



HAL
open science

La viande de culture ou la viande sans animaux, réalité ou fiction ?

Jean-François J.-F. Hocquette, Isabelle Cassar-Malek, Brigitte B. Picard,
Dominique Bauchart

► To cite this version:

Jean-François J.-F. Hocquette, Isabelle Cassar-Malek, Brigitte B. Picard, Dominique Bauchart. La viande de culture ou la viande sans animaux, réalité ou fiction ?. Séance plénière de l'Académie de la Viande, May 2010, Paris, France. n.p. hal-02818668

HAL Id: hal-02818668

<https://hal.inrae.fr/hal-02818668>

Submitted on 6 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

La viande de culture ou la viande sans animaux, réalité ou fiction ?

Jean-François Hocquette,
Isabelle Cassar-Malek, Brigitte Picard,
Dominique Bauchart
INRA, Unité de Recherches sur les
Herbivores



Comment aborder ce sujet ?

1. Les enjeux et pourquoi cette question ?
2. L'état de l'art
3. Les verrous techniques qui restent à lever
4. Les questions économiques, environnementales et sociales
5. Conclusion

Contexte et Enjeux mondiaux

Nécessité de nourrir une population humaine croissante (pays en voie de développement).

Accroissement démographique (6 à 9 Milliards en 2050)

Répondre aux défis associés au changement climatique (la température va augmenter de 2 à 4°C d'ici 2050).

Réduire les rejets (azote, méthane, etc).

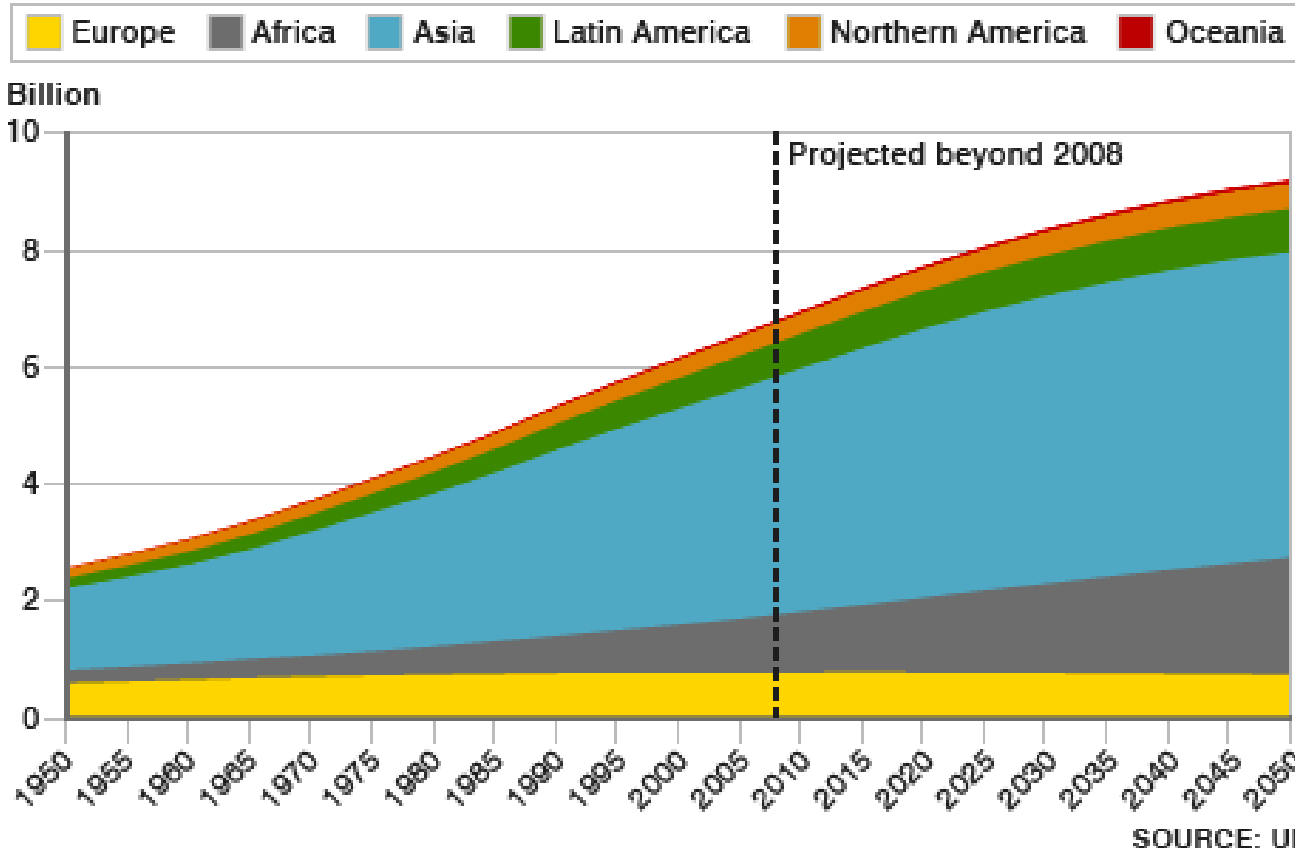
Adaptation des espèces (robustesse des animaux d'élevage)

