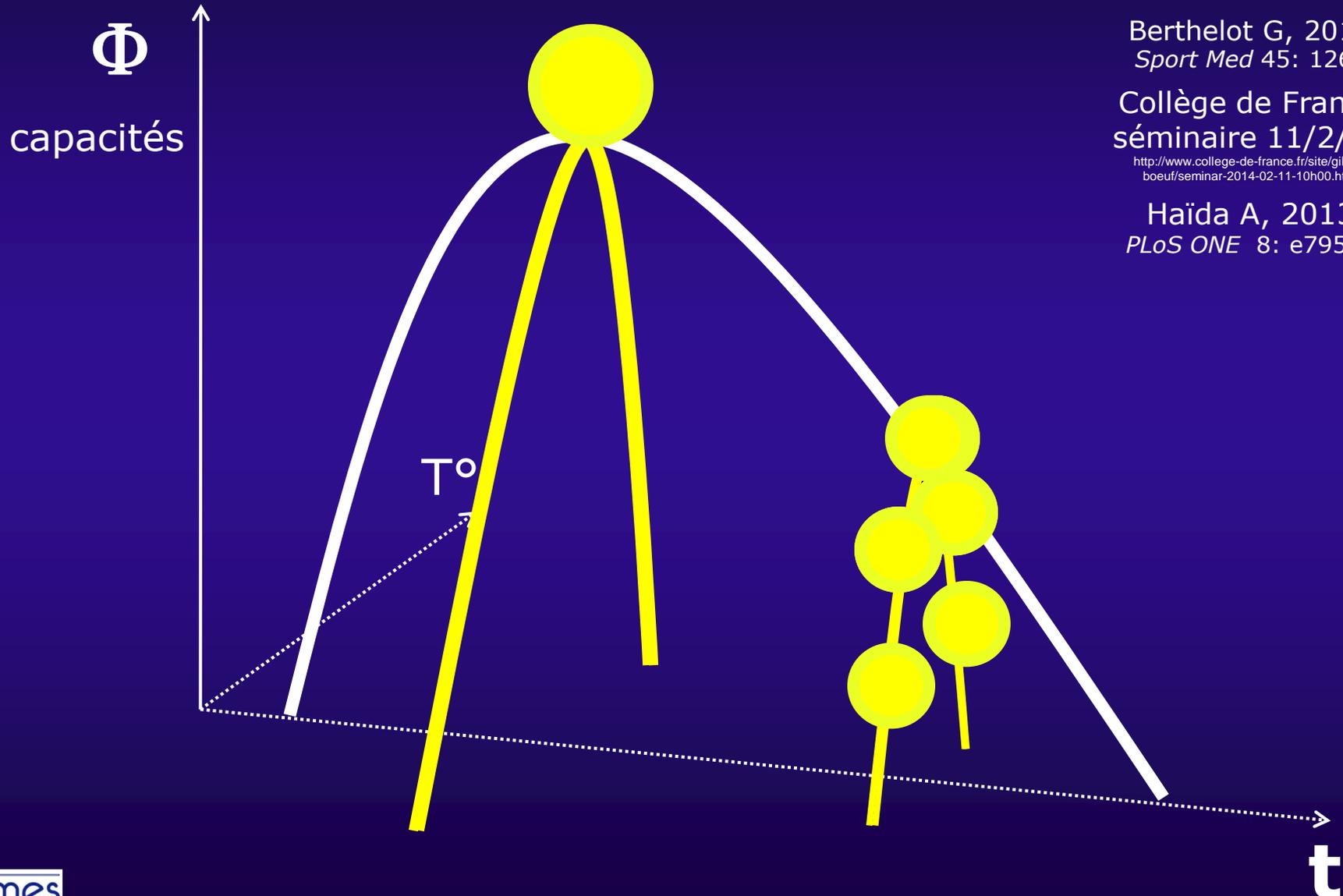
Berthelot G, 2015  
*Sport Med* 45: 1263

Collège de France  
<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

Haïda A, 2013  
*PLoS ONE* 8: e79548

# optima

## âge et température



Berthelot G, 2015  
*Sport Med* 45: 1263

Collège de France  
séminaire 11/2/14

<http://www.college-de-france.fr/site/gilles-boeuf/seminar-2014-02-11-10h00.htm>

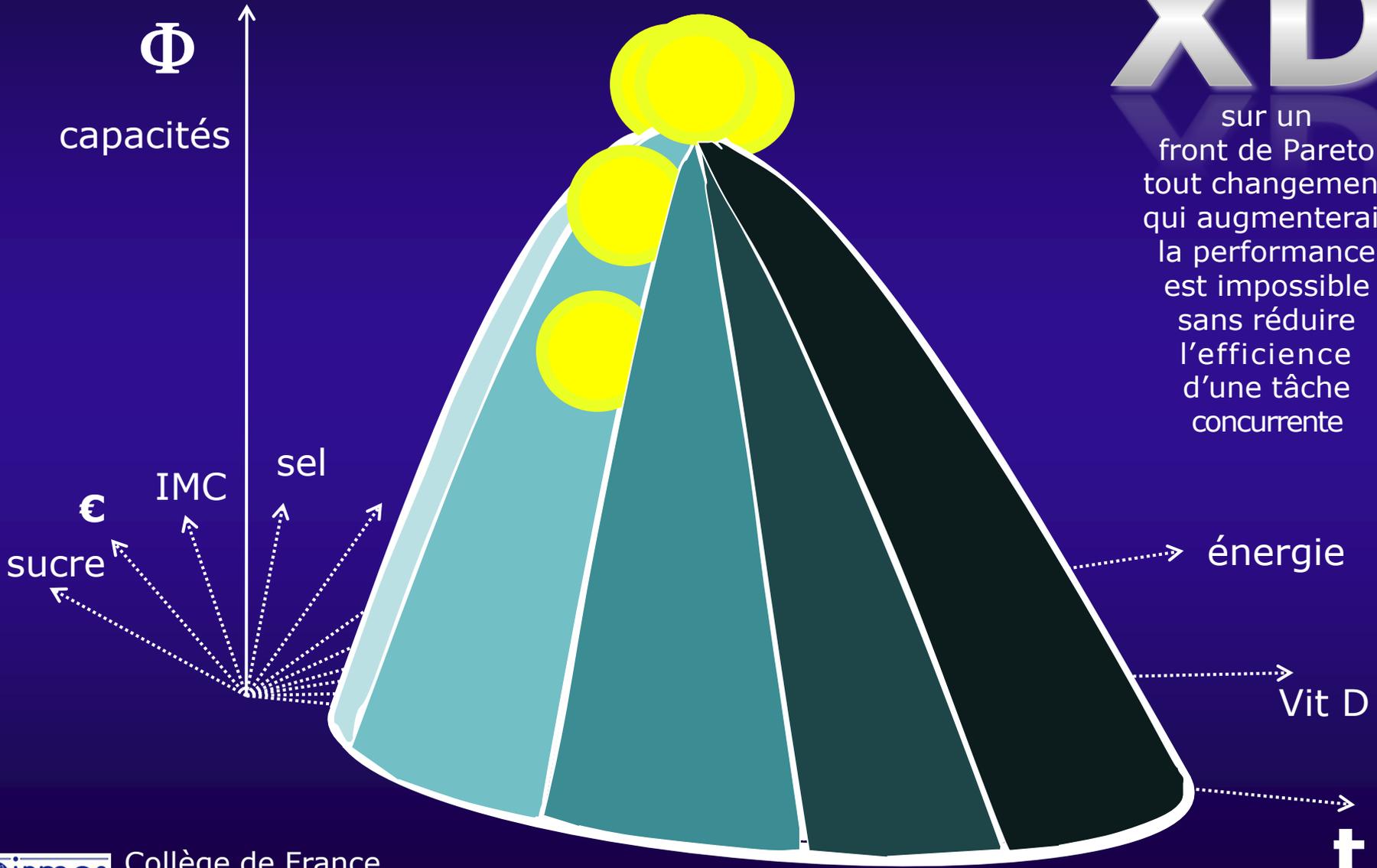
Haïda A, 2013  
*PLoS ONE* 8: e79548

# optima multi-dimensionnels

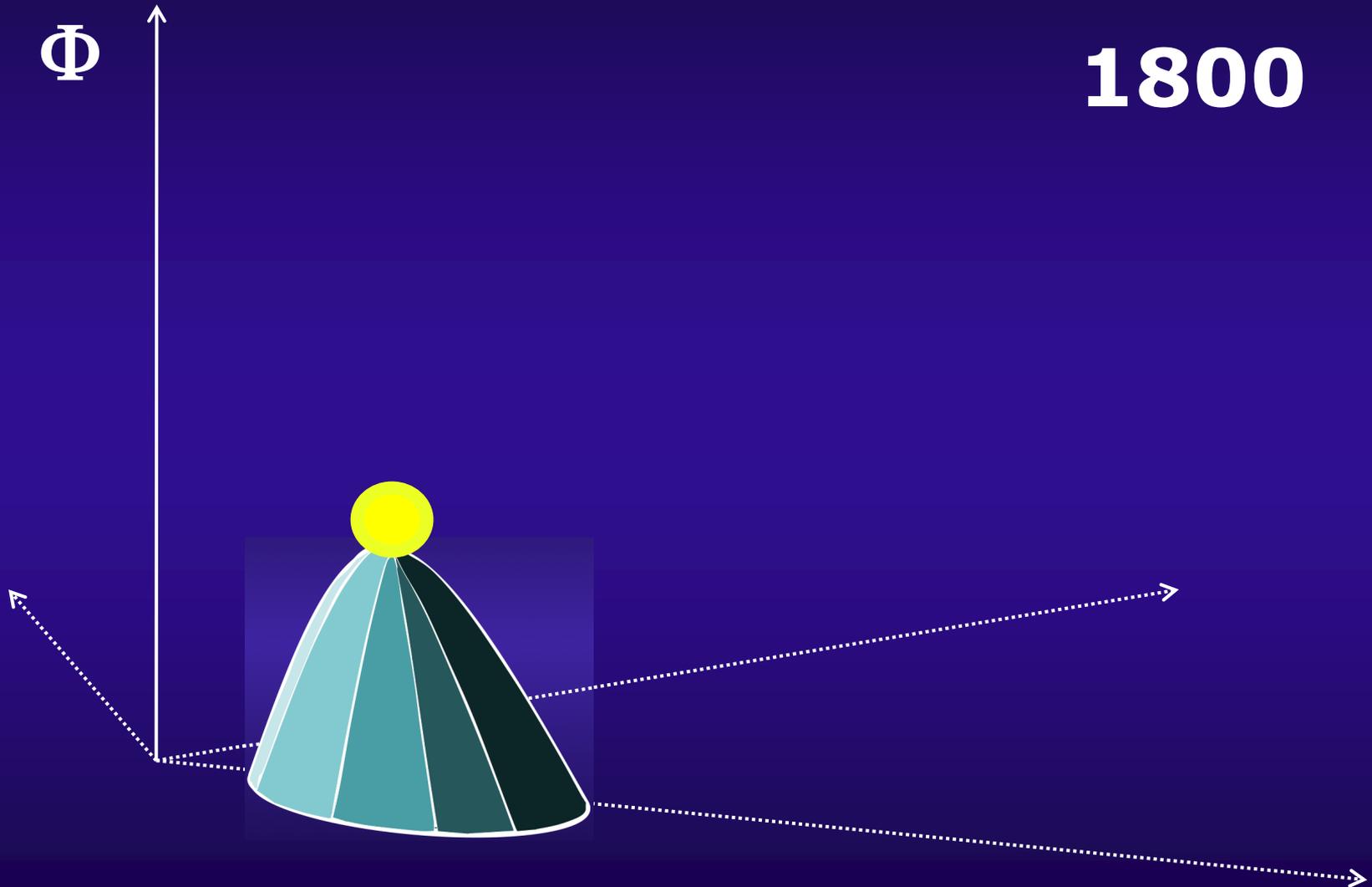
## fronts de Pareto

# XD

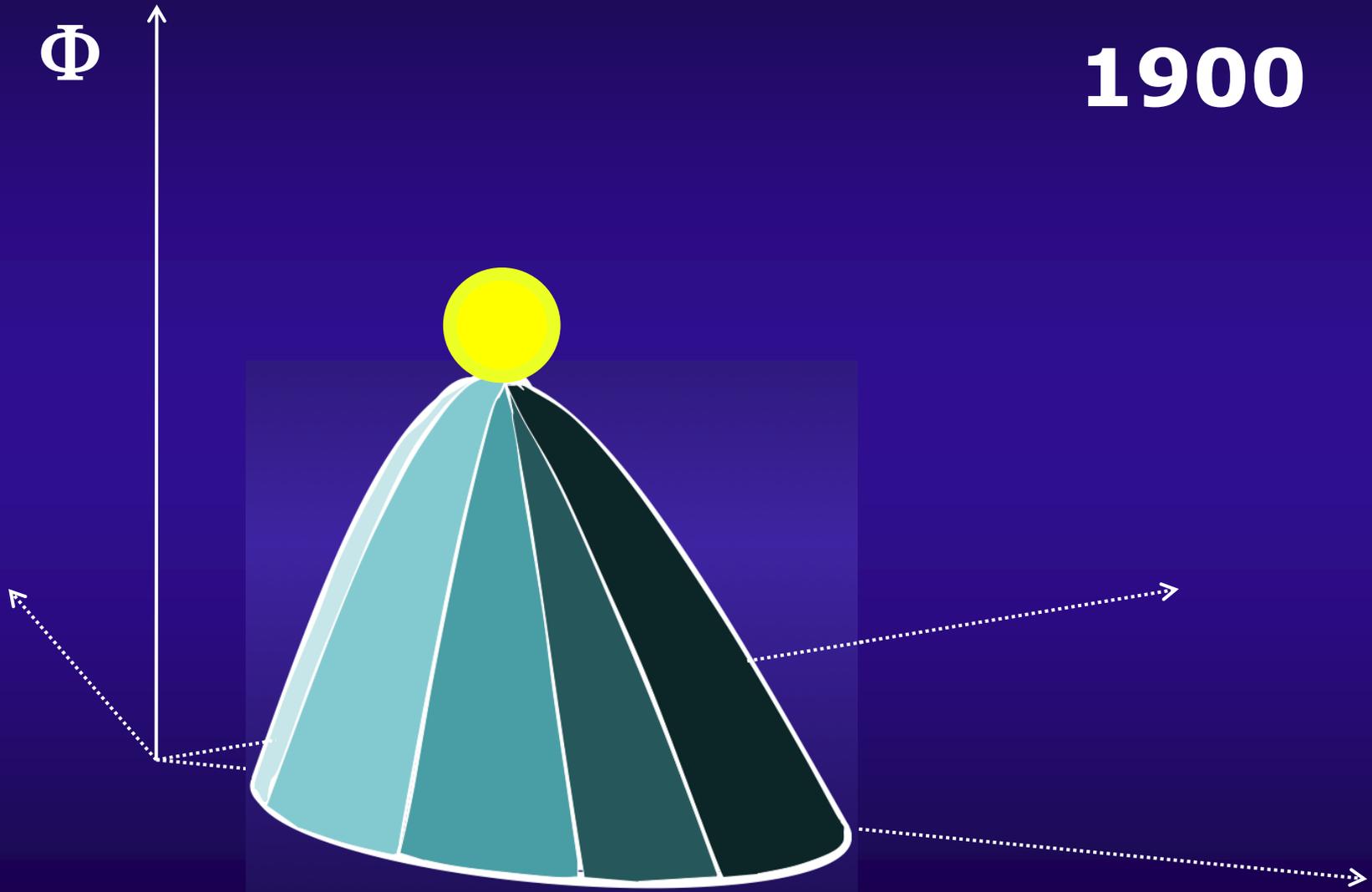
sur un front de Pareto tout changement qui augmenterait la performance est impossible sans réduire l'efficacité d'une tâche concurrente



# expansion & optima



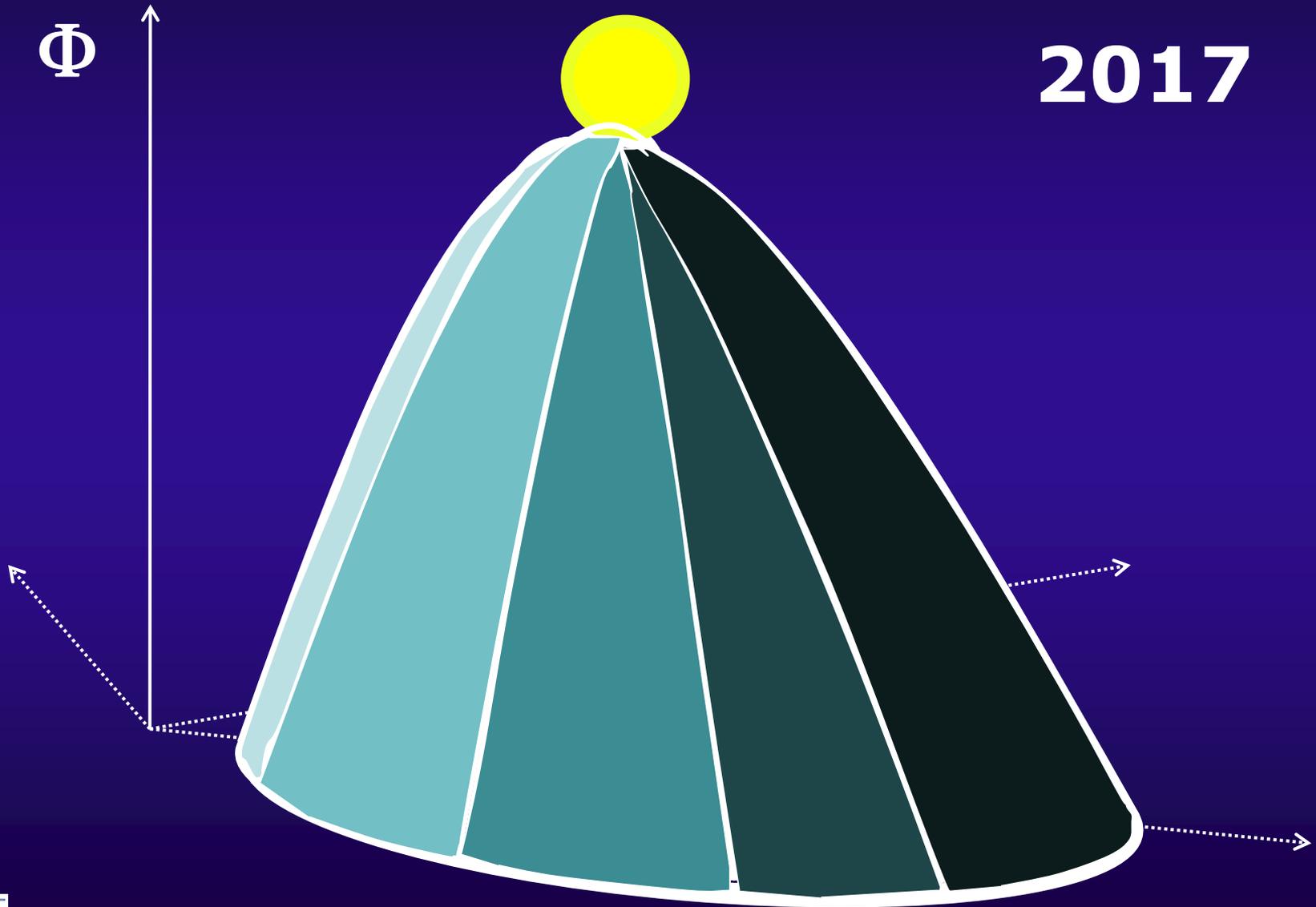
# optima & expansion



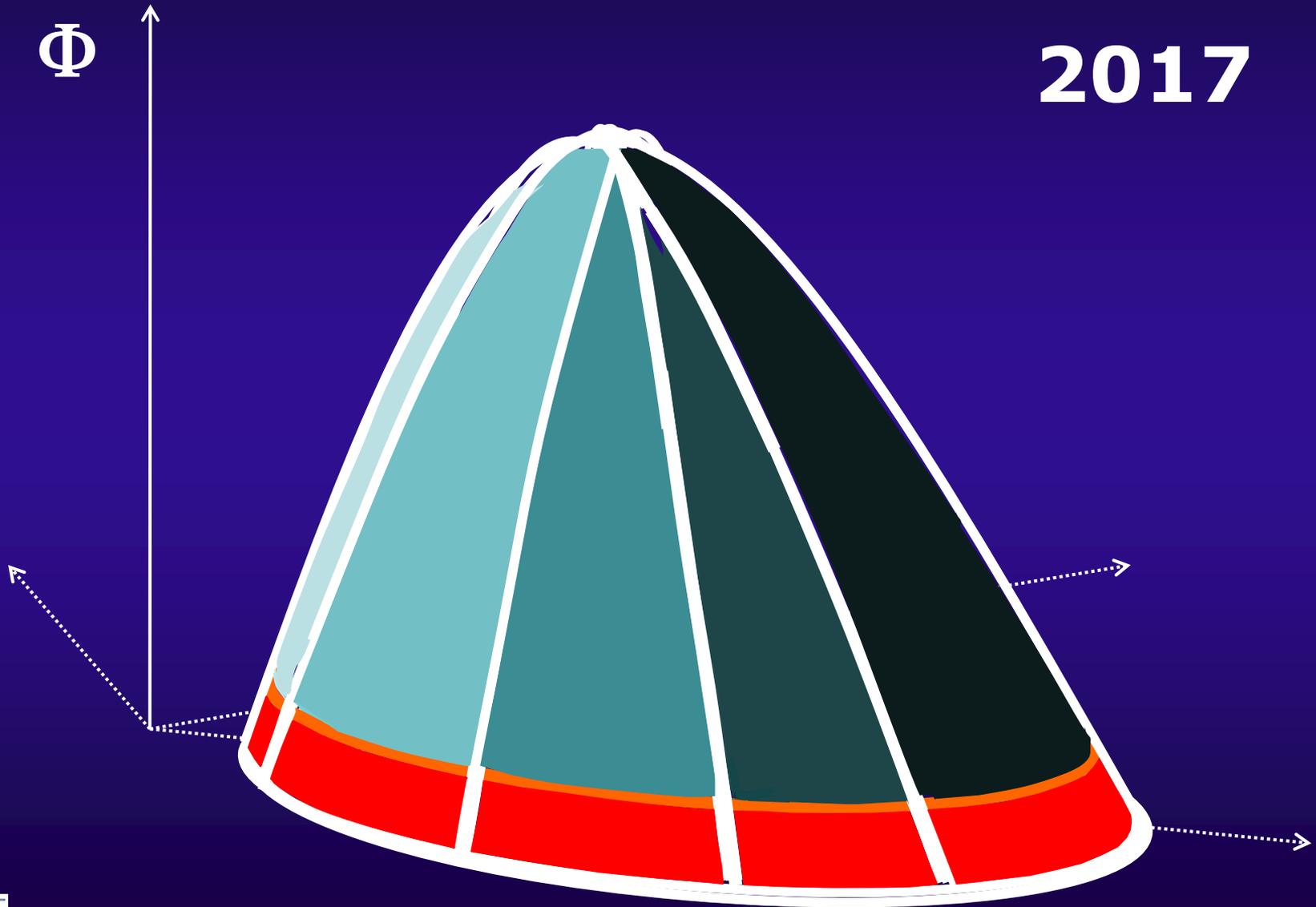
1900

$\Phi$

# optima & expansion



# optima & expansion vulnérabilités



# optima & expansion vulnérabilités

$\Phi$

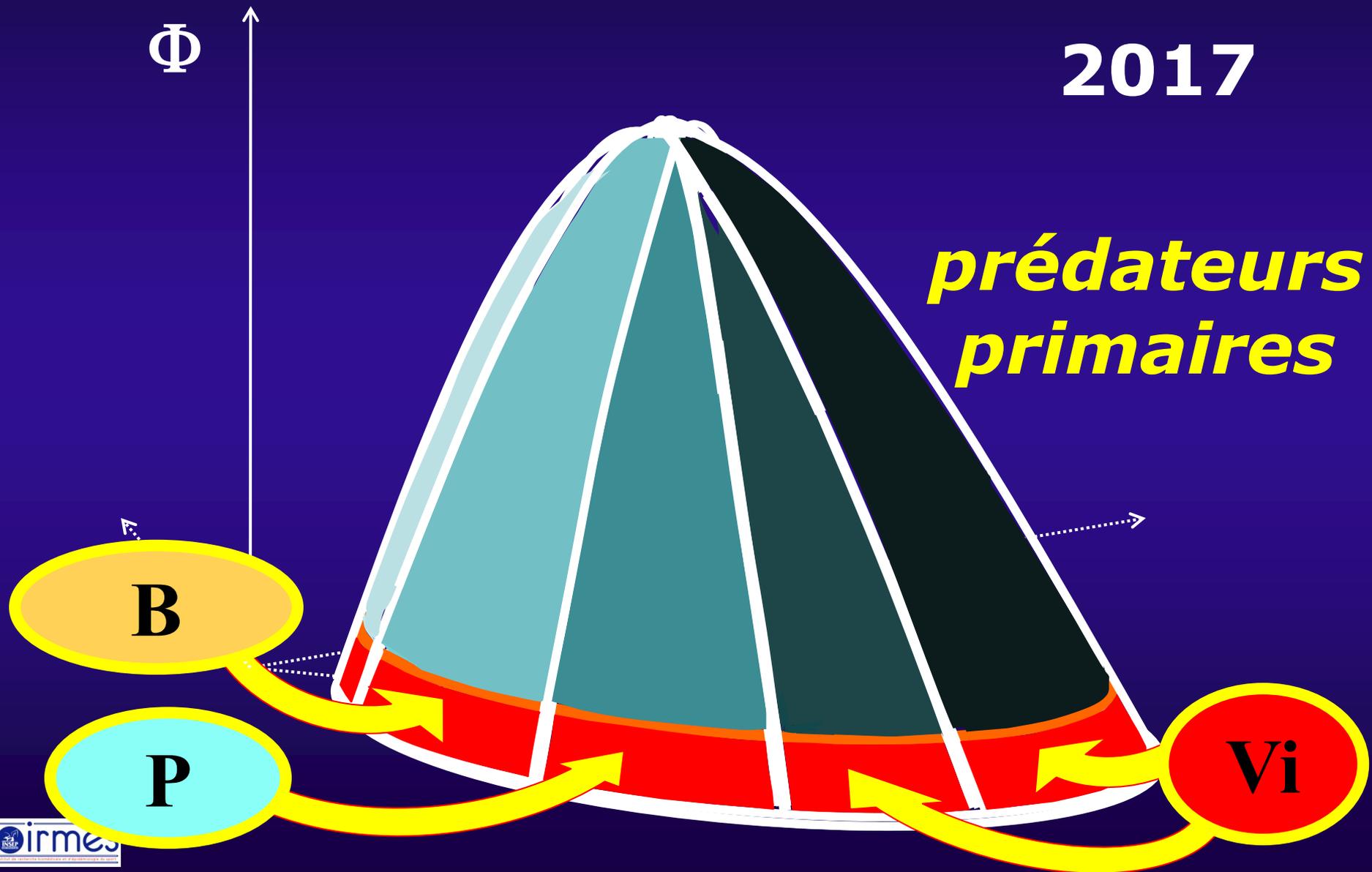
2017

*prédateurs  
primaires*

**B**

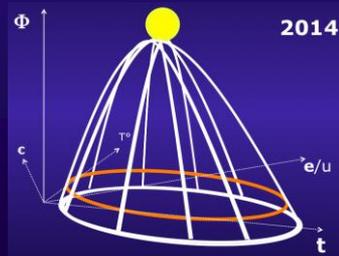
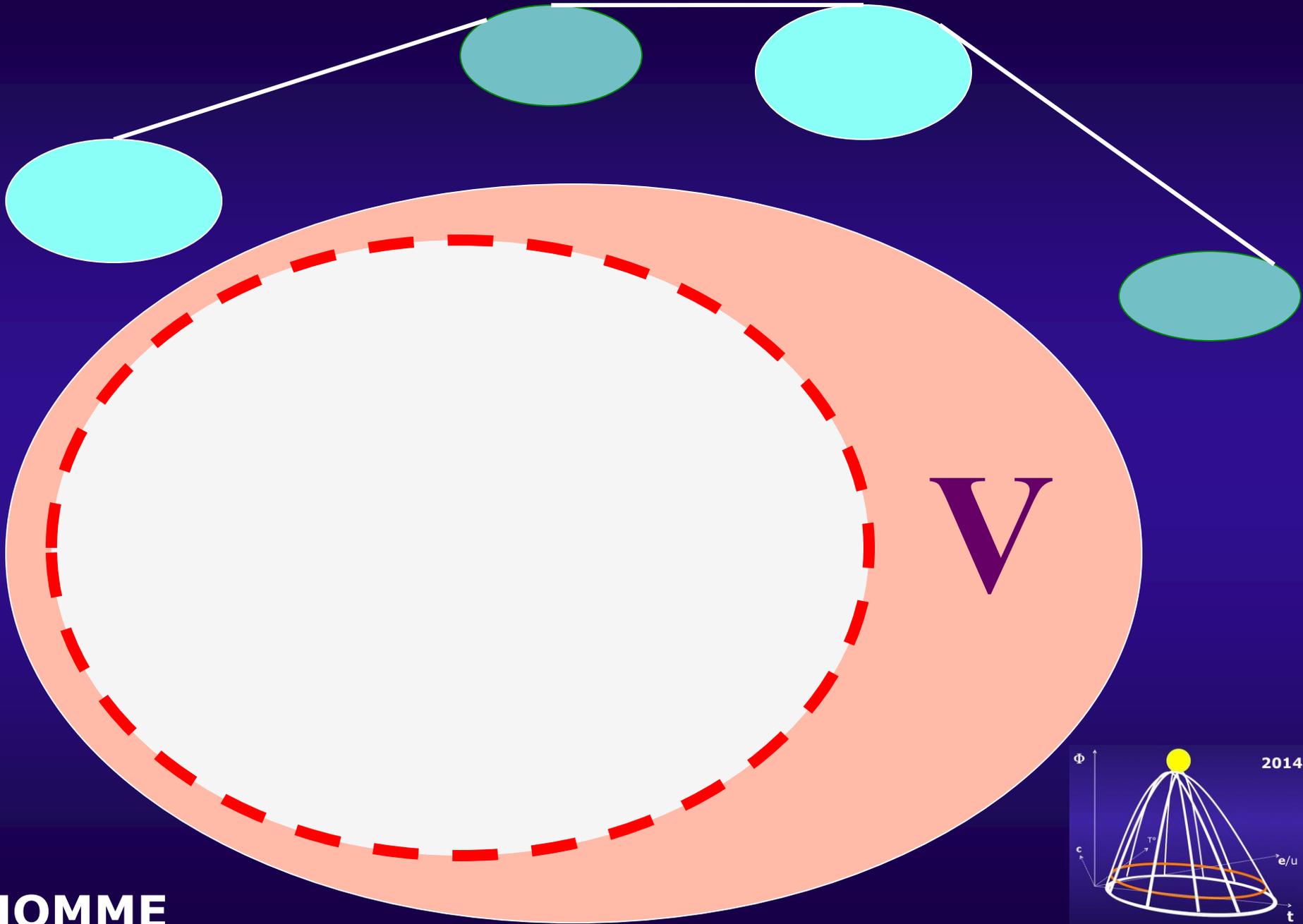
**P**

**Vi**



**2015**

**BIOTOPE**



**HOMME**

# 2015 Emergences et Réémergences

**Prédateurs**

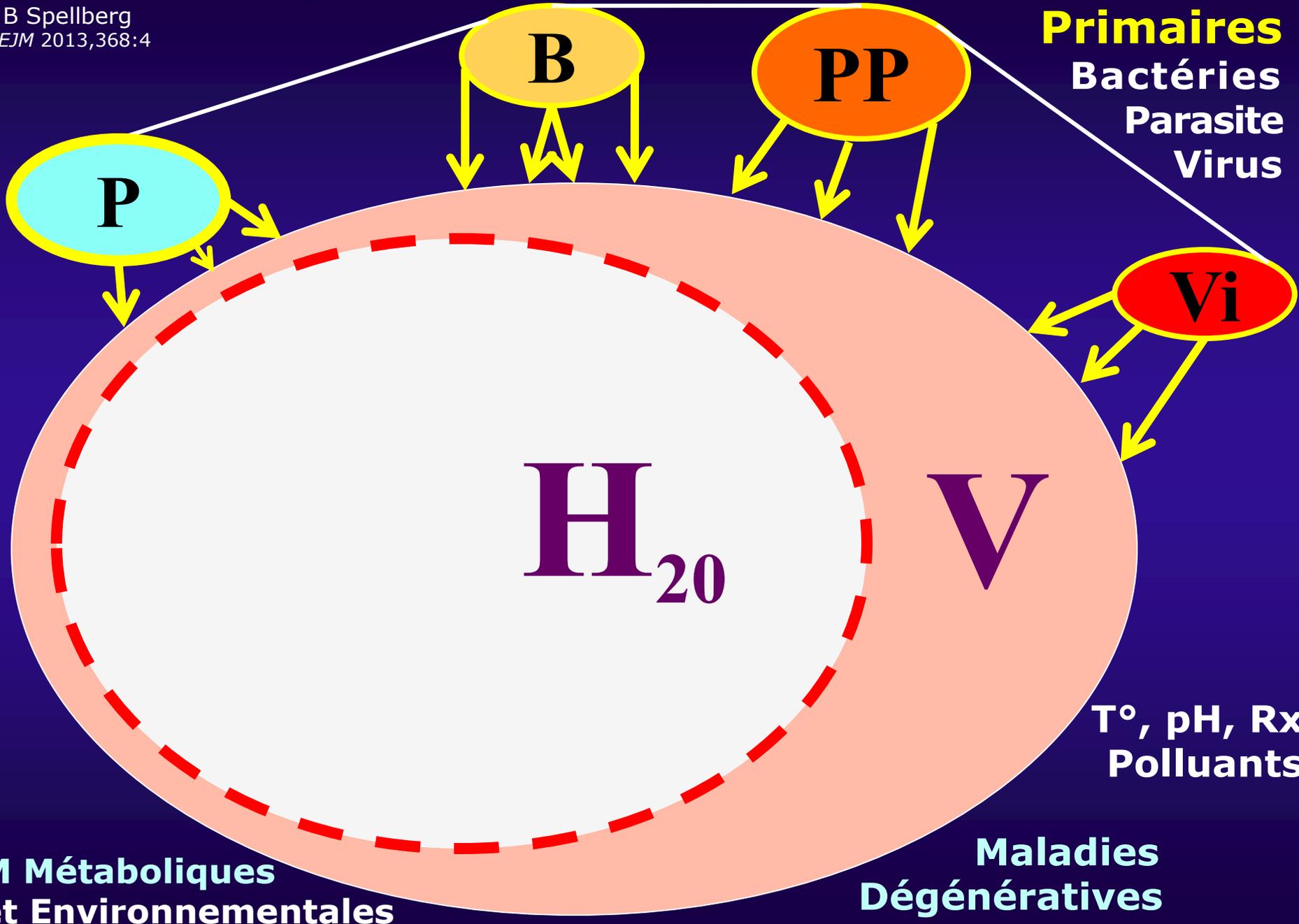
**Primaires**

Bactéries

Parasite

Virus

B Spellberg  
NEJM 2013,368:4



**H<sub>20</sub>**

**V**

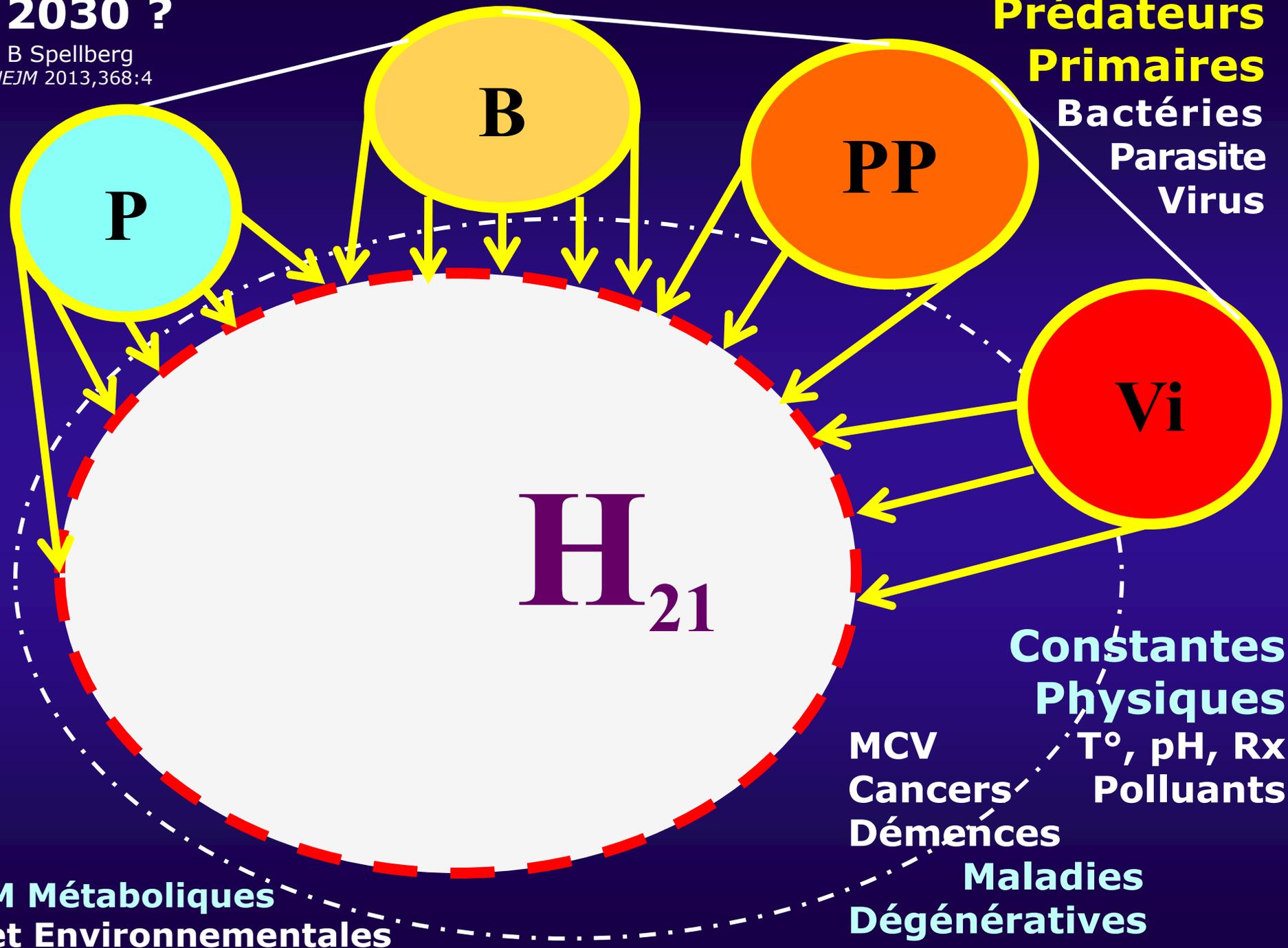
**T°, pH, Rx**  
**Polluants**

**M Métaboliques  
et Environnementales**

**Maladies  
Dégénératives**

**2030 ?**

B Spellberg  
*NEJM* 2013,368:4



**Prédateurs Primaires**  
Bactéries  
Parasite  
Virus

**Constantes Physiques**  
MCV  
Cancers  
Démences  
Maladies Dégénératives  
T°, pH, Rx  
Polluants

**M Métaboliques et Environnementales**

**SPORT**

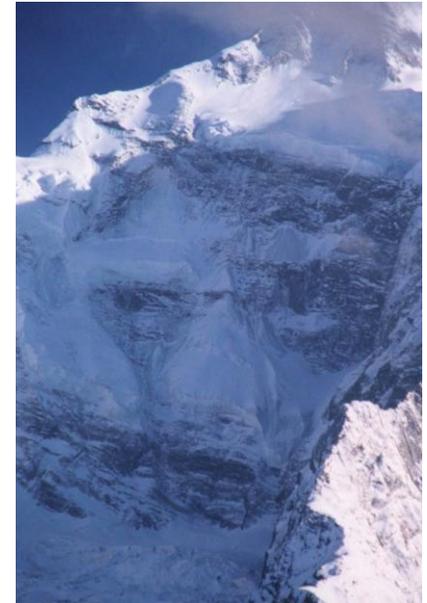
**SANTÉ**

**mortalités**

risque

# sport & mortalité

Alpinisme 8000m:	120 ‰	<u>Annapurna: 5%</u>
Parapente	13 ‰	
Sports Motorisés	146	
Équitation	34	
Rugby	16	
Gymnastique	5	
Football	4	
Tennis	1	
<b>Vélib</b>	<b>1</b>	



pour 100 millions de jours d'exposition au risque

# sport & longévité

bénéfice

## 80 306 sujets anglais et écossais

46 / 54% H/F                      52 ± 14 ans

IMC 27,2 ± 4,8                      25% fumeurs

sports: natation 13%    vélo 10%

aérobic 6%    course 5%





European Heart Journal  
doi:10.1093/eurheartj/ehf347

**FASTTRACK CLINICAL RESEARCH**

# Mortality of French participants in the Tour de France (1947–2012)

Eloi Marijon<sup>1,2,3,4\*</sup>, Muriel Tafflet<sup>1,2,5</sup>, Juliana Antero-Jacquemin<sup>1,5</sup>, Nour El Helou<sup>1,5,6</sup>, Geoffroy Berthelot<sup>1,5</sup>, David S. Celermajer<sup>7</sup>, Wulfran Bougouin<sup>1,2,4</sup>, Nicolas Combes<sup>8</sup>, Olivier Hermine<sup>1,9,12,13</sup>, Jean-Philippe Empana<sup>1,2</sup>, Grégoire Rey<sup>10</sup>, Jean-François Toussaint<sup>1,5,11†</sup> **786 cyclistes Français**

ayant terminé au moins une fois  
le Tour de France entre 1947 et 2012  
208 décès (26%) au 1<sup>er</sup> septembre 2012