Nécessité de répondre aux attentes sociétales (pays développés vs pays en voie de développement).

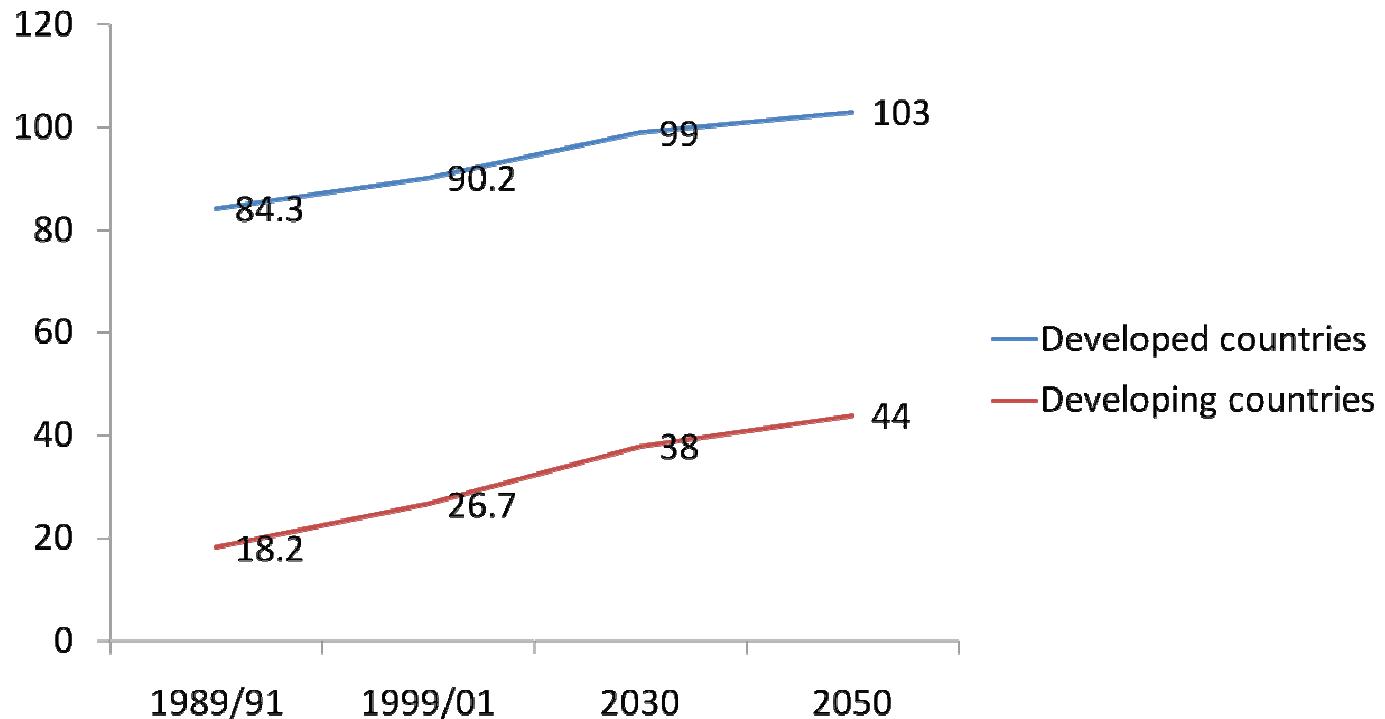
Bien-être animal, protection de l'environnement (biodiversité des prairies), gestion des paysages, etc.