**mortalité globale -41% ↔ survie 6,3 ans**

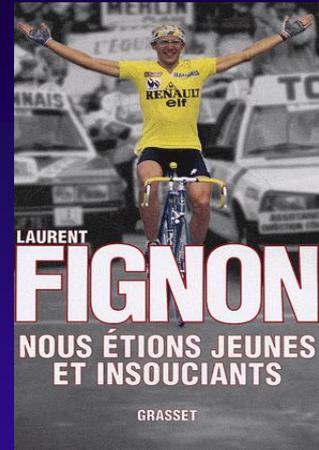
SMR: 0,59 IC95%: 0,51–0,68 p<0,0001

décès	attendus/observés		SMR	95% CI
Infectious diseases	5.44	4	0.74	(0.20–1.88)
Neoplasms	106.01	59	0.56	(0.42–0.72)
Endocrine and nutritional diseases	6.90	4	0.58	(0.16–1.48)
Mental disorders	6.61	3	0.45	(0.09–1.33)
Nervous system diseases	9.05	4	0.44	(0.12–1.13)
Cardiovascular diseases	78.87	53	0.67	(0.50–0.88)
Respiratory system diseases	17.87	5	0.28	(0.09–0.65)
Digestive system diseases	18.21	4	0.22	(0.06–0.56)
Musculoskeletal diseases	1.11	1	0.90	(0.02–5.02)
Genitourinary system diseases	3.66	2	0.55	(0.07–1.98)
Ill-defined conditions	14.03	8	0.57	(0.25–1.12)
External causes	27.29	29	1.06	(0.71–1.53)

**-44%**

**-33%**

**-75%**



**causes de décès**

E. Marijon *EHJ* 2013

# Causes de mortalité - Olympiens Français

JO: 1948-2010



Cause of death	Expected number of death	Observed number of death	SMR	(95% IC)
I. Infectious diseases	7.4	3	0.40	(0.08 - 1.17)
II. Neoplasms	132.6	67	<b>0.50</b>	(0.39 - 0.64)
III. Blood diseases	1.2	1	0.81	(0.01 - 4.53)
IV. Endocrine and nutritional diseases	8.0	1	<b>0.12</b>	(0.00 - 0.69)
V. Mental disorders	8.5	2	<b>0.23</b>	(0.02 - 0.85)
VI. Nervous system diseases	10.2	5	0.48	(0.16 - 1.14)
VII. Cardiovascular diseases	88.3	47	<b>0.53</b>	(0.39 - 0.71)
VIII. Respiratory system diseases	19.3	3	<b>0.15</b>	(0.03 - 0.45)
IX. Digestive system diseases	22.9	12	<b>0.52</b>	(0.26 - 0.91)
X. Skin diseases	0.5	1	2.07	(0.02 - 11.57)
XI. Musculoskeletal diseases	1.2	2	1.64	(0.18 - 5.93)
XII. Genitourinary diseases	3.9	3	0.77	(0.15 - 2.26)
XVI. Ill-defined conditions	18.9	13	0.68	(0.36 - 1.17)
XVII. External causes	43.9	28	<b>0.61</b>	(0.40 - 0.89)



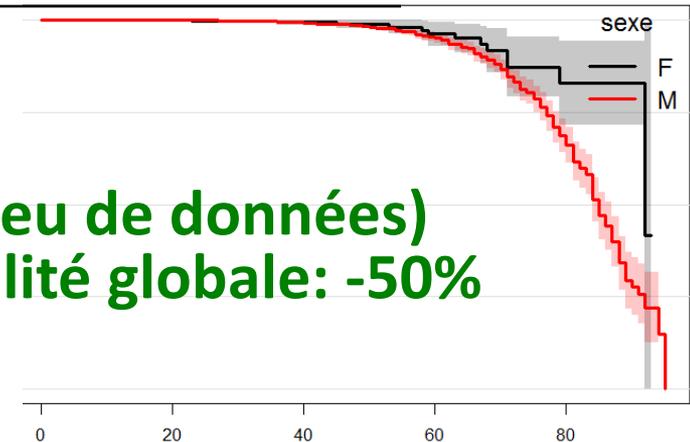


# Causes de mortalité - Athlètes Françaises

## JO: 1948-2010

Cause of death	Expected number of death	Observed number of death	SMR	(95% IC)
II. Neoplasms	8.2	6*	0.73	(0.27 - 1.60)
VII. Cardiovascular diseases	3.9	2	0.50	(0.06 - 1.82)
XVII. External causes	2.8	4	1.45	(0.38 - 3.71)

\* 1 death in 2011



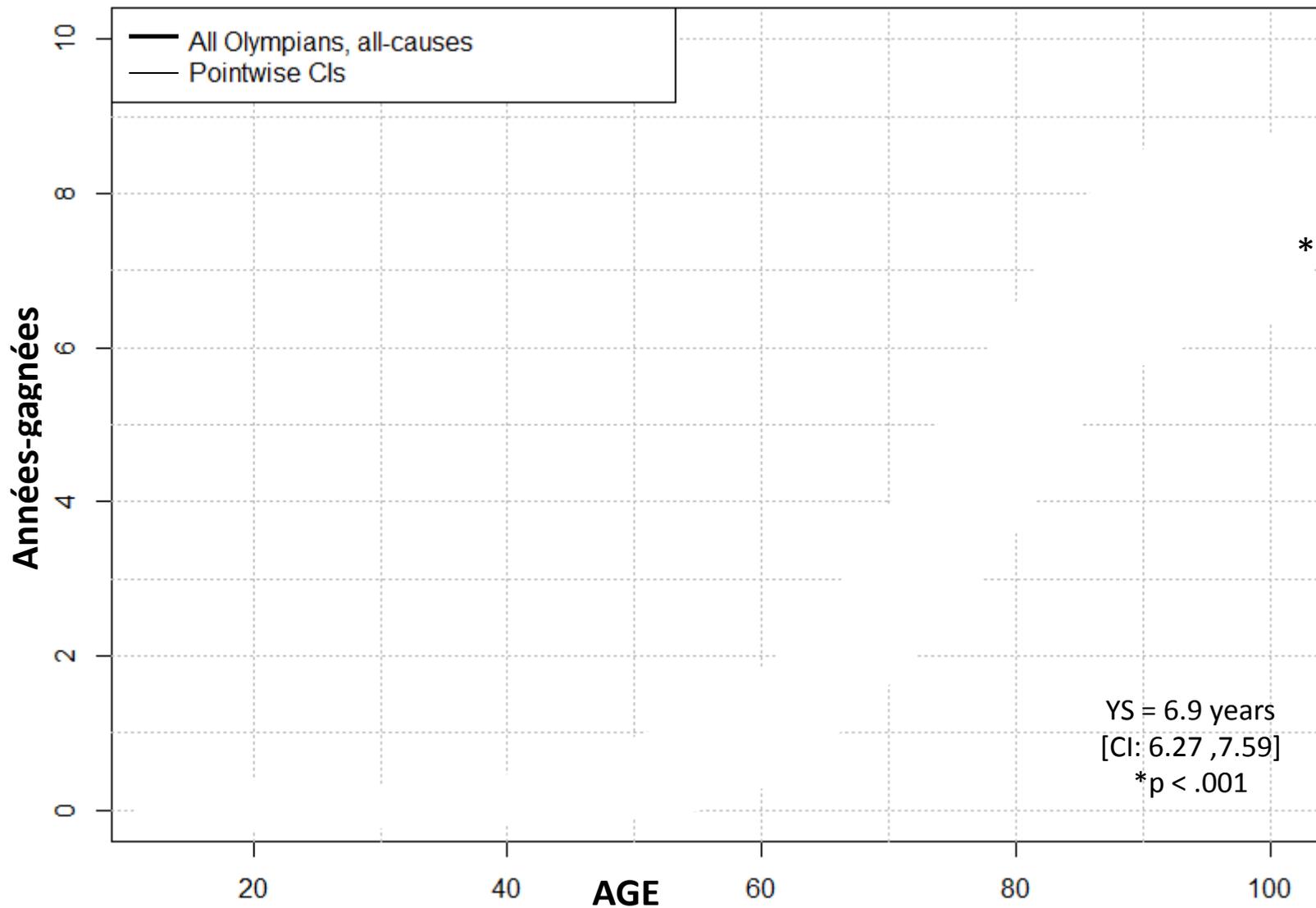
**non significatif par cause (trop peu de données)  
mais très significatif pour la mortalité globale: -50%**

- 1. ↗ longévité chez les femmes identique à celles des hommes**
- 2. sous-mortalité pour les causes externes (les sports olympiques sont en moy moins "violents" que le cyclisme: à vérifier par tranche d'âge)**
- 3. sous-mortalité pour les maladies mentales  
(Cf K. Schaal, PLOS ONE 2011)**



# Années-gagnées : toutes causes

JO: 1912-2012; n= 2814 athlètes

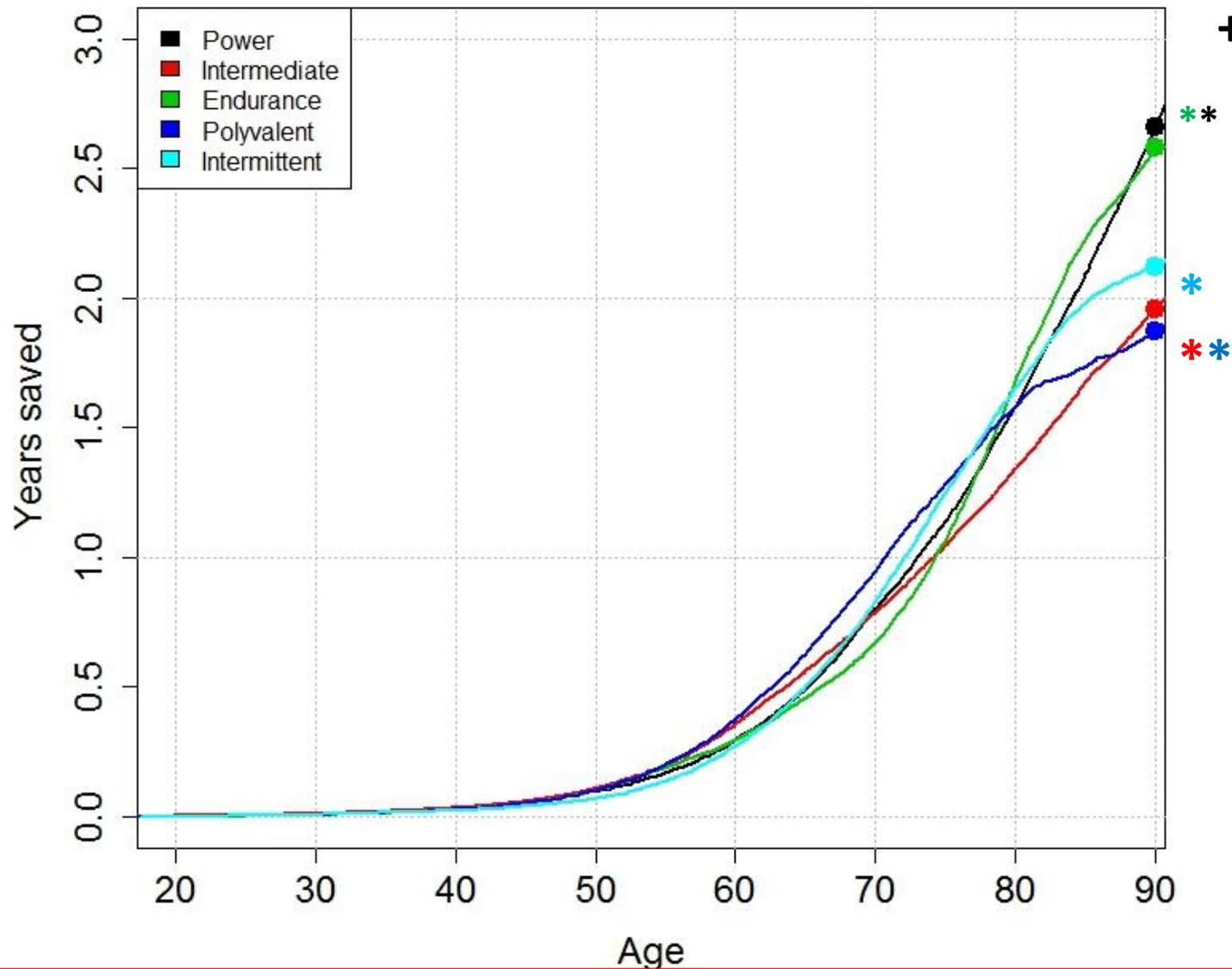


+ 7 ans gagnés

\*

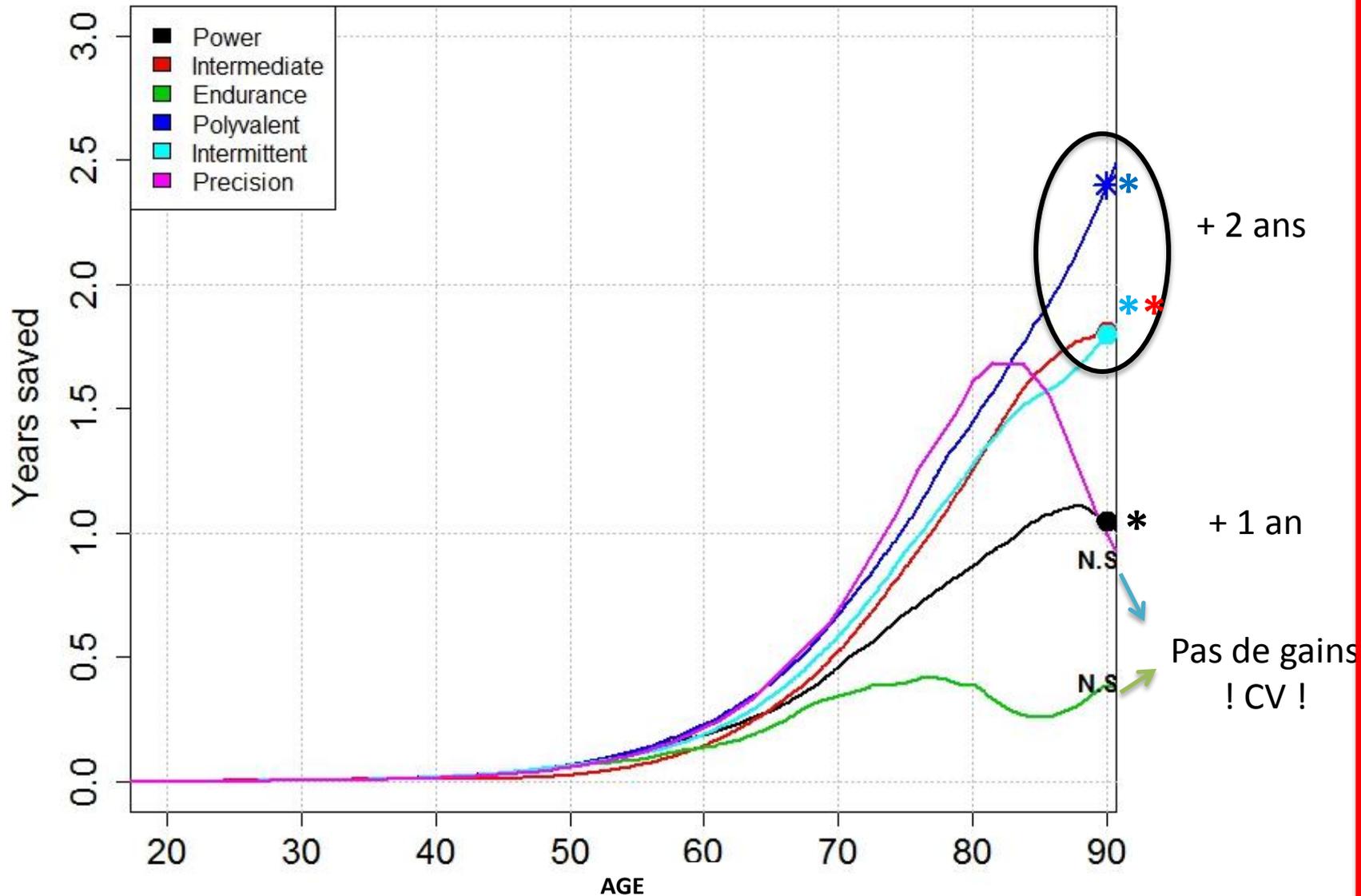
# Années-gagnées : cancers

JO: 1912-2012; n= 2814 athlètes

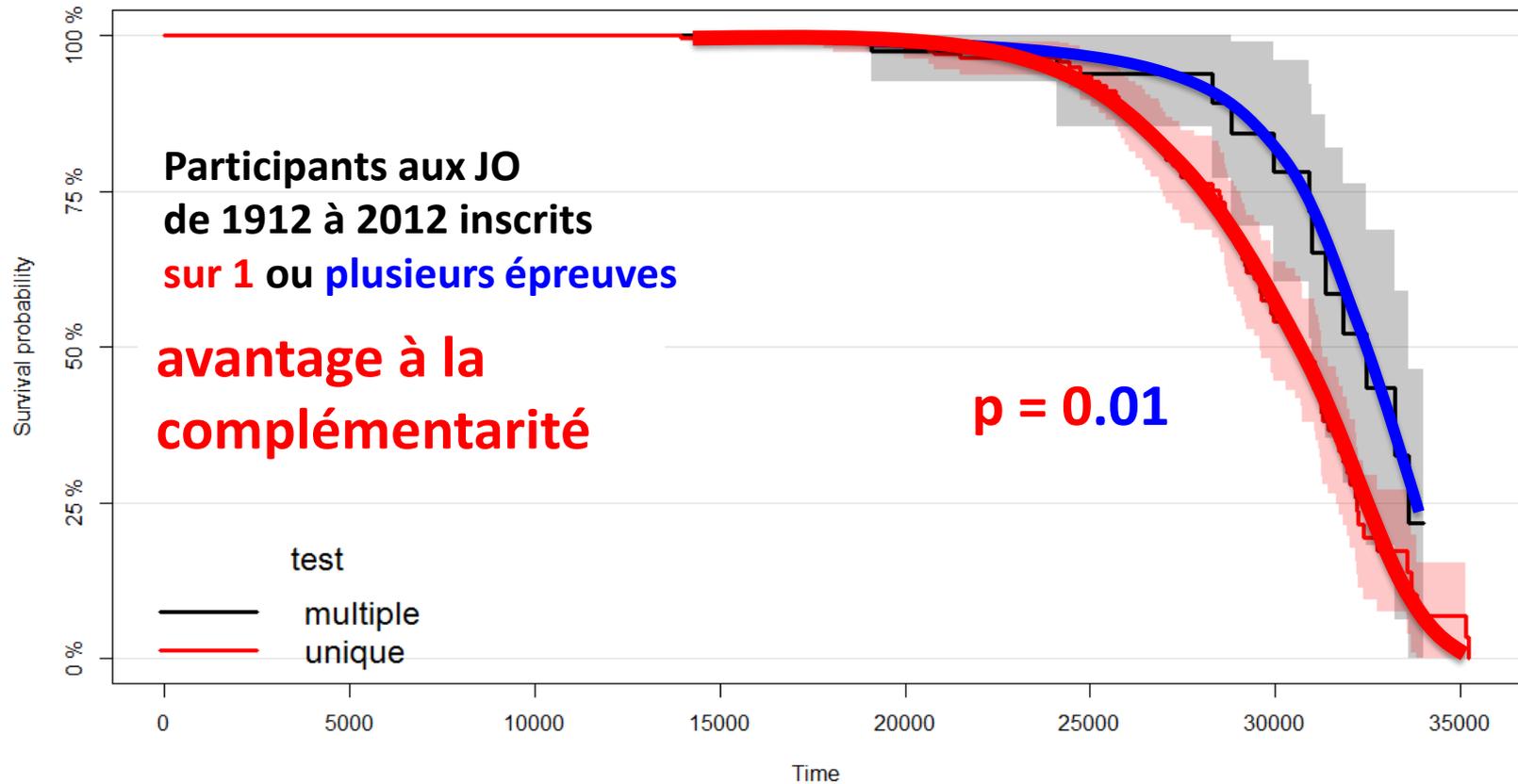
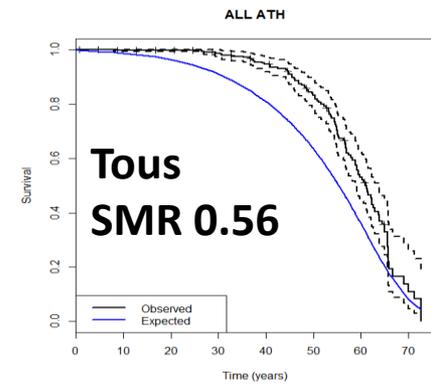


# Années-gagnées : cardio-vasculaire

JO: 1912-2012; n= 2814 athlètes

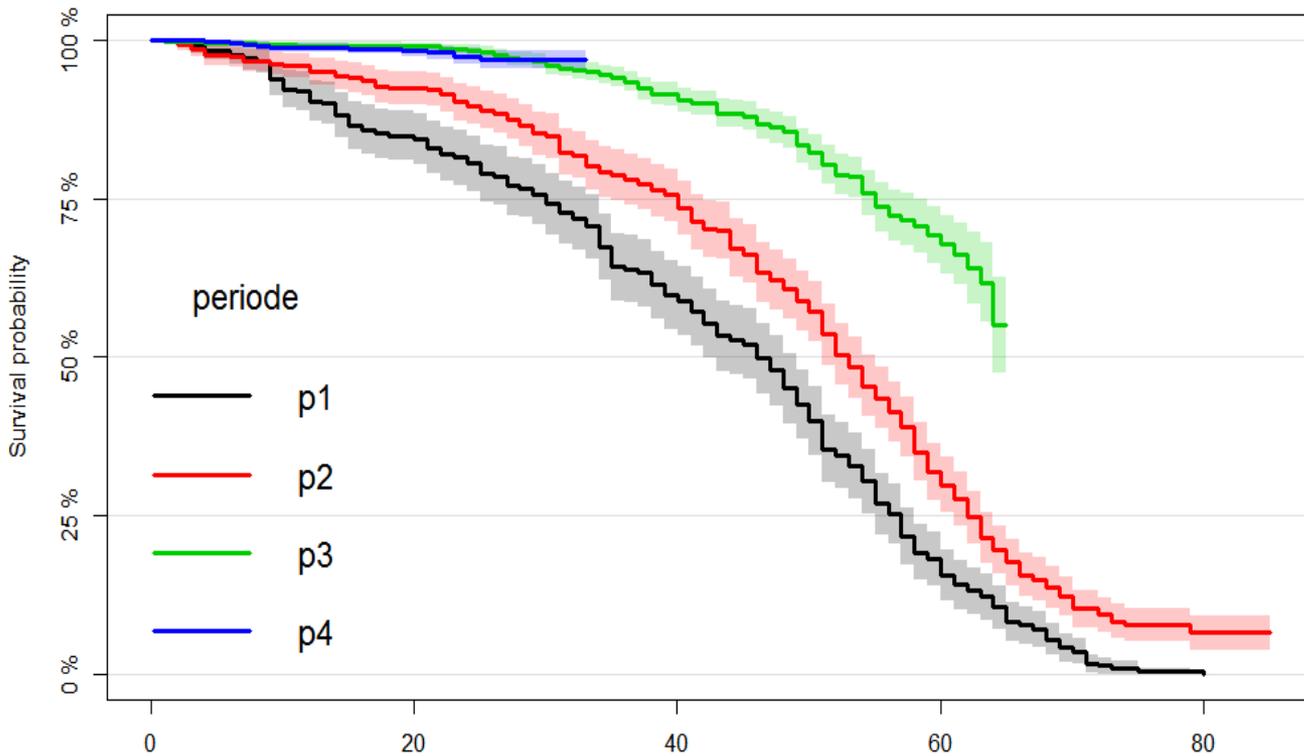


# Longévité en athlétisme



t=multiple]	59	59	59	55	53	47	36	24	20	9	0
=unique ]	319	319	319	303	260	214	167	127	76	21	1

# Expansion phénotypique



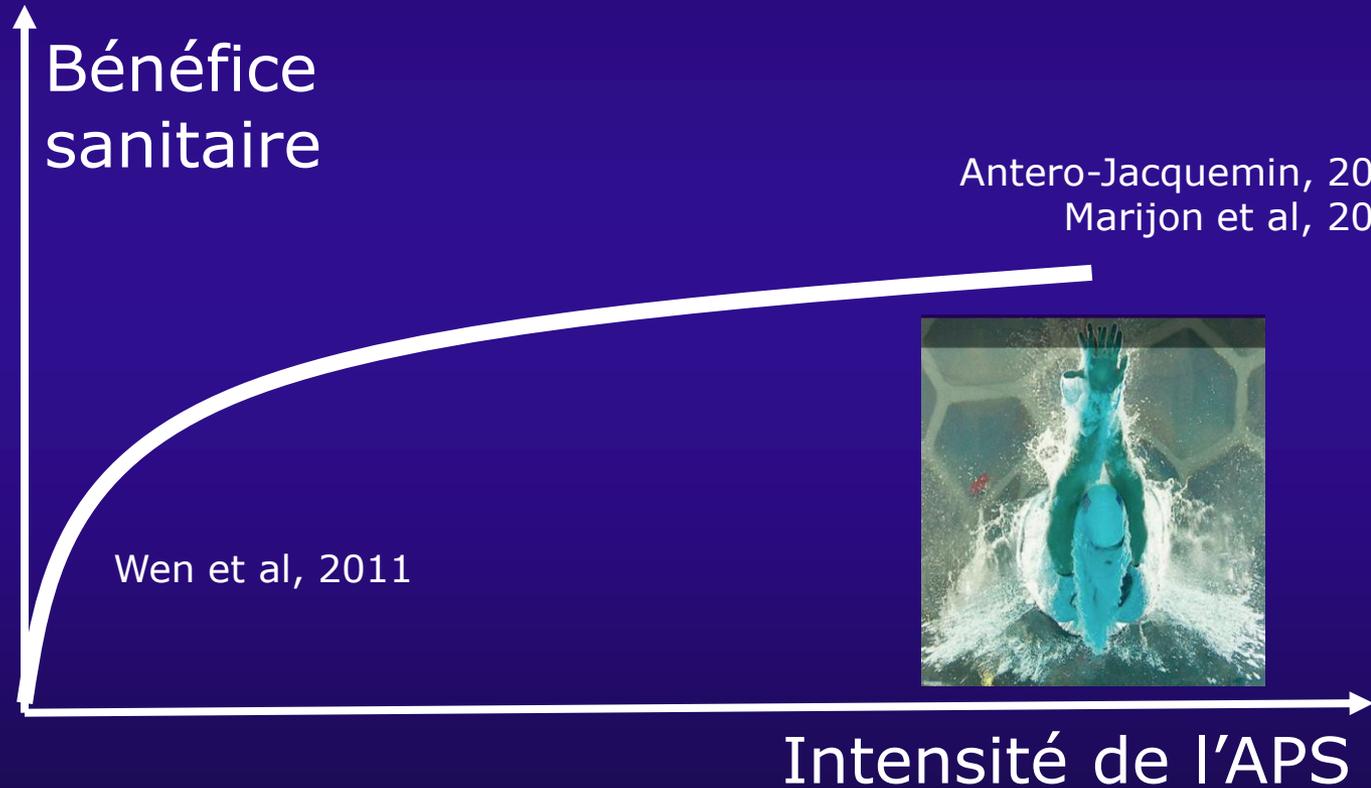
- Olympiades
  - P4: 1980-2012 (n = 1129, décès 2%)
  - P3: 1948-1976 (n = 905, décès 21%)
  - P2: 1920-1936 (n = 409, décès 93%)
  - P1: 1896-1912 (n = 313, décès 100%)

periode	Time										
p1:	313	303	269	247	221	173	115	57	22	1	0
p2:	409	396	383	364	328	287	226	130	61	32	3
p3:	905	899	897	888	860	583	357	139	0	0	0
p4:	1129	939	636	231	0	0	0	0	0	0	0

# Activité physique **ou** sportive et bénéfiques



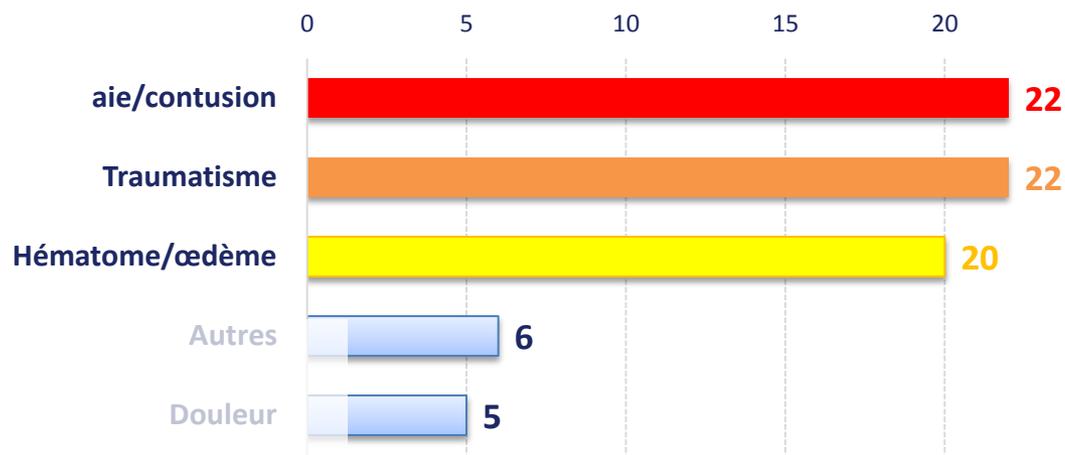
# APS & Santé



**morbidités**

œil  
N = 77

9% des  
sinistres



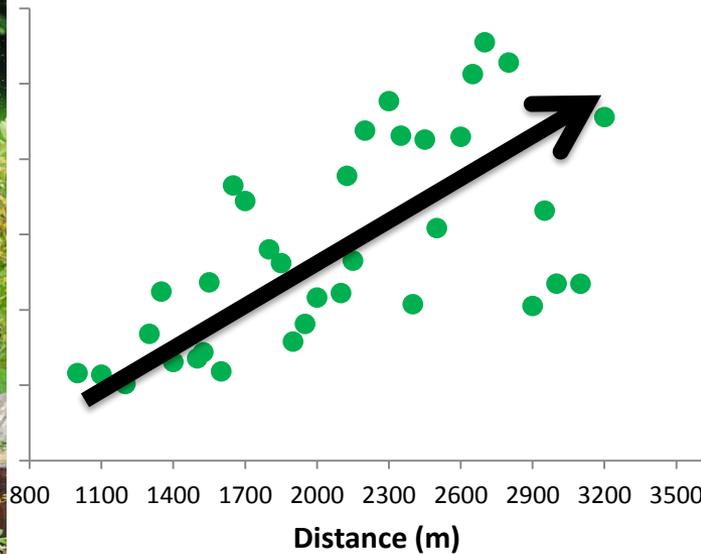
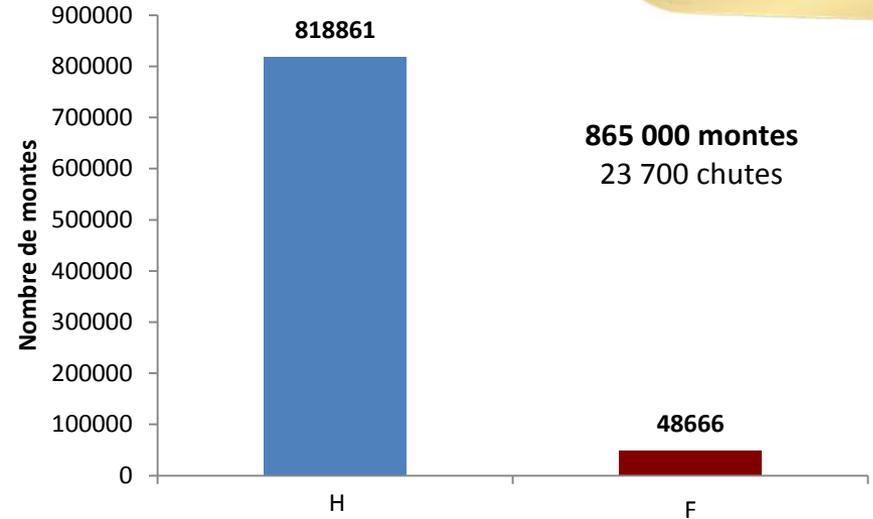
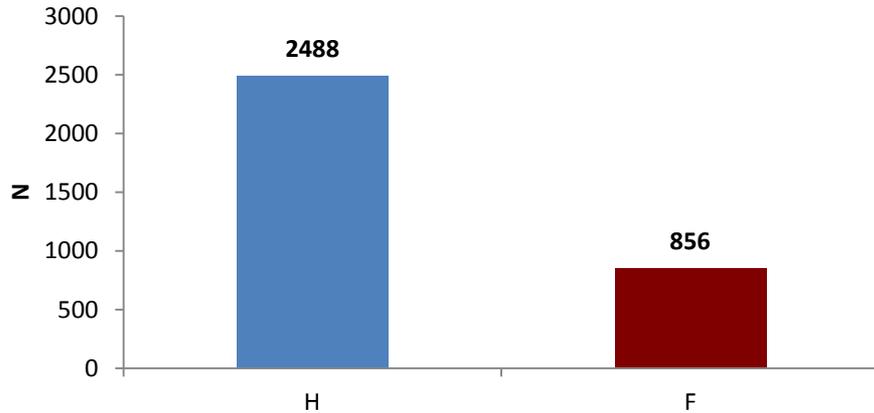
**+++ impact de volant: 70% +++**  
coup de raquette : 10%