La population mondiale va augmenter de 6 à 9 Milliards (jusqu'en 2050)

The world's rising population, 1950-2050



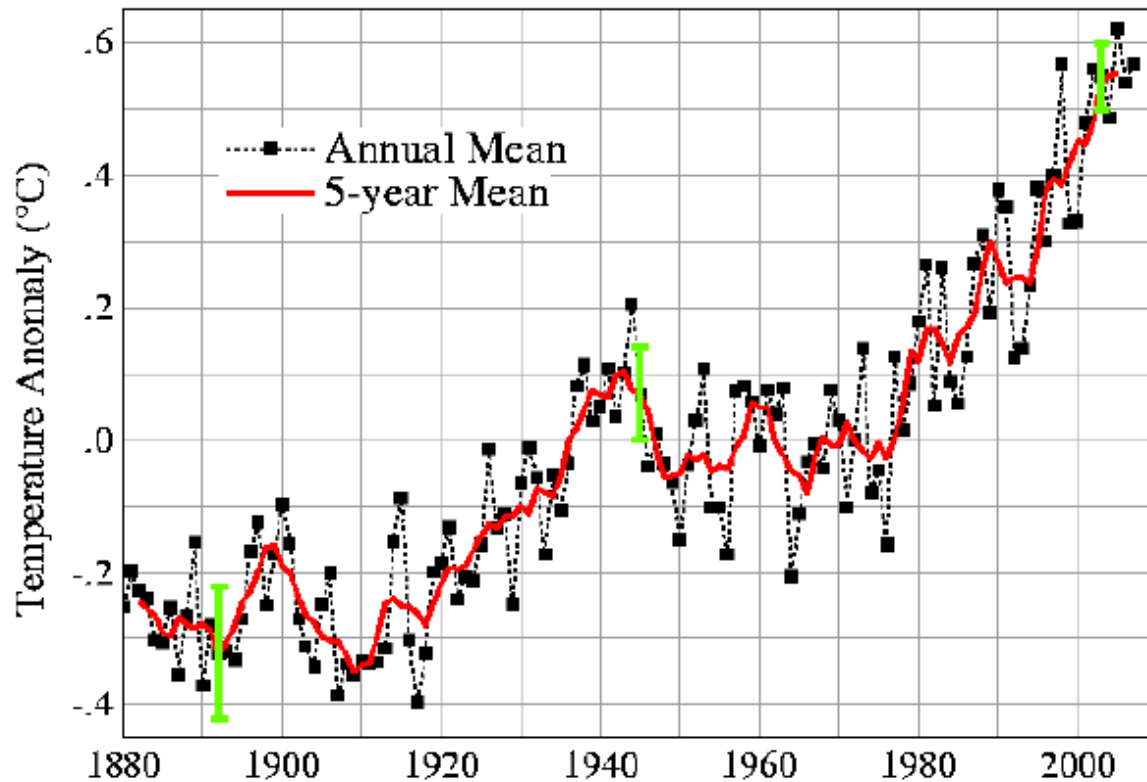
Projections de la consommation de viande dans les pays développés et en développement (kg/personne/an)



Source: World Agriculture: Towards 2030/2050 (adapted from Garnett 2009)