**prévention = lunettes**

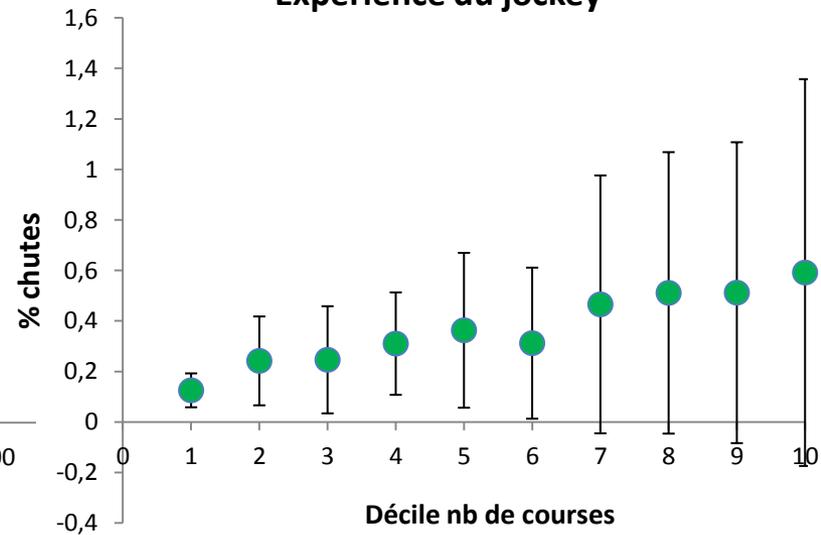


# MSA - France Galop

### Jockeys 2005 - 2015

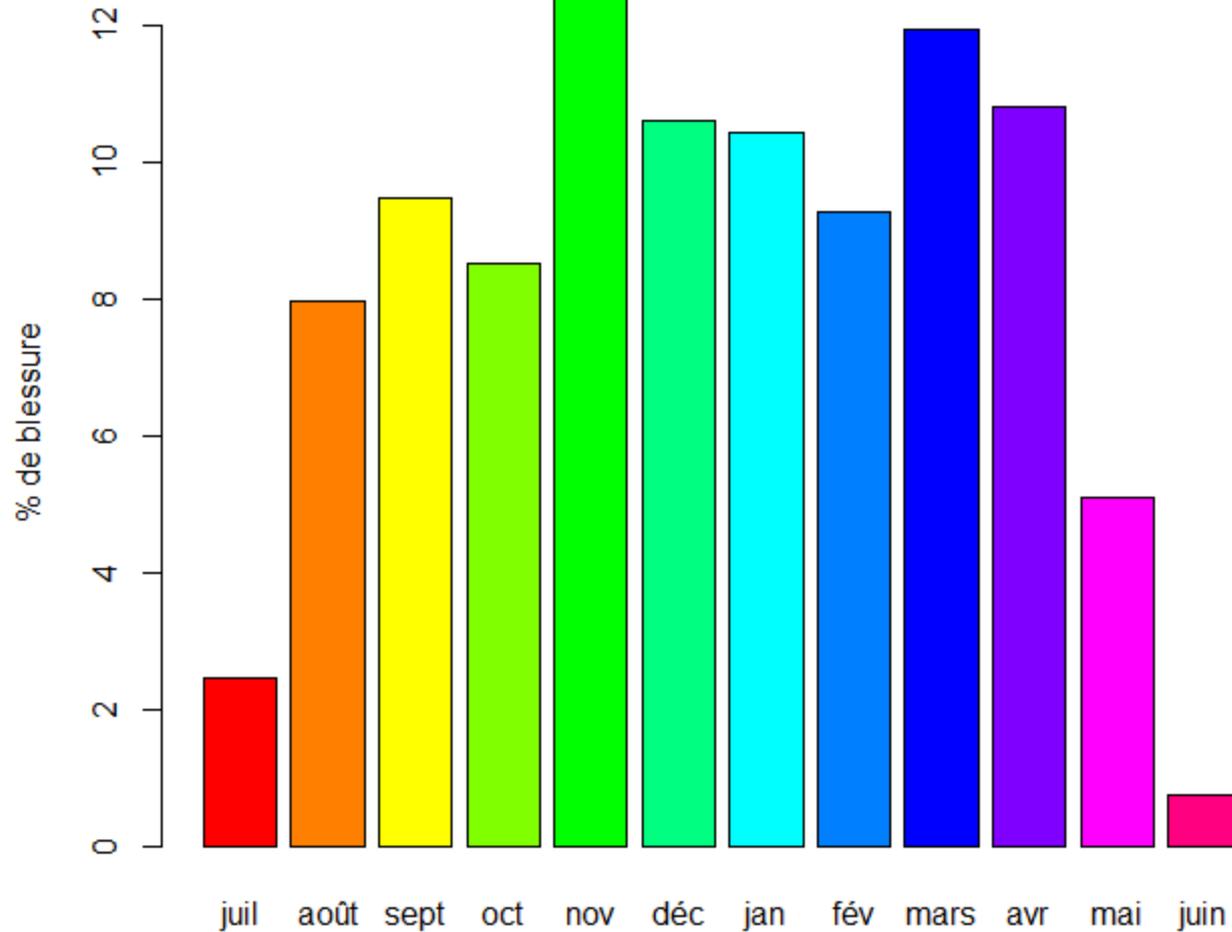


### Expérience du jockey



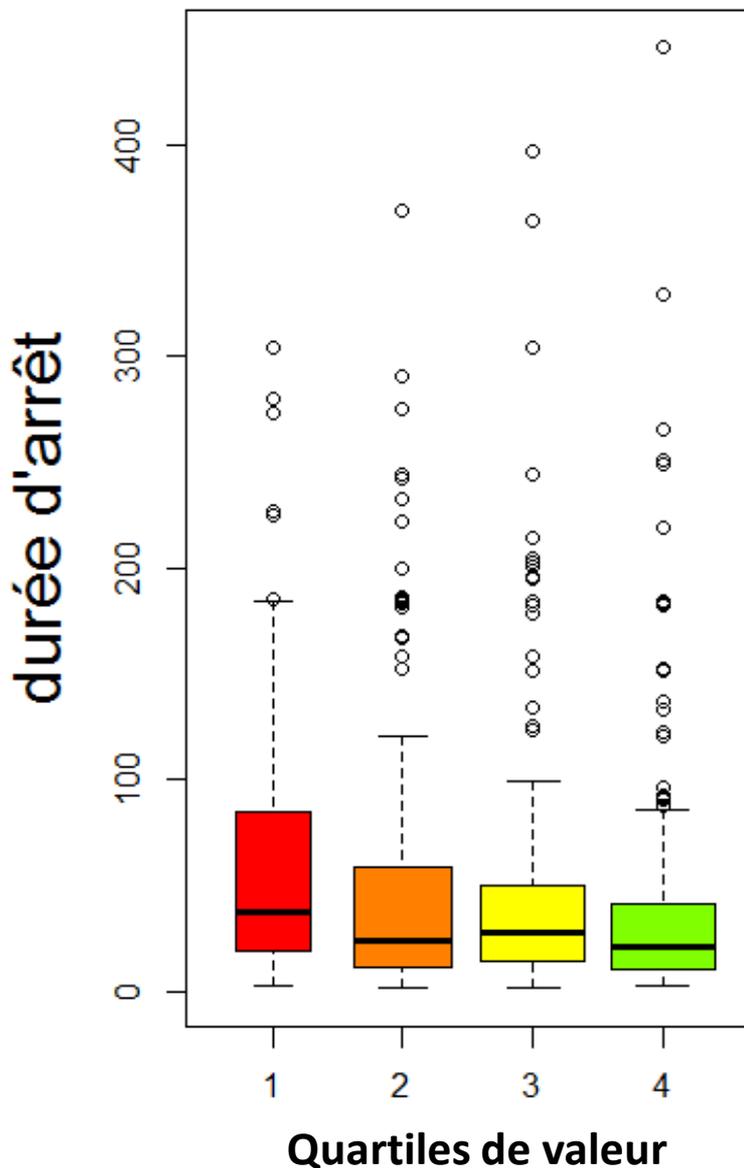
# football

## saisonnalité du taux de blessures



# football

Durée de la blessure et « valeur économique »



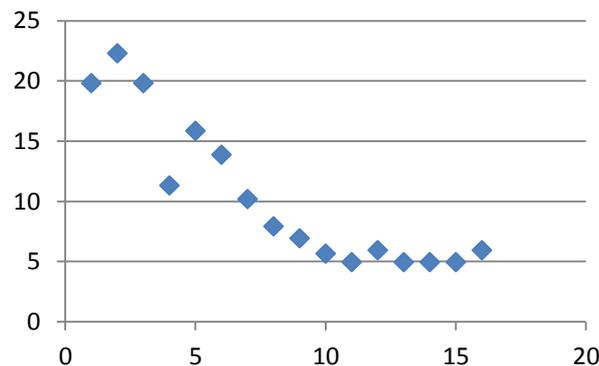
plus la valeur d'un joueur est élevée  
moins la durée de sa blessure est longue

?

OU

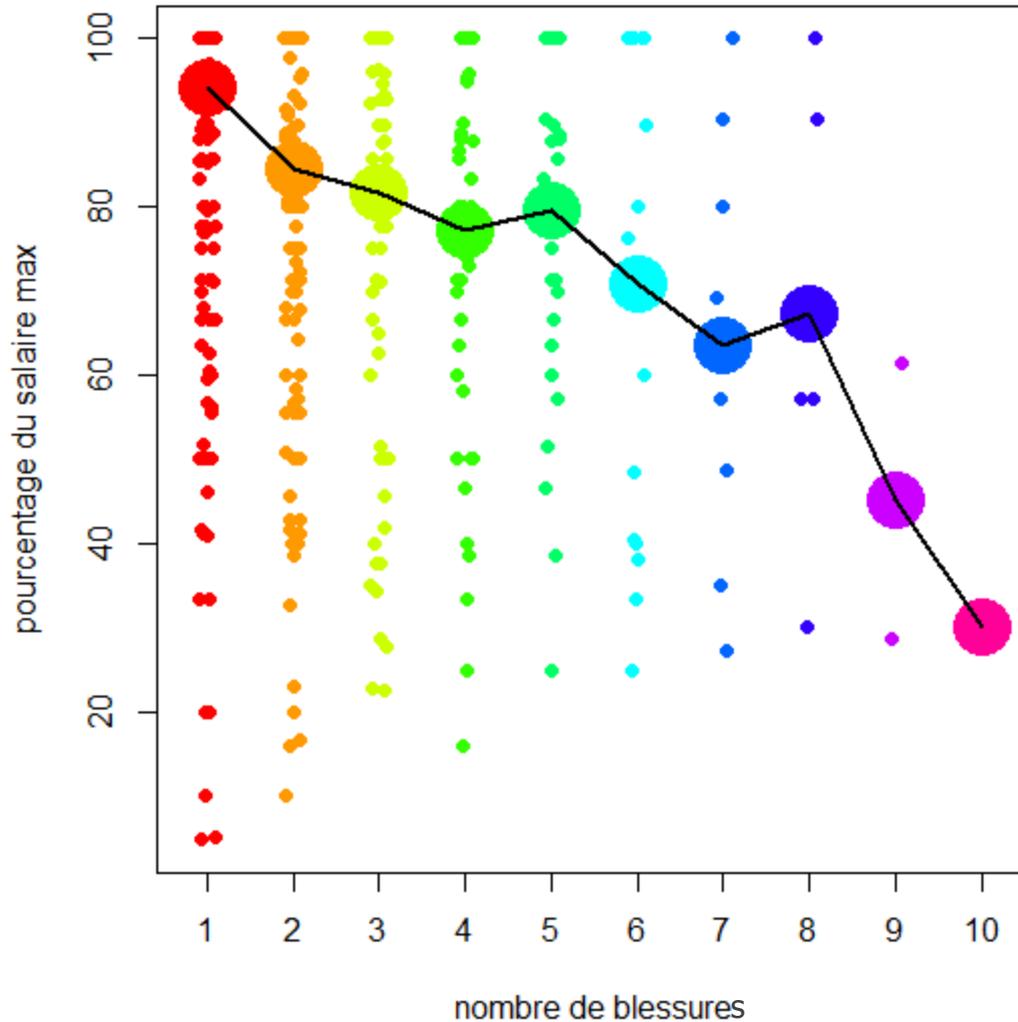
?

plus un joueur se blesse gravement  
plus sa valeur économique diminue



# football

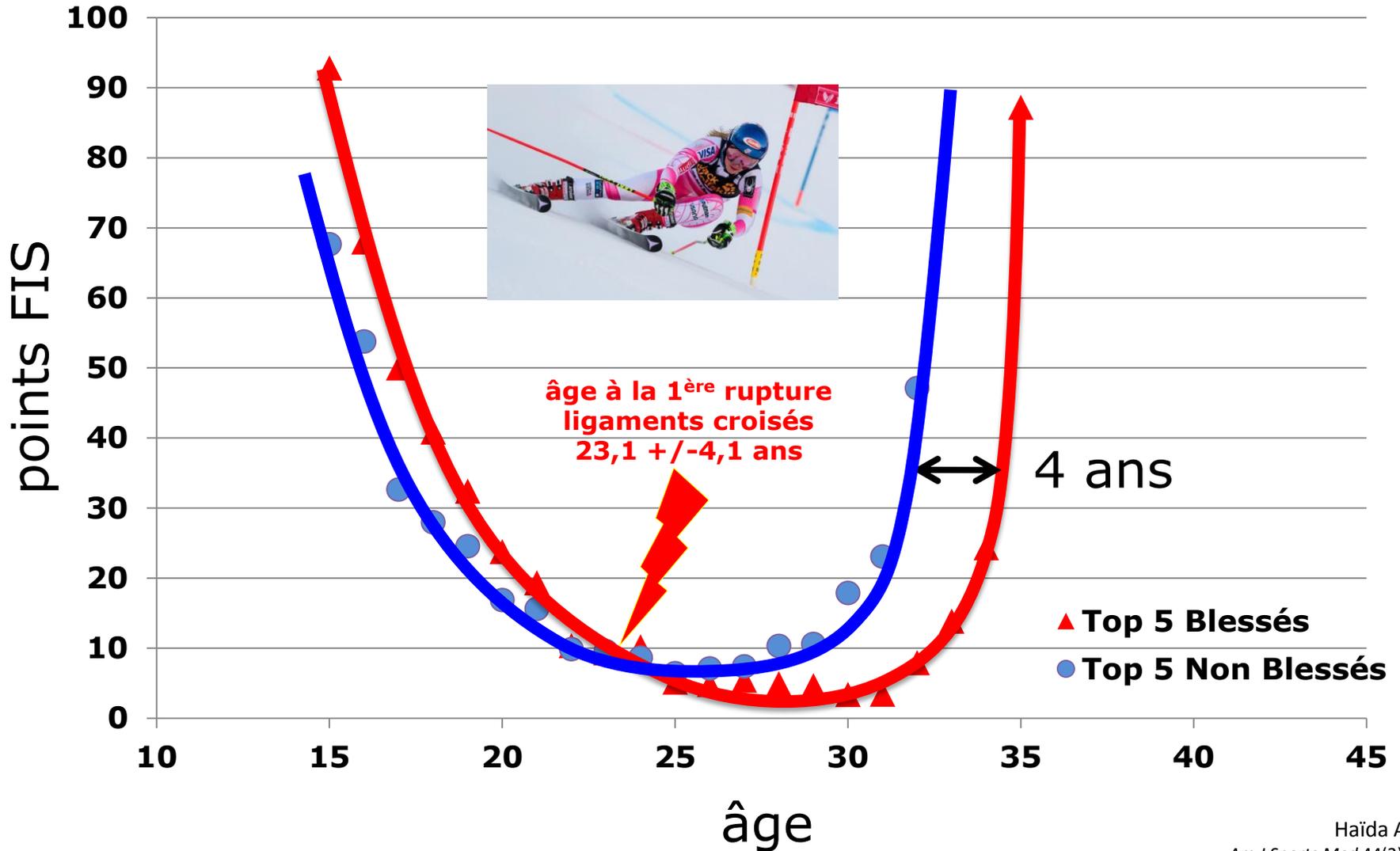
Evolution du salaire en fonction du nombre de blessures



problème

plus  
un joueur  
se blesse  
plus  
sa  
valeur "économi  
que" diminue

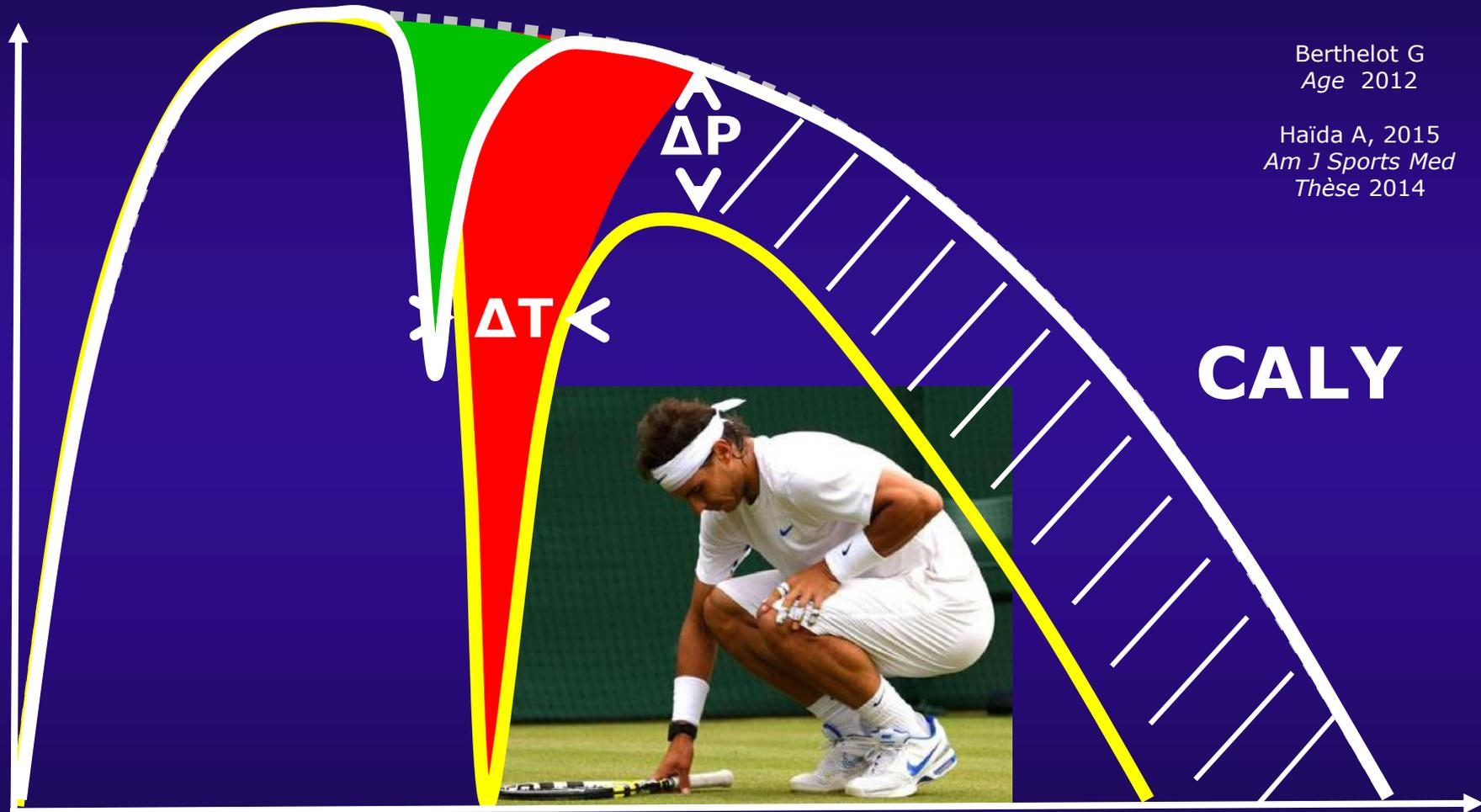
# performance en ski descente



# blesure, âge et performance

Berthelot G  
Age 2012

Haïda A, 2015  
Am J Sports Med  
Thèse 2014



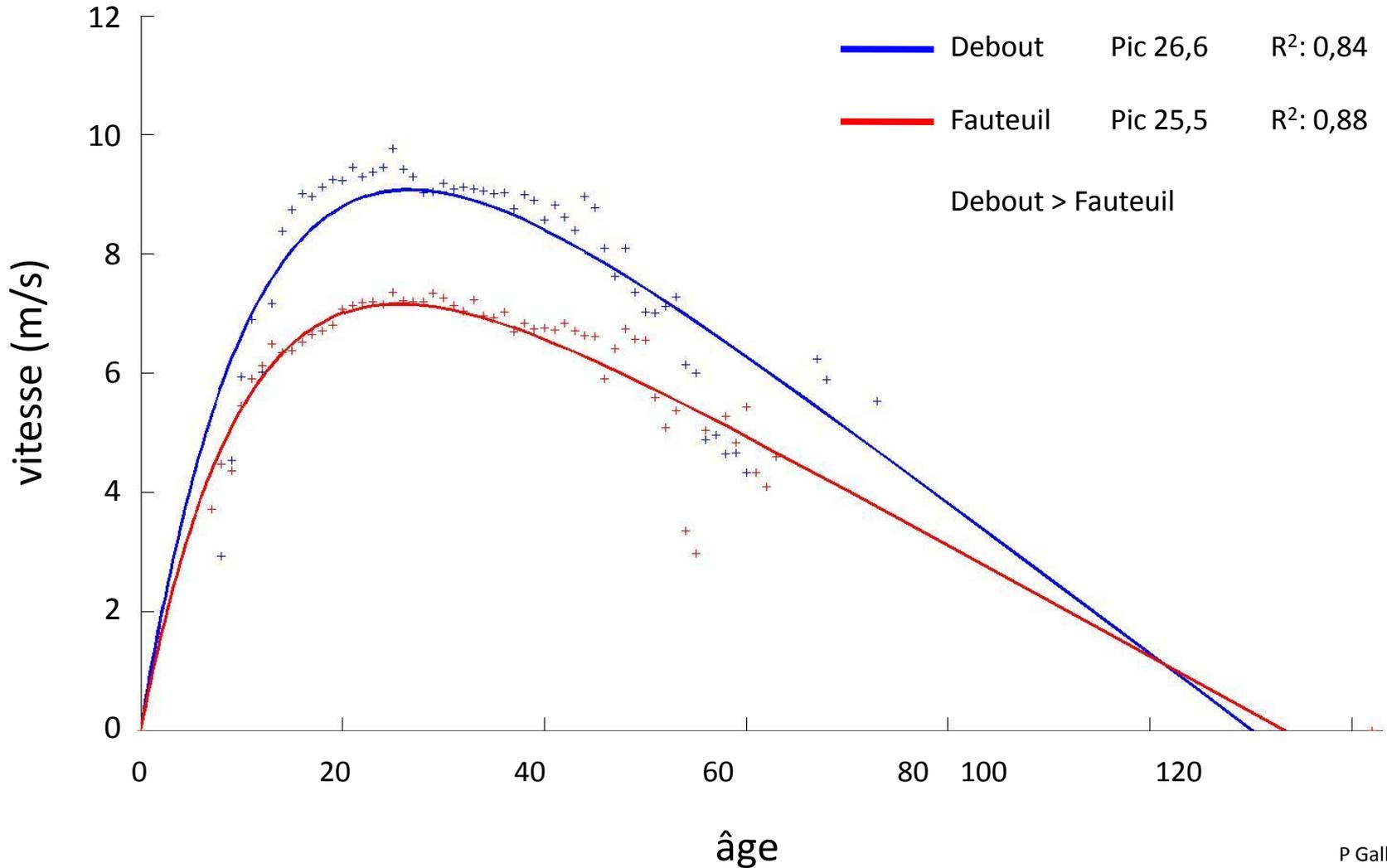
performance maximale (pointillés)  
& interruptions pour blessures (courbes)  
indisponibilité (mi-hauteur) - réduction de carrière (hachure)