Réchauffement global depuis 1850

Global Temperature Land-Ocean Index



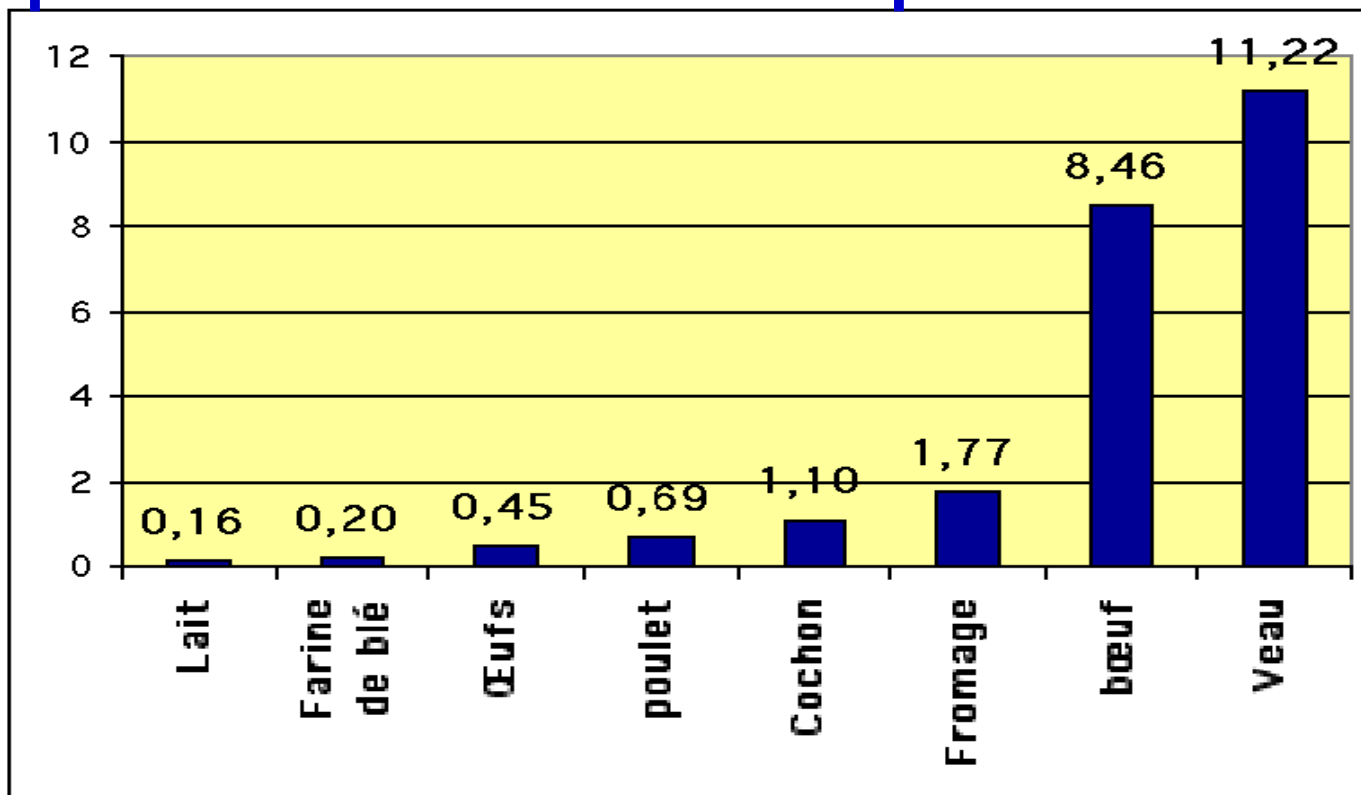
Les 8 années les plus chaudes jamais observées sont celles du XXI^{ème} S. et 1998

Production de gaz à effet de serre (kg CO₂e/kg produit) par les animaux d'élevage

Viande bovine	12.98
Viande ovine	17.4
Viande porcine	6.35
Volaille	4.57
Lait	1.32

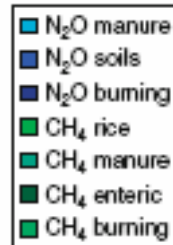
Foster et al (2006)

Les gaz à effet de serre associés à la production d'aliments pour l'homme



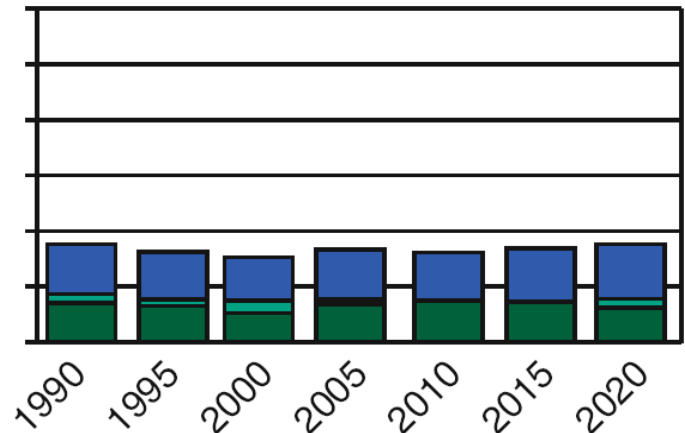
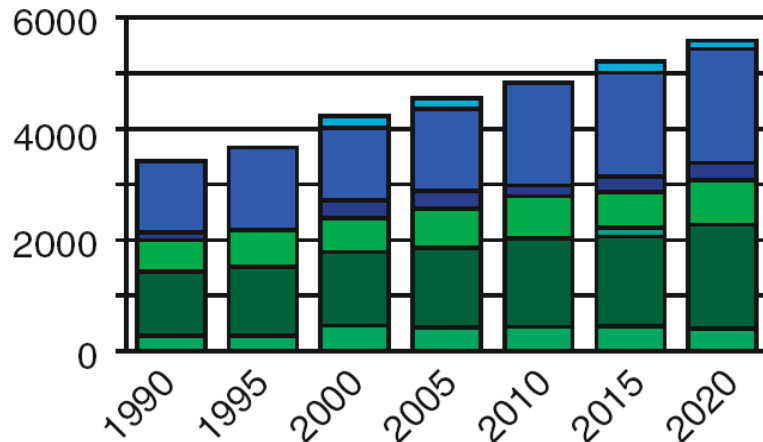
Émissions de gaz à effet de serre (en kg équivalent carbone) liés à la production d'un kg de nourriture. Source : Jancovici, 2000

Élevage et GES selon les pays



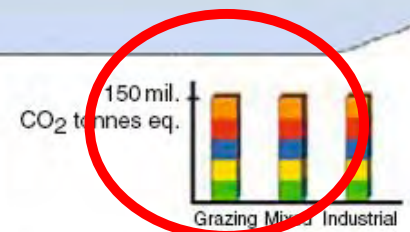
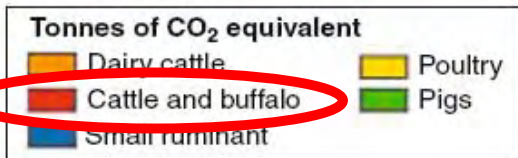
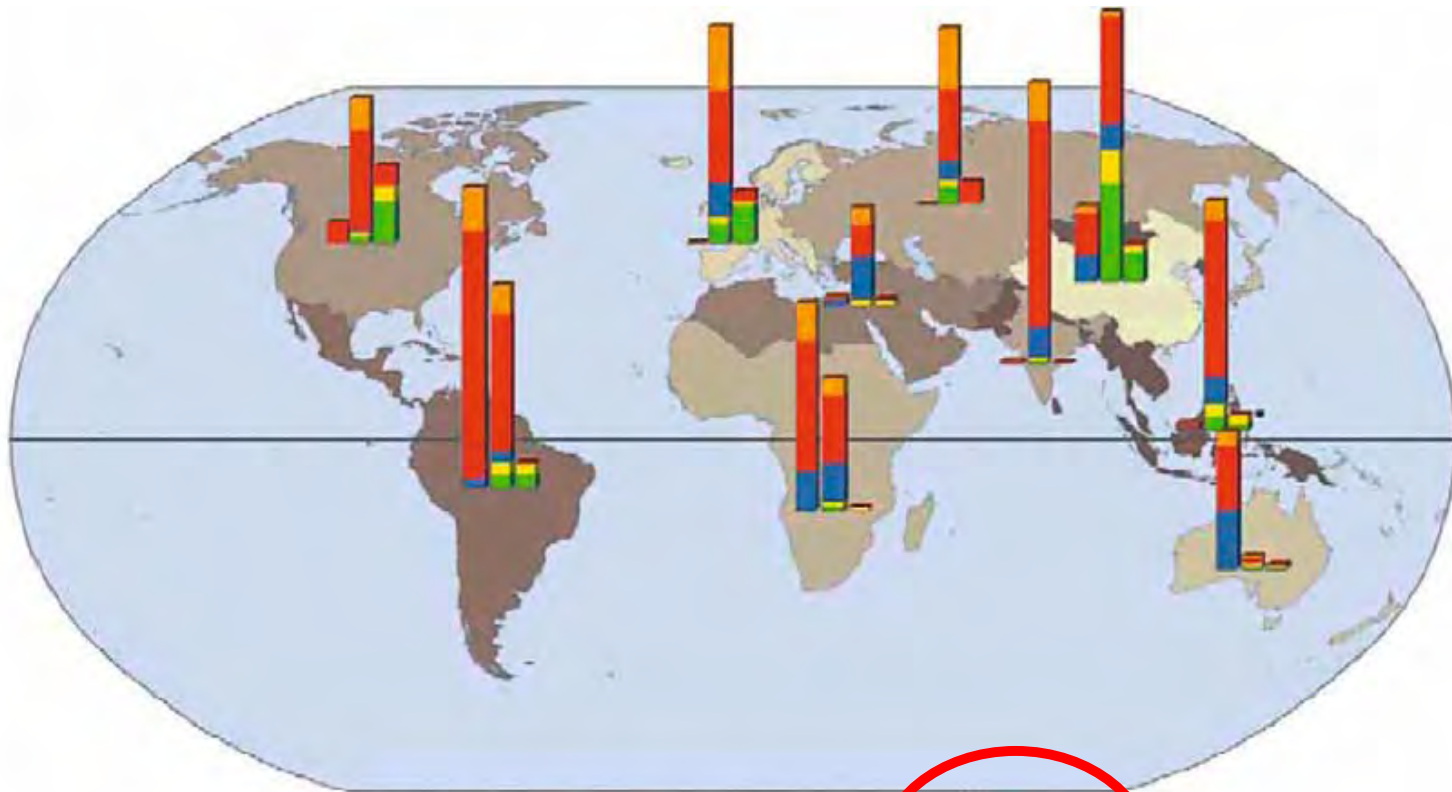
Pays en voie de développement