**handicap**

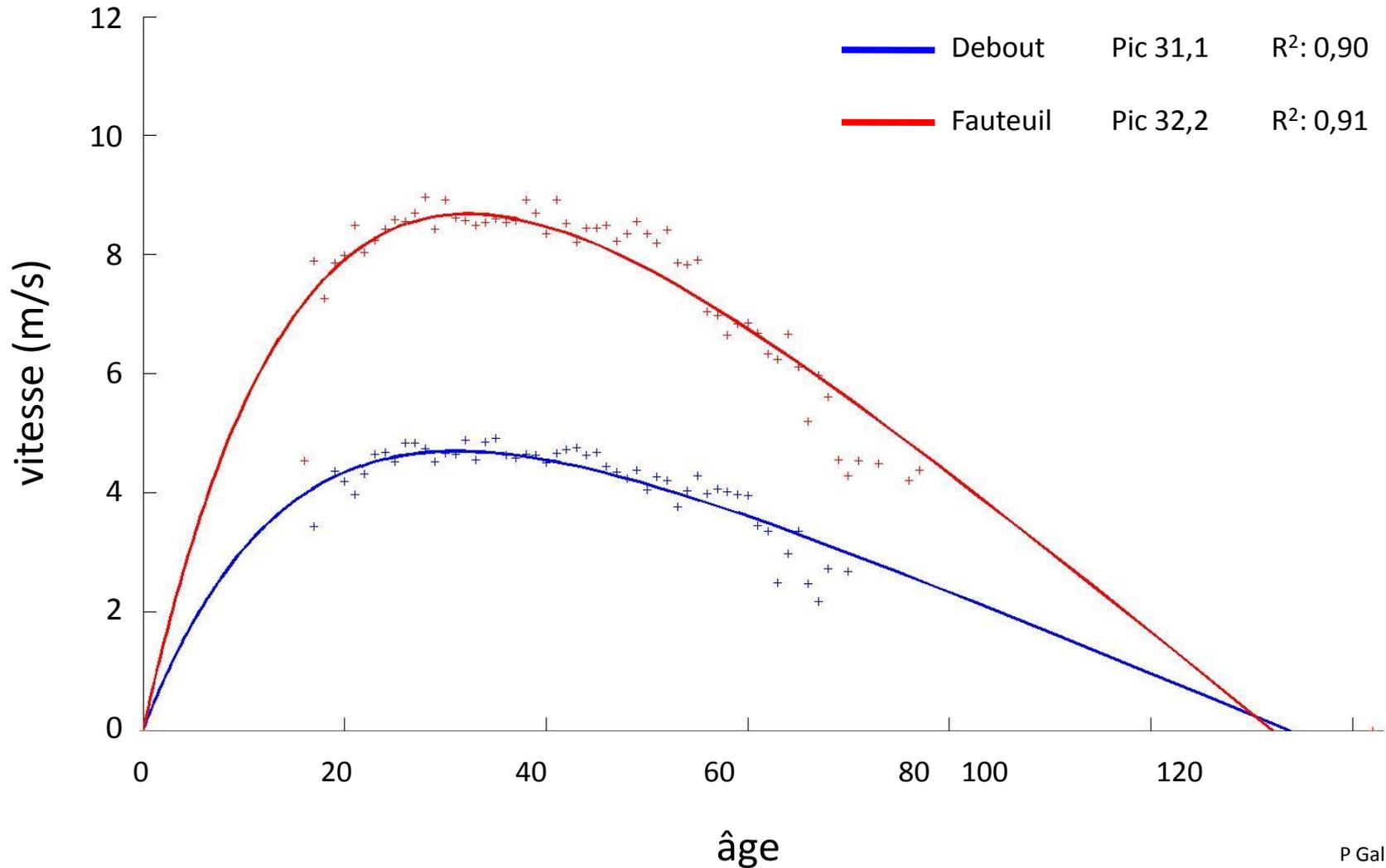
# âge, distance & handicap

## 100m

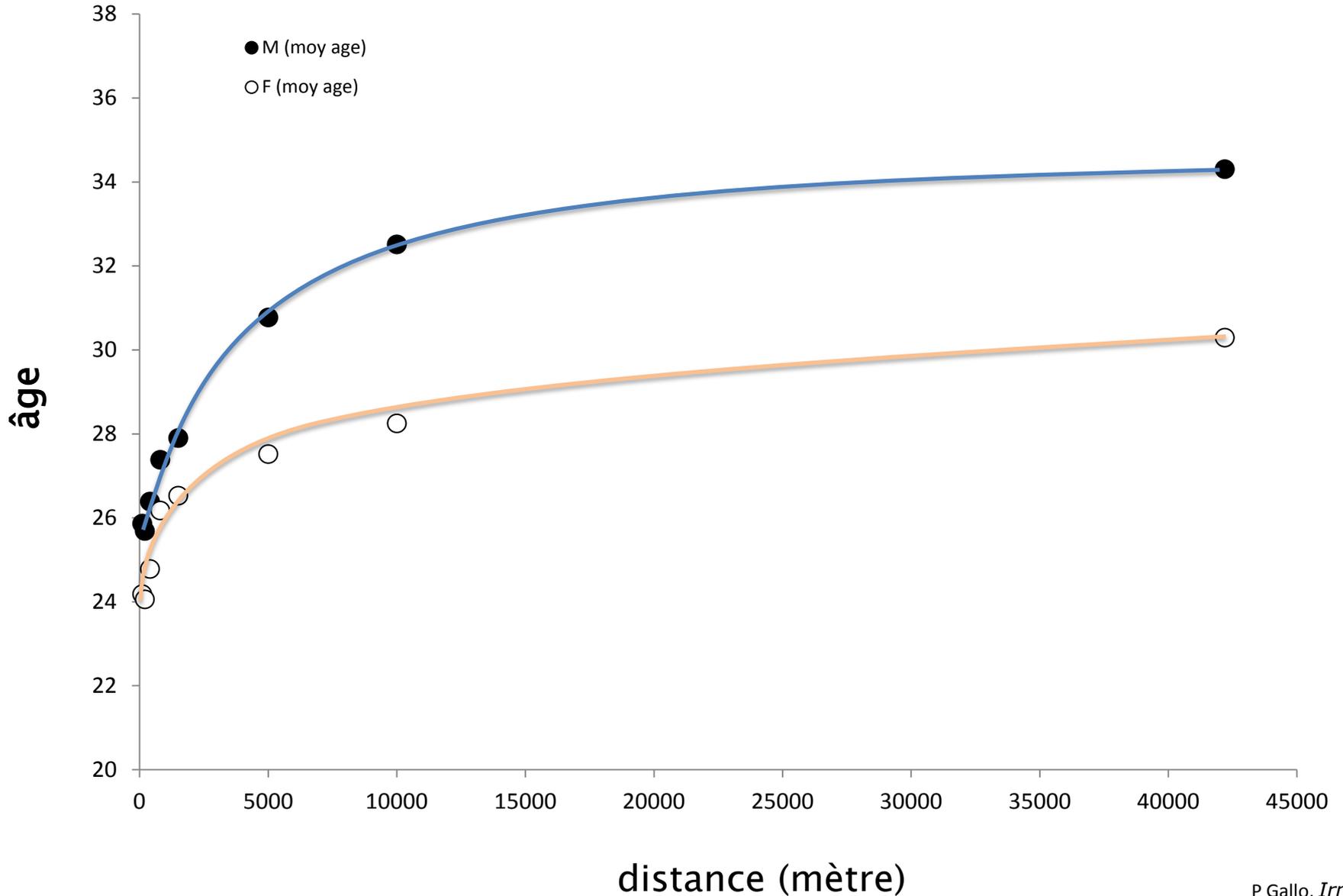


# âge, distance & handicap

42195m



# Résultats: âge au pic et distance



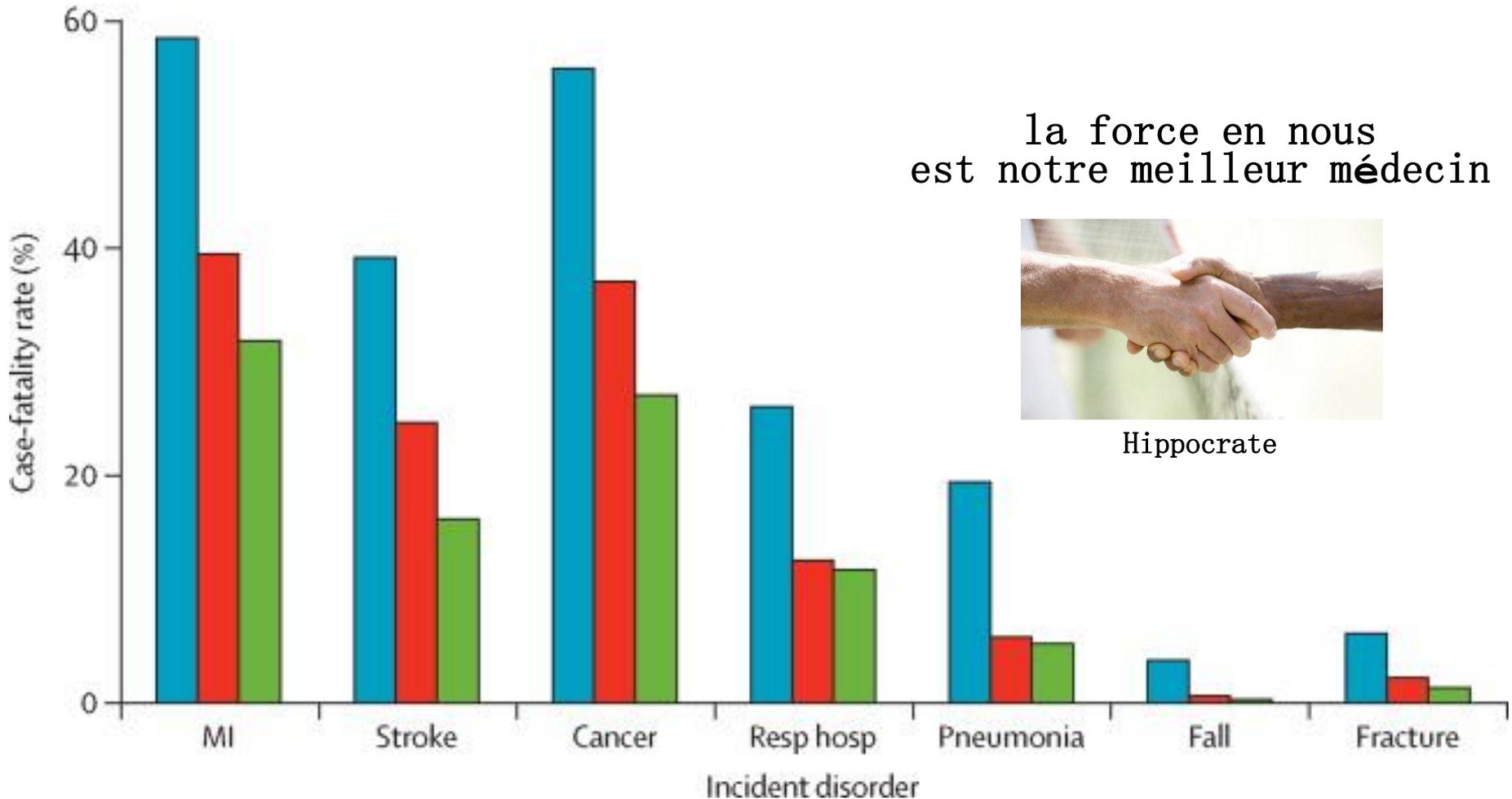
HEPA

# **sport et santé**

prévention  
&  
bénéfices sanitaires

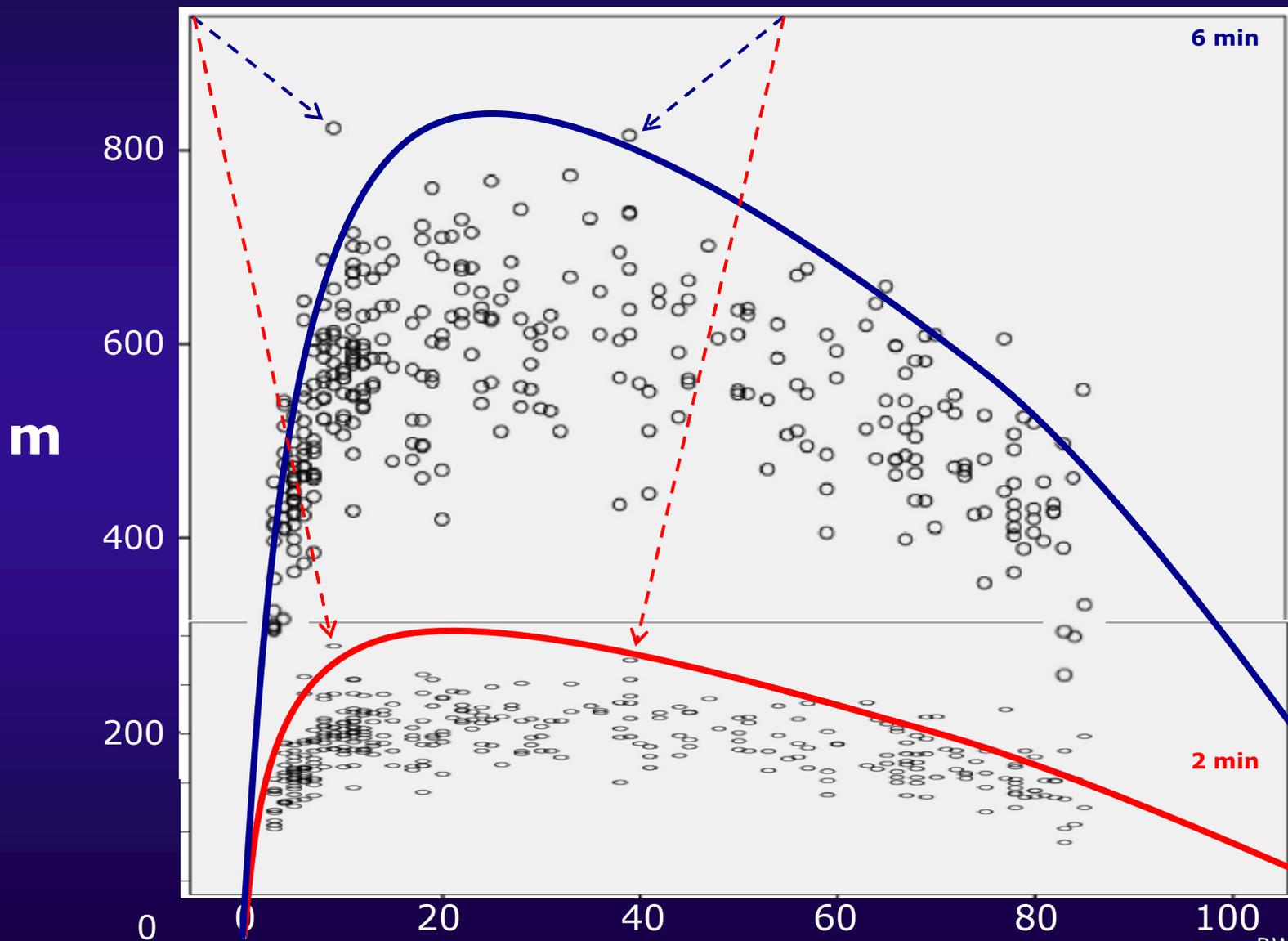
# force & mortalité

grip test



142 861 participants  
17 pays, 2003-2009

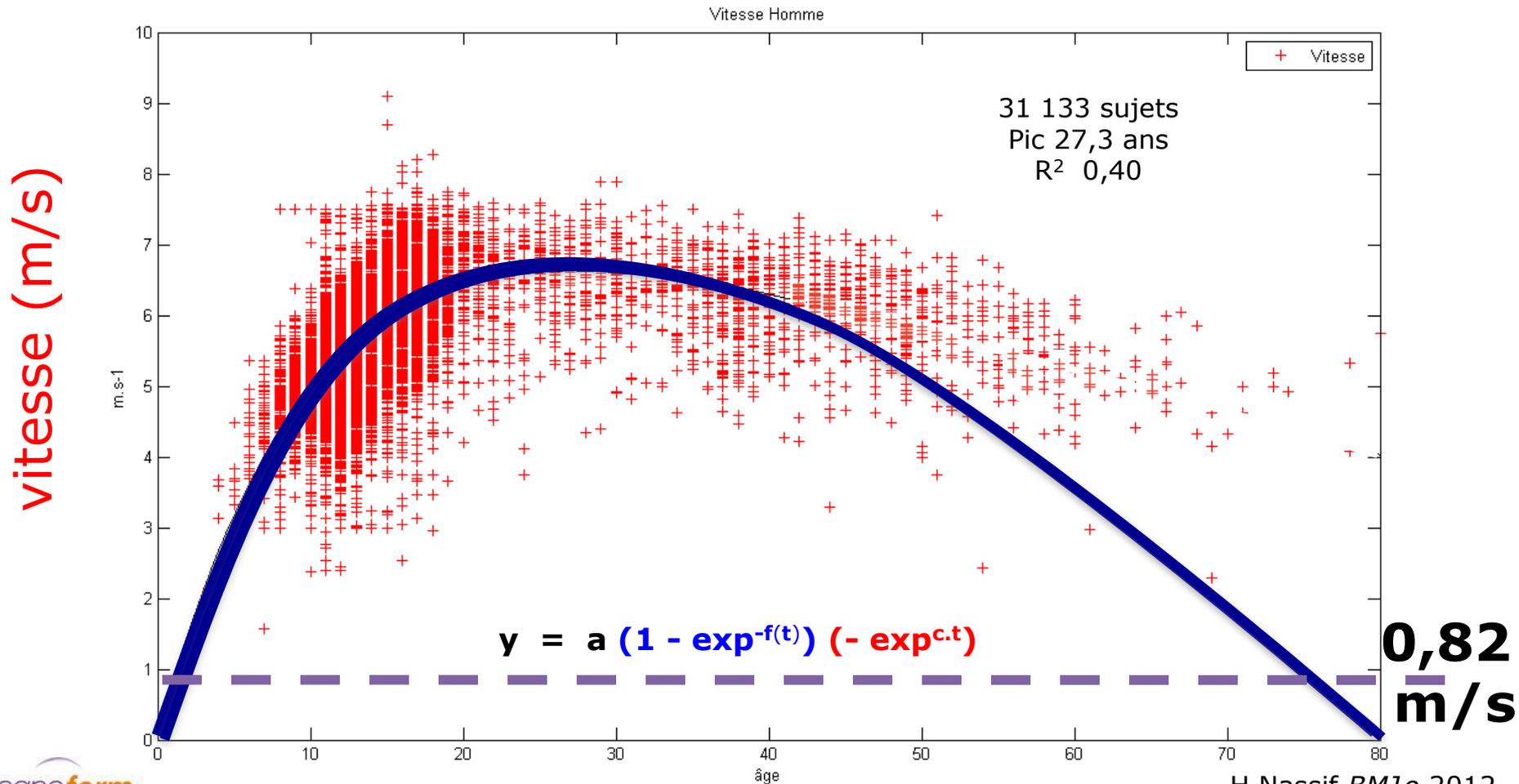
# Tests de marche





# condition physique population générale

test sprint - diagnoform



# à quelle vitesse marche la mort ?

la camarade marche  
à 3 km/h

(0,82 m/s)



les personnes souhaitant l'éviter  
devraient penser à maintenir  
leur vitesse de marche  
au-dessus de  
ce seuil

...