Pays développés



Pitesky, Stackhouse, and Mitloehner, 2009. Advances in Agronomy, Volume 103

Production de CO₂ par les animaux d'élevage ?



La vache qui pollue



<http://hommelibre.blog.tdg.ch/media/01/00/766612908.jpg>

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

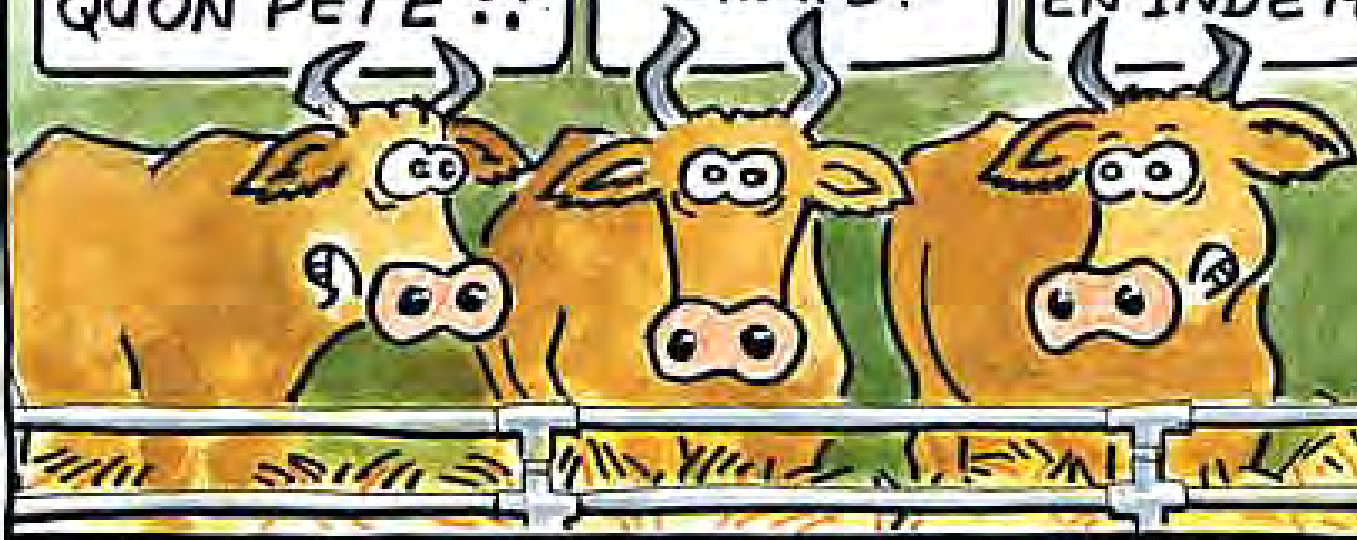
INRA

EFFET DE SERRE: DES MESURES DRACONIENNES!

T'AS VUE LA
DERNIÈRE INFO?
IL FAUT PLUS
QU'ON PÈTE !!

TOUTES LES
LIBERTÉS
FOUTENT LE
CAMPS!

ET BIEN SI
ÇA CONTINUE
JE ME CASSE
EN INDE MOI!



ALIMENTATION

http://www.satoriz.fr/PHOTO/83_JPG/SAT83_pict_29_0001.jpg

INRA

Le steak ou la planète ? Il faut choisir

FABRICE NICOLINO

BIDOUCHE

**L'INDUSTRIE
DE LA VIANDE
MENACE
LE MONDE**

LLL LES LIENS QUI LIÈRENT



ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Les préoccupations du consommateur

salmonelles
dans les oeufs

Grippe
aviaire

ans
es

Vach

vre
aphteuse

Crise de confiance des consommateurs
pour les produits animaux

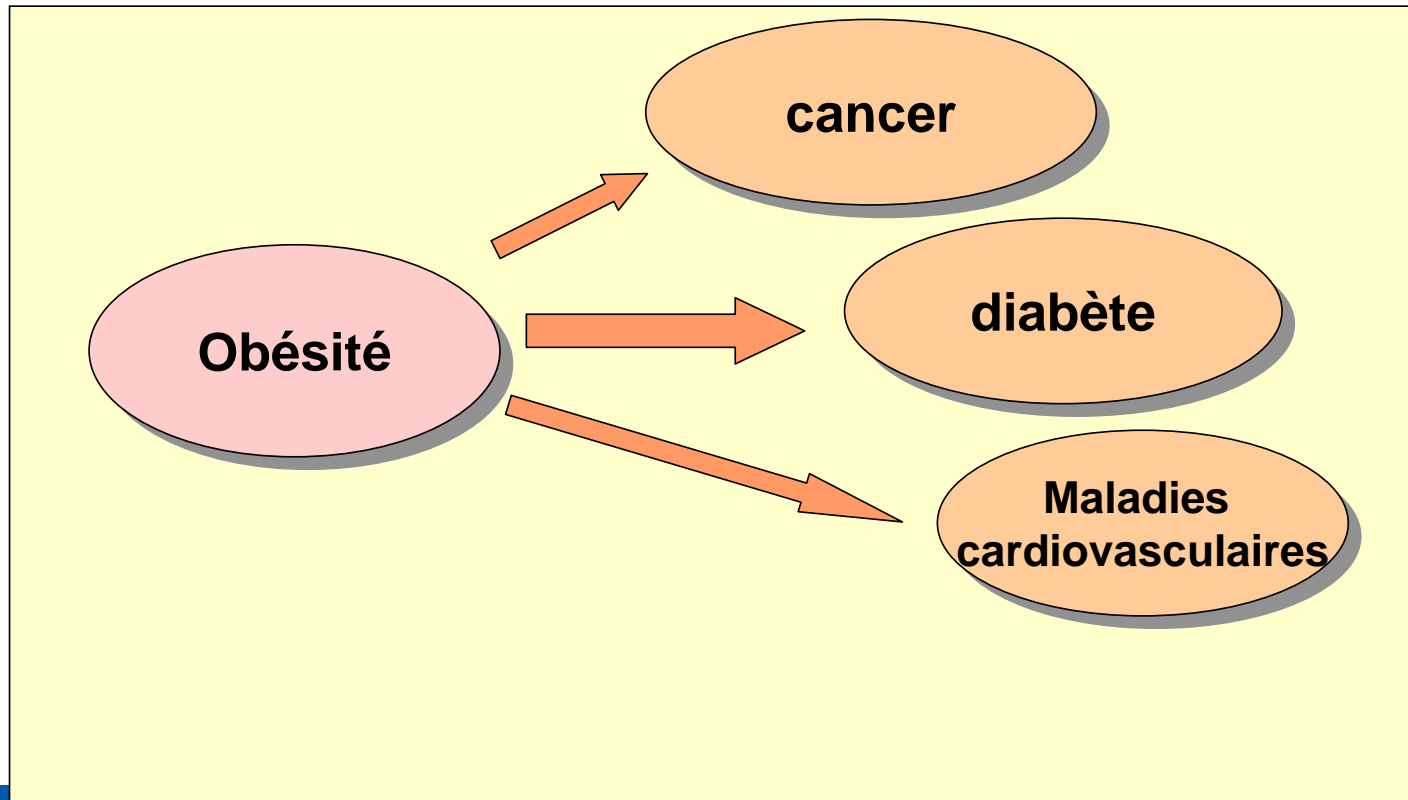
Viande rouge
et cancer

Source : N Scollan

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Facteurs de risques des maladies non transmissibles