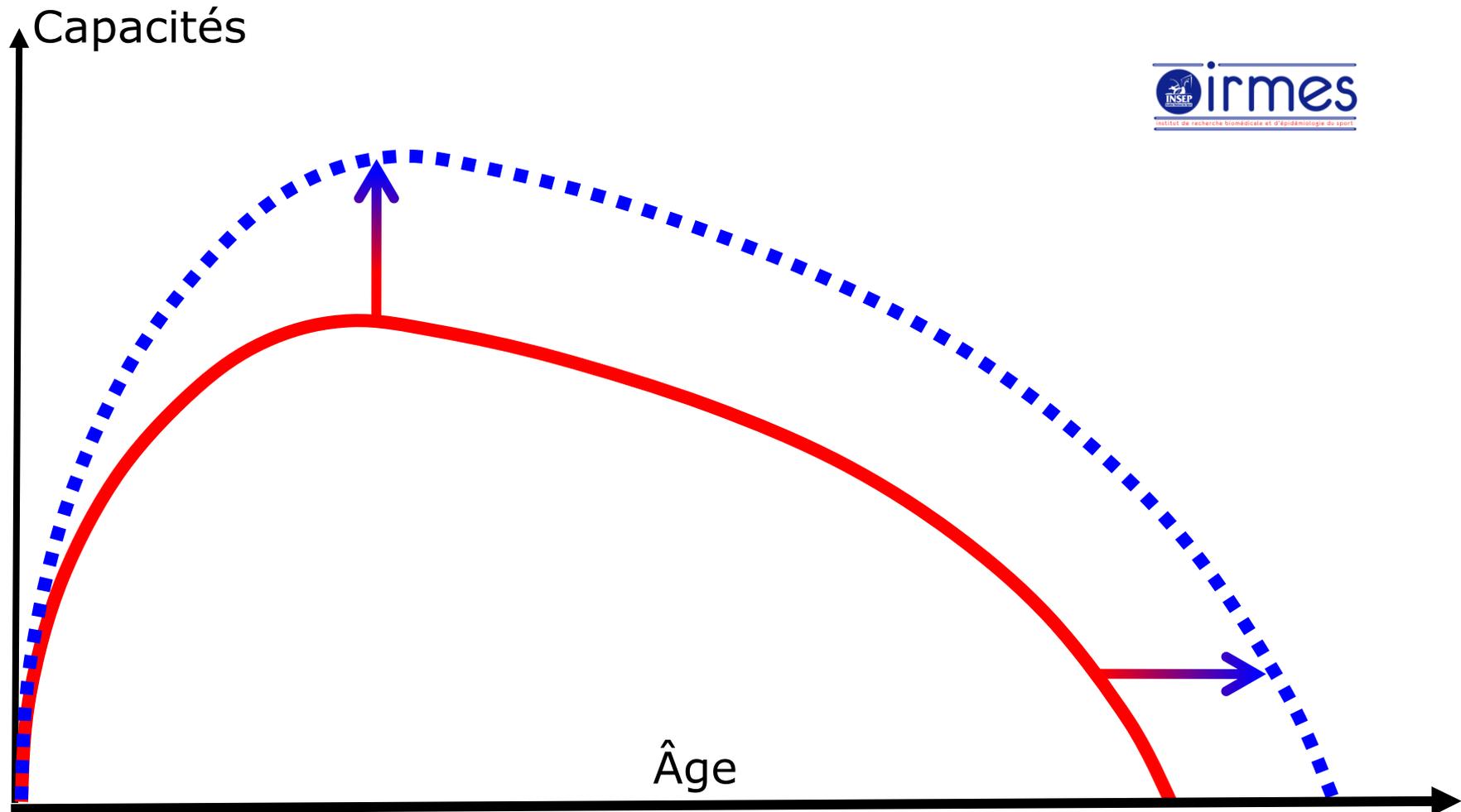
1705 hommes  
70 ans ou +  
Sydney  
2005 - 2007  
suivi moy 5 ans

si marche > 0.82 m/s  
réduction de mortalité: 23%  
(95% CI 1.10 -1.37)  
(p = 0.0003)

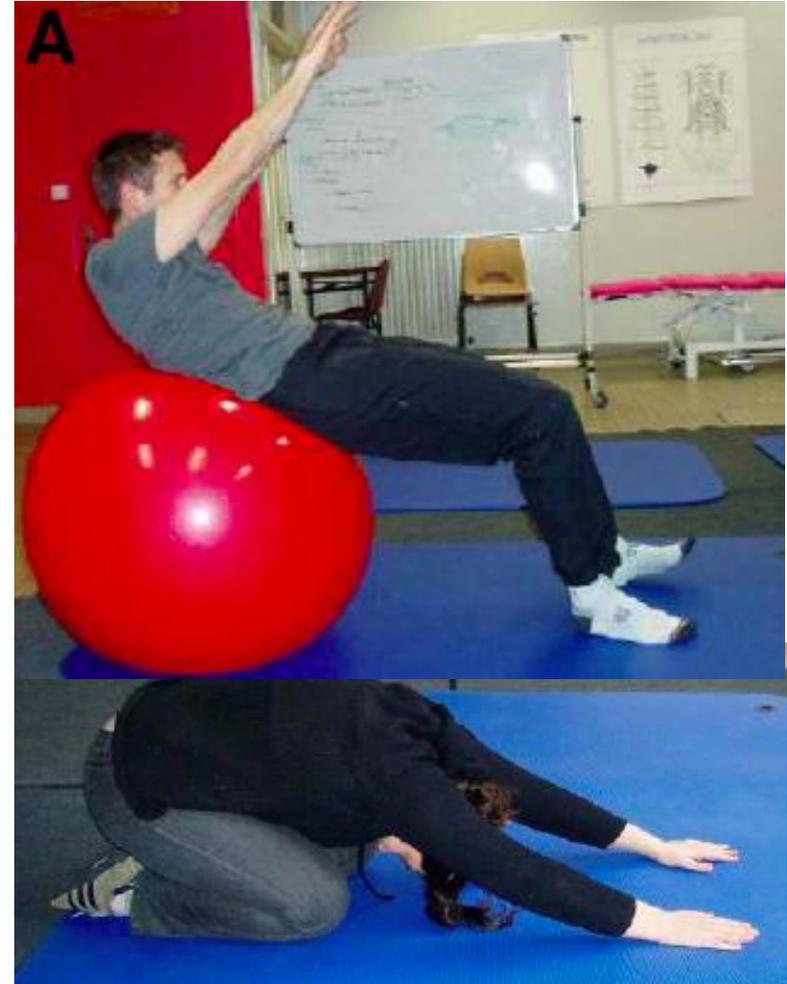
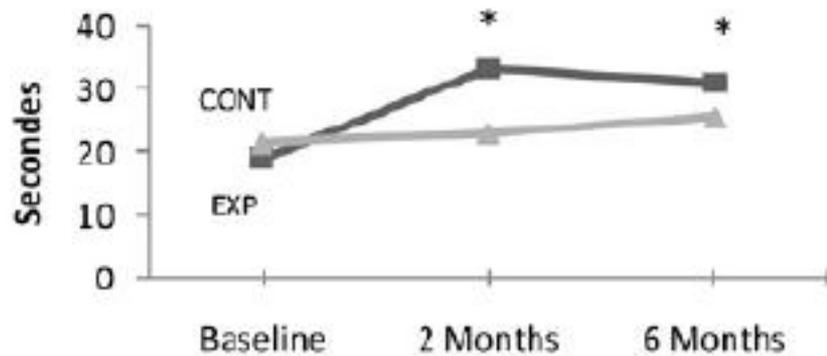
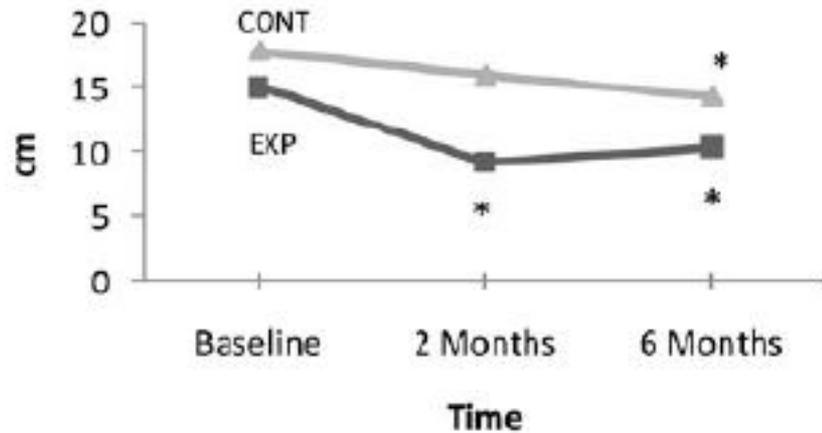
marche > 1.36 m/s (**5 km/h**)  
pas de décès à 5 ans



# augmenter l'activité, la qualité et l'espérance de vie

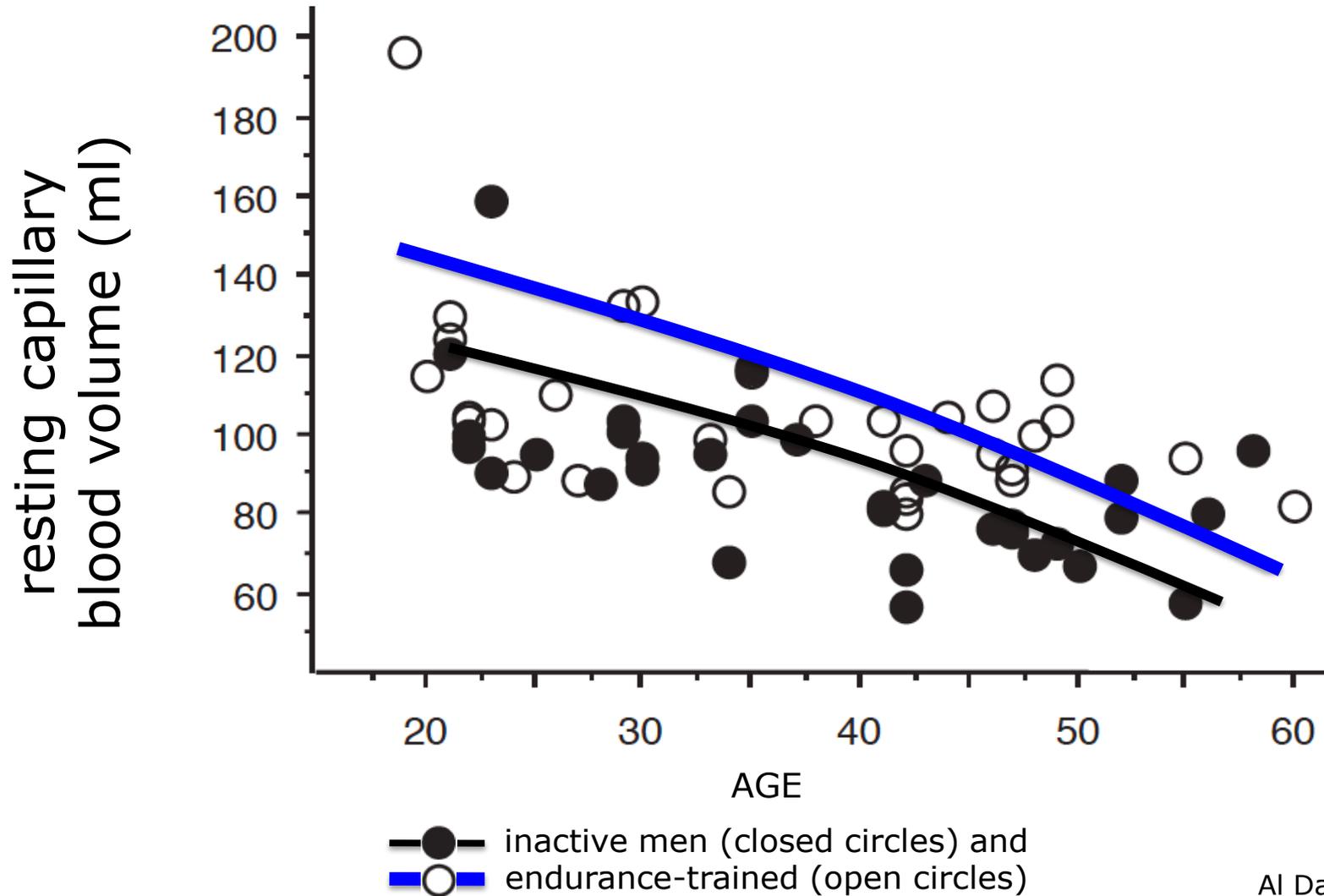


# essai randomisé pour le management des lombalgies chroniques dans l'industrie automobile française



évolution de la souplesse et de l'endurance

# ventilation / perfusion



# enquête annuelle AP – Irmes sur le niveau d'activité physique des Français 2012-2016



Paris, 12 janvier 2017

Bilan de 5 ans d'étude sur le niveau d'Activité Physique ou Sportive

**Les Français font moins de 8000 pas par jour**

***L'association Attitude Prévention dévoile les résultats de 5 années de suivi du niveau d'Activité Physique ou Sportive (APS) de la population française. Ce bilan révèle une stagnation du niveau d'activité, que ce soit en nombre de pas quotidiens ou en terme de pratique sportive.***

# sport sur ordonnance contexte législatif

loi de Santé du 26 janvier 2016

décret n° 2016-1990 du 30 décembre 2016

adopter un mode de vie physiquement actif  
et réduire les facteurs de risque



# objectifs

prévenir les pathologies spécifiques  
liées au sport

en développer les bénéfices sanitaires  
et les prouver

**tester nos  
marges d'adaptation**

# L'ACTIVITÉ PHYSIQUE MAINTIENT LA QUALITÉ DE VIE



**Robert Marchand, 105 ans**  
4 janvier 2017

**Juliana Antero** Insep  
**Geoffroy Berthelot** Adjoint Scientif  
 Hélène Boucher Adjointe Admin  
 François Desgorces Paris Descartes  
 Thibault Ledanois Insep  
 Haidar Djemai Paris Descartes  
**Andy Marc** Insep  
 Adrien Marck ED Frontières du Vivant  
**Philippe Noirez** U. Paris Descartes  
**Guillaume Saulière** ED Santé Publique  
 Julien Schipman Insep  
 Rémi Thomasson U. Marne la Vallée  
**Adrien Sedeaud** Adjoint Sport  
 Joana Ungureanu EHESP  
 Damien Vitiello U. Paris Descartes

Alain Frey Dir Méd INSEP  
 Philippe Le Van CNOSF  
 Alain Calmat



## Remerciements



**Gilles Boeuf**  
 Denis Couvet MNHN  
 Vincent Bensay Polytechnique  
**Olivier Hermine** CNRS / Imagine  
**Bernard Swynghedauw** Inserm  
 Patricia Thoreux CNAM, CIMS  
 Aurélien Latouche CNAM  
 Gérard Dine IBT





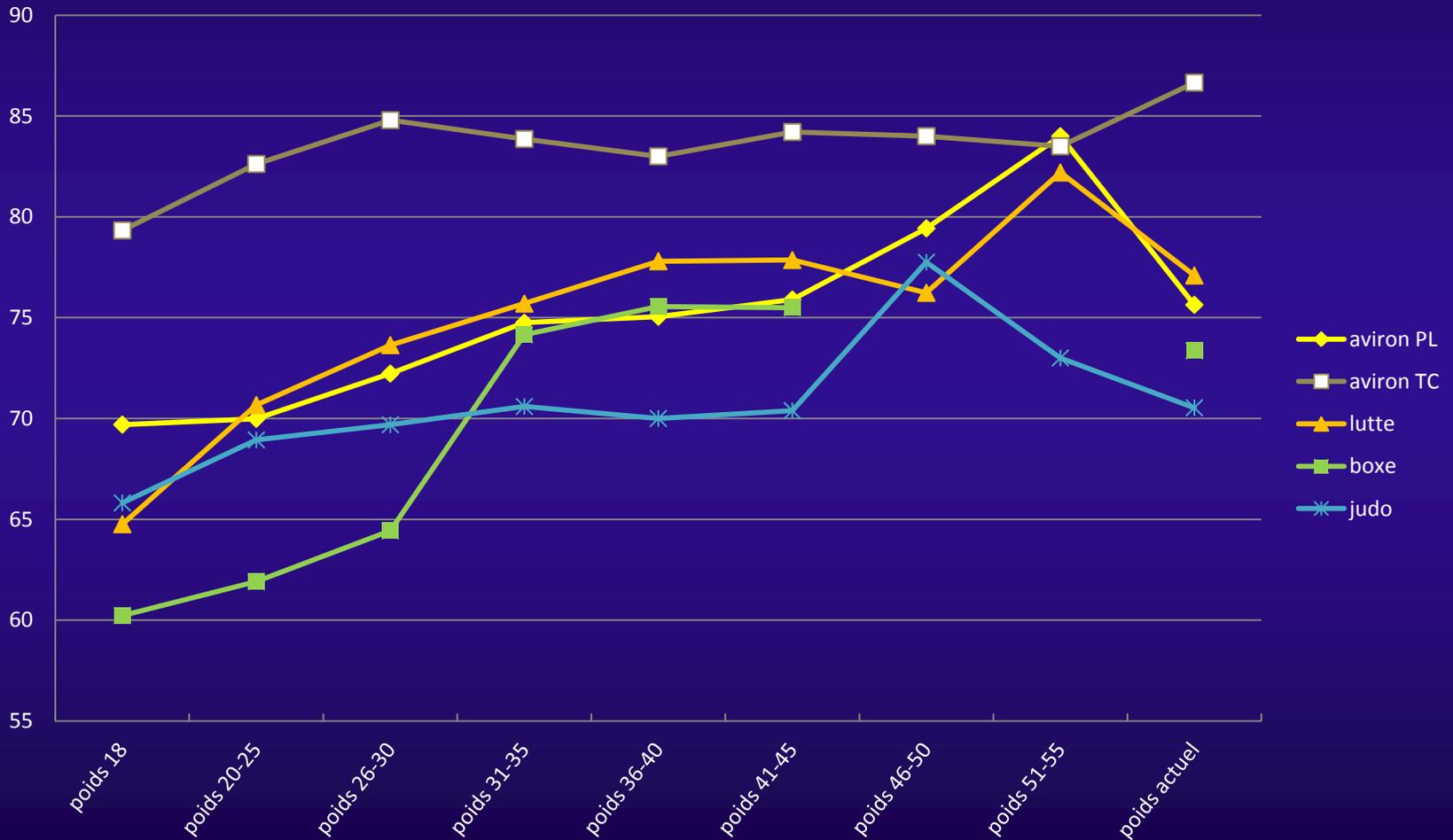




**NUUT**

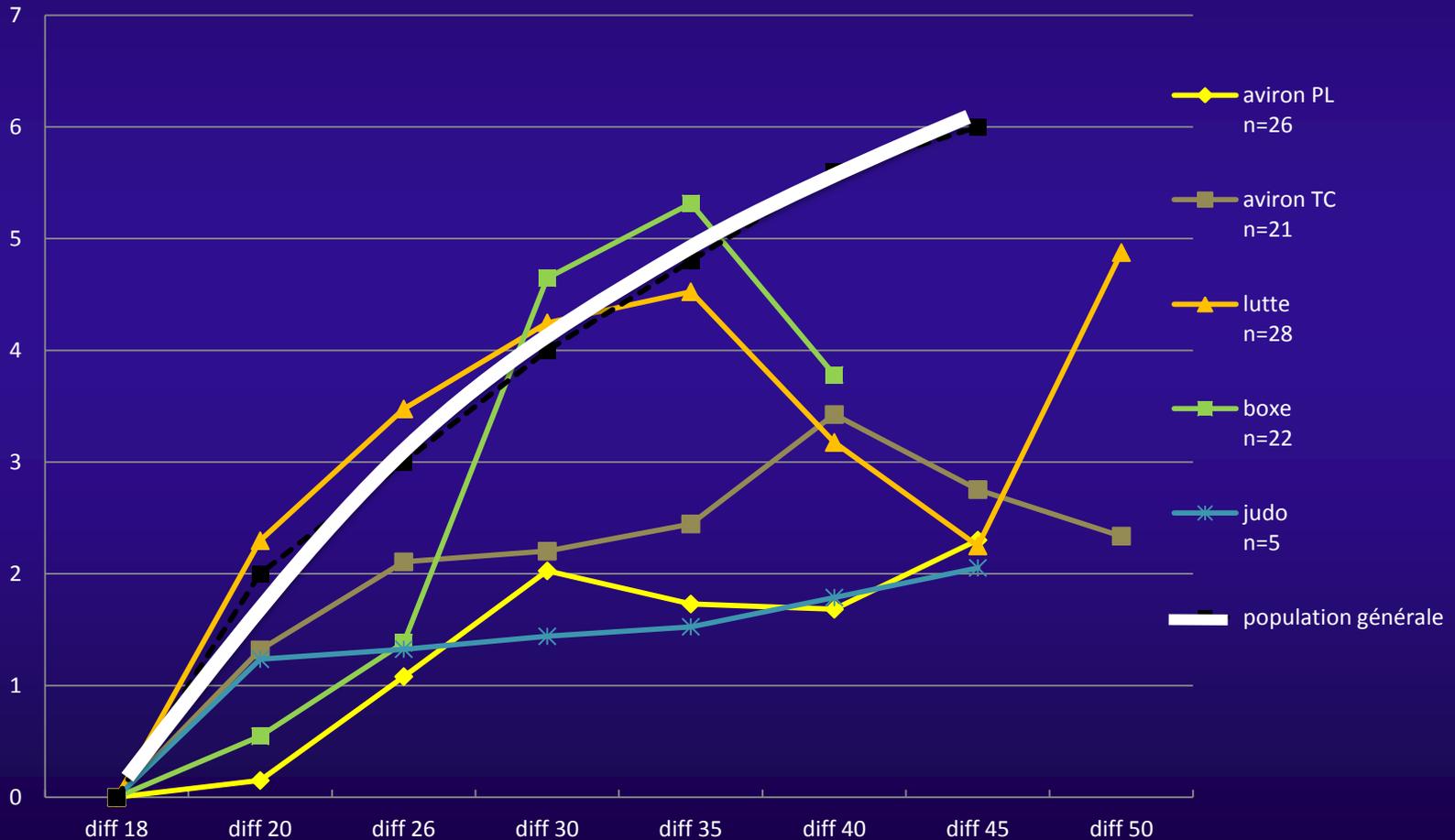
# poids

évolution du poids en fonction du sport (en kg)



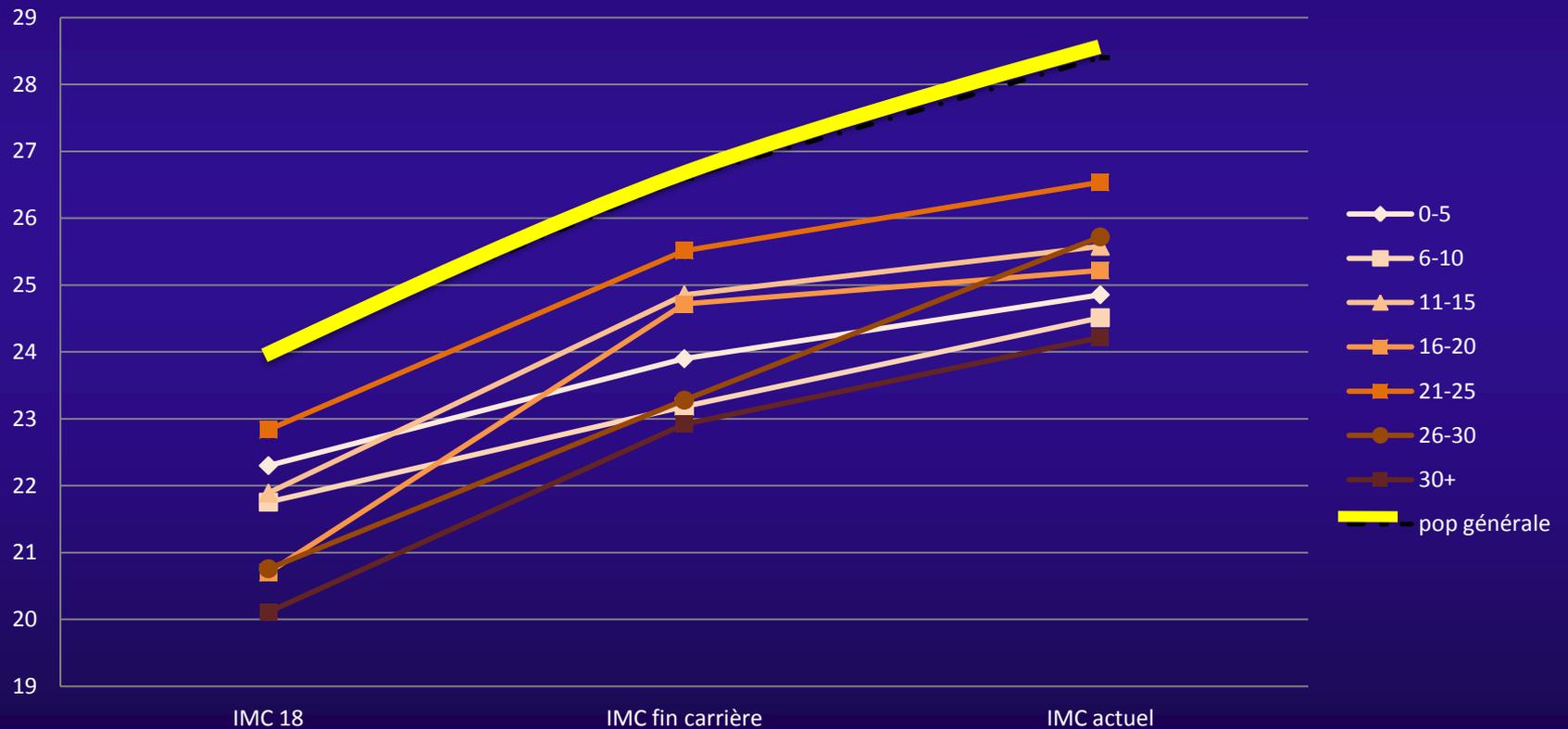
# gains d'IMC selon le sport

évolution des points d'IMC depuis 18 ans



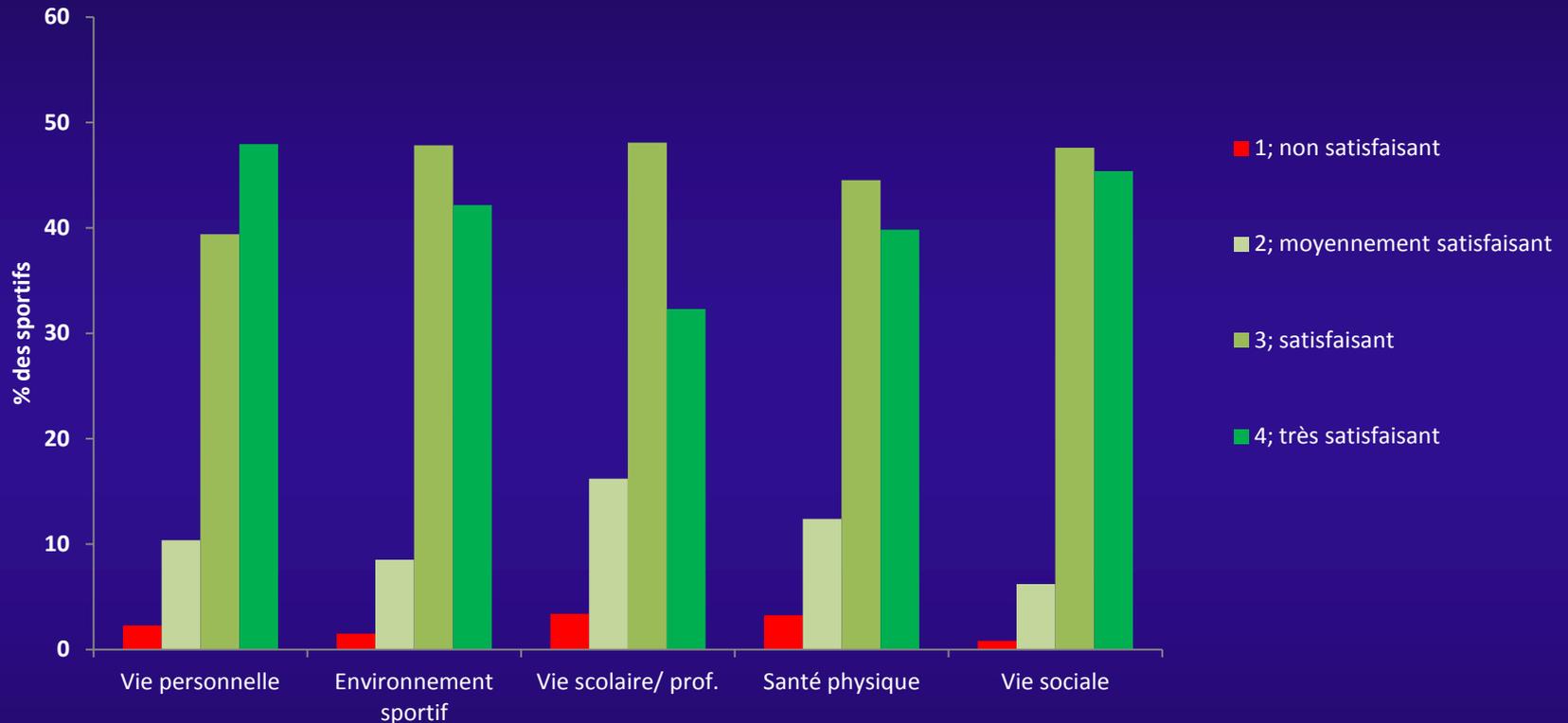
# IMC selon le nombre de régimes

évolution de l'IMC



**PSY**

# Facteurs sociaux et environnementaux



- facteurs sociaux et environnementaux jugés non satisfaisants considérés comme facteurs de risque pour le bien-être psychologique
- un très faible pourcentage paraît exposé à ces FdR

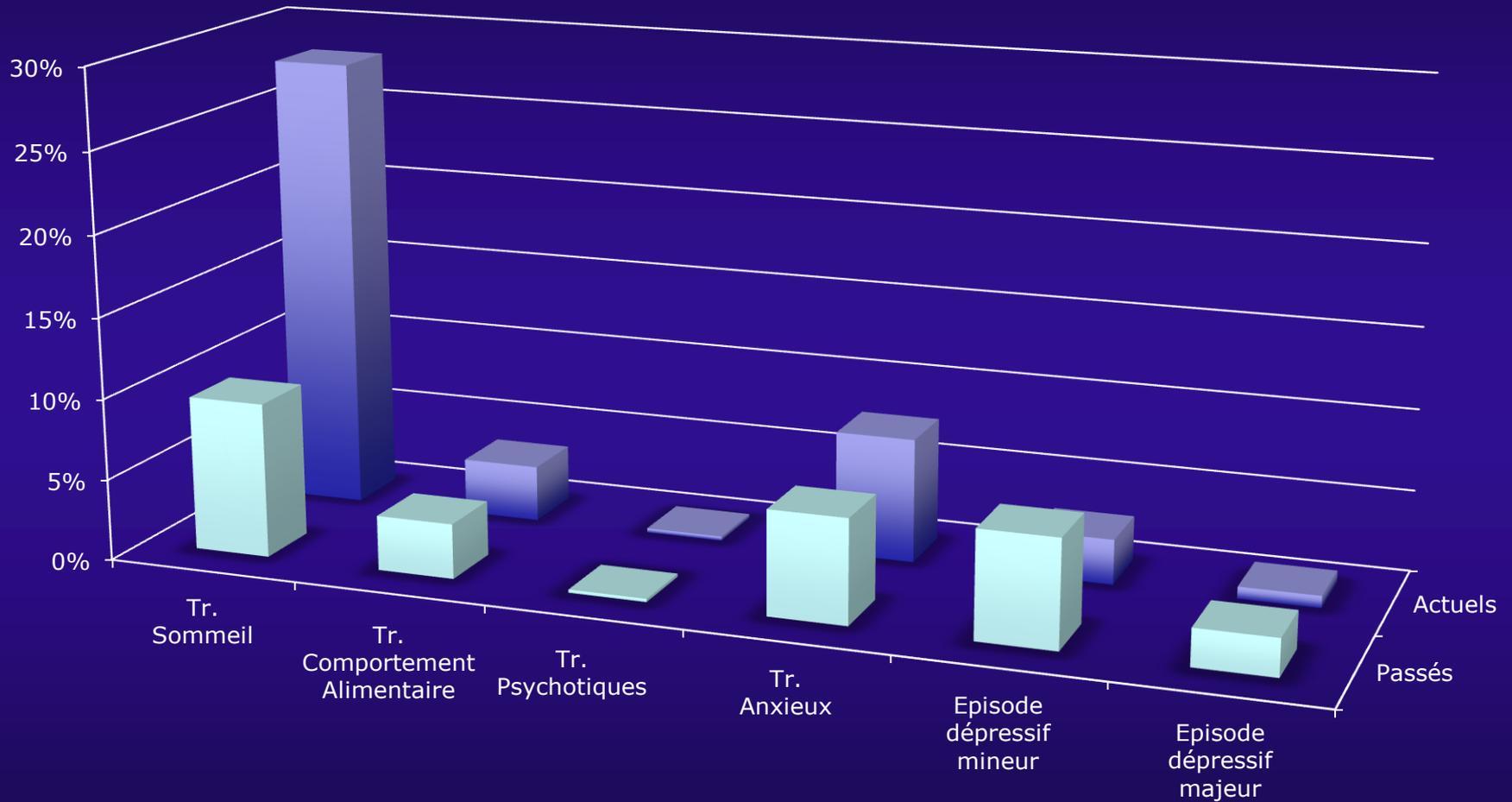
# 83% n'ont pas de problème actuel psychopathologique

Pour 17% :

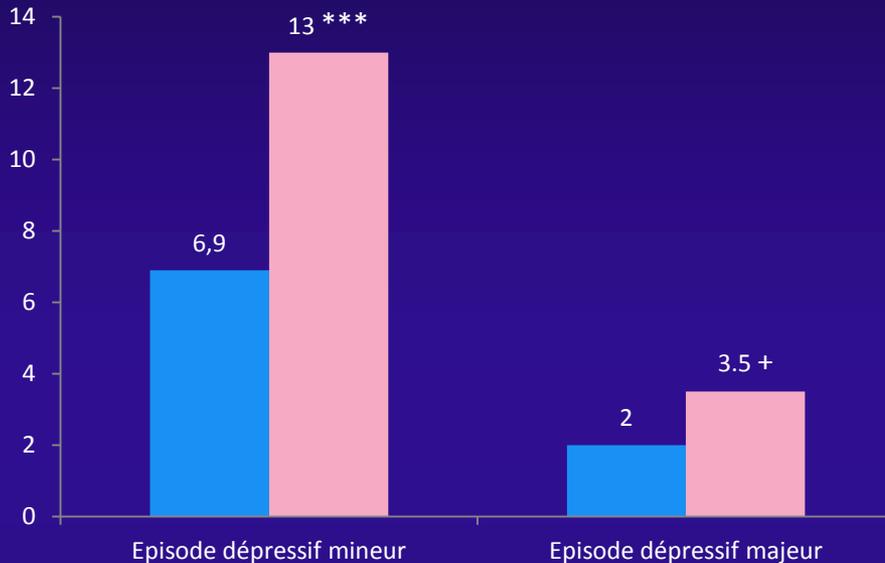
	Passé	Actuel	<i>Pop Française</i>
Tr. Anxieux	6 % (95)	8 % (113)	<b>31 % (x3)</b>
anxiété généralisée	3 % (51)	6 % (93)	
Dép Mineure	7 % (98)	<b>3 % (41)</b>	<b>10 % (x3)</b>
Dép Majeure	2 % (34)	<b>1 % (11)</b>	<b>4,7% (x4)</b>
Idées suicidaires	1,6 % (24)	<b>0,7 % (10)</b>	<b>6,9% (x10)</b>
Tentative suicide	0,2 % (2)	<b>0,4 % (6)</b>	<b>0,9% (x2)</b>
Tr. Psychotiques	0,2 % (3)	0,3 % (4)	
Tr. Sommeil	10 % (141)	28 % (414)	
Tr. Comp Alim	3 % (50)	3 % (51)	

DREES  
2011

# Troubles



# Épisodes dépressifs



Prévalence sur vie entière d'épisodes dépressifs, %. Différence H-F significative; +,  $p < 0.1$ , \*,  $p < 0.05$ ; \*\*,  $p < 0.01$ , \*\*\*,  $p < 0.001$ .

Les épisodes dépressifs majeurs sont associés aux:

-Troubles du comportement alimentaire

- Violences subies

Verbales (  $p < 0.001$  )

Physiques (  $p < 0.001$  )

Sexuelles (  $p < 0.001$  )

- Troubles du sommeil

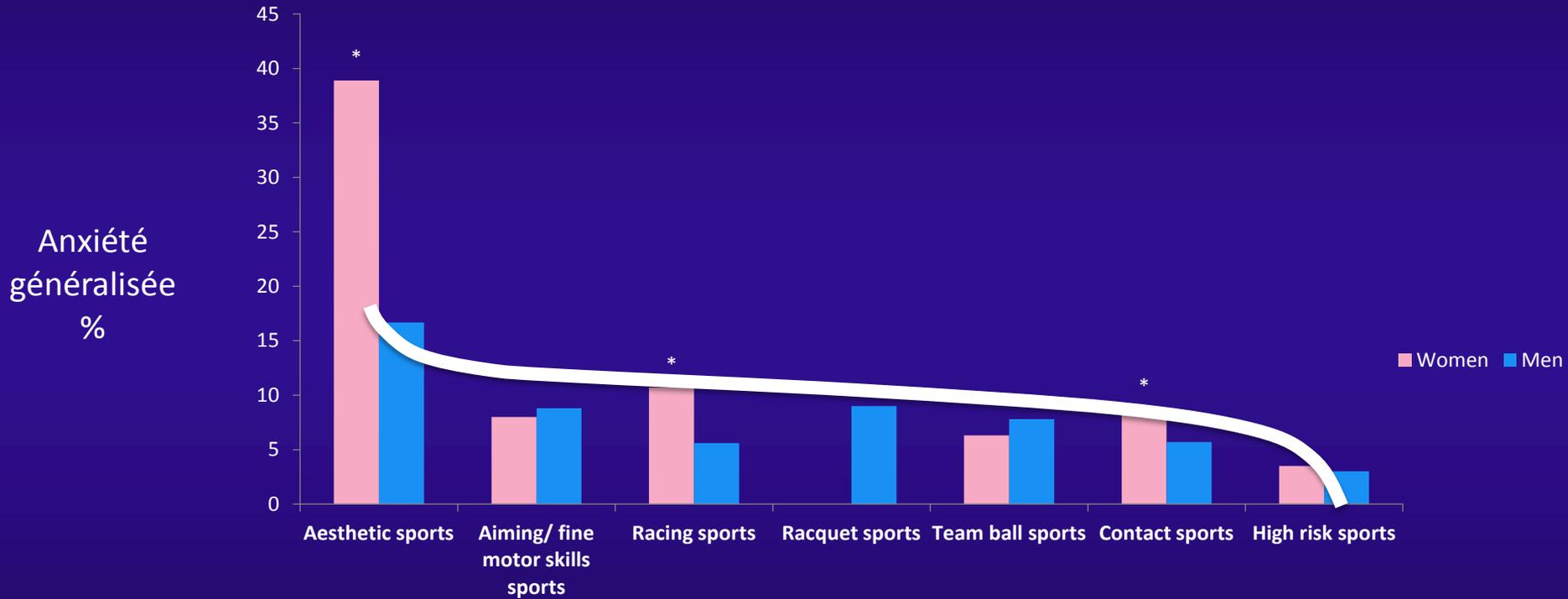
Difficultés d' endormissement (  $p < 0.001$  )

Réveils nocturnes (  $p < 0.001$  )

-Consommation ET abus d'alcool (  $p < 0.001$  )

Effet de l'âge: les sportifs de 22 ans et plus étaient plus souvent affectés par des ED majeurs en cours ( $p = 0.02$ ).

# catégorie de sport



# Analyse statistique des sports individuels

## Prévalence de troubles anxieux par sport