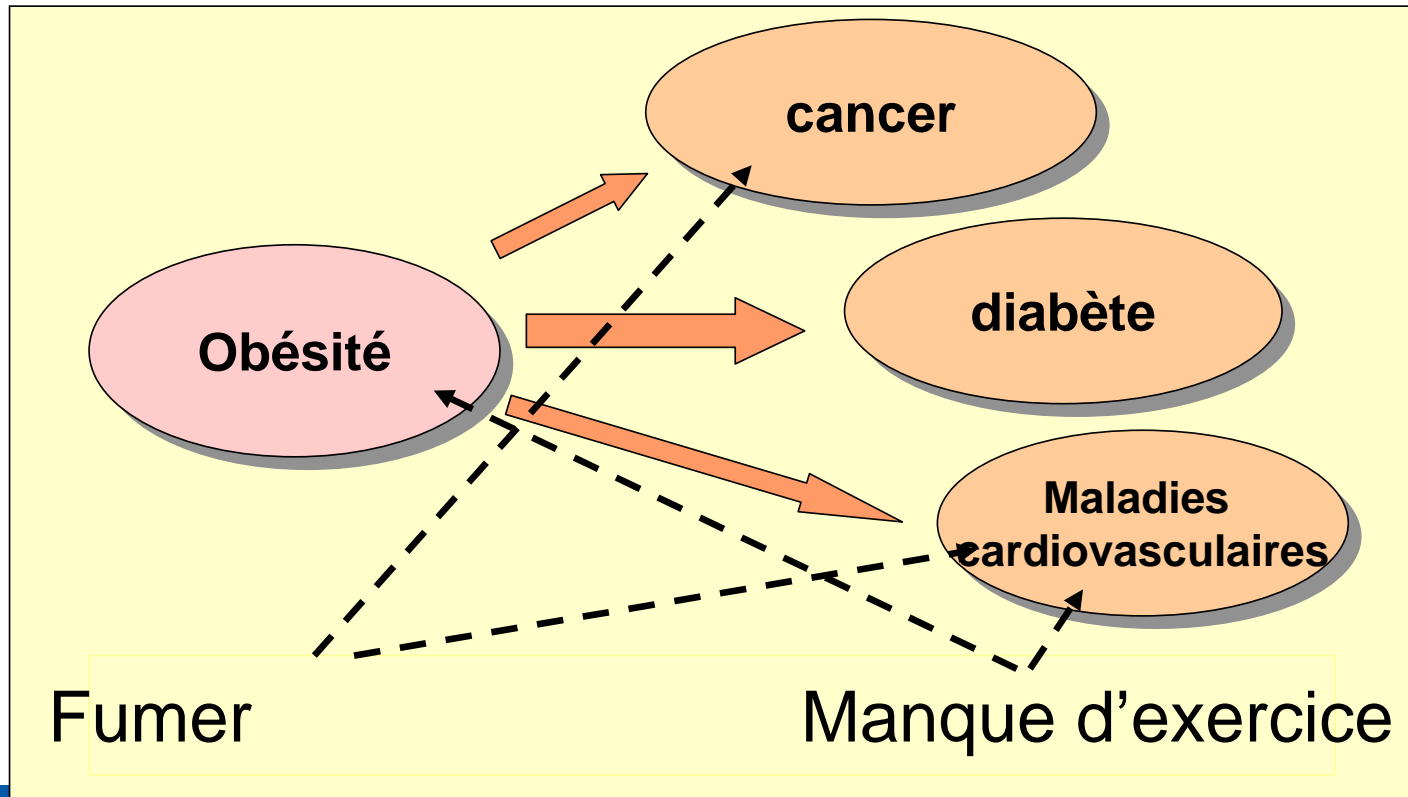


Source : N Scollan

AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Facteurs de risques des maladies non transmissibles

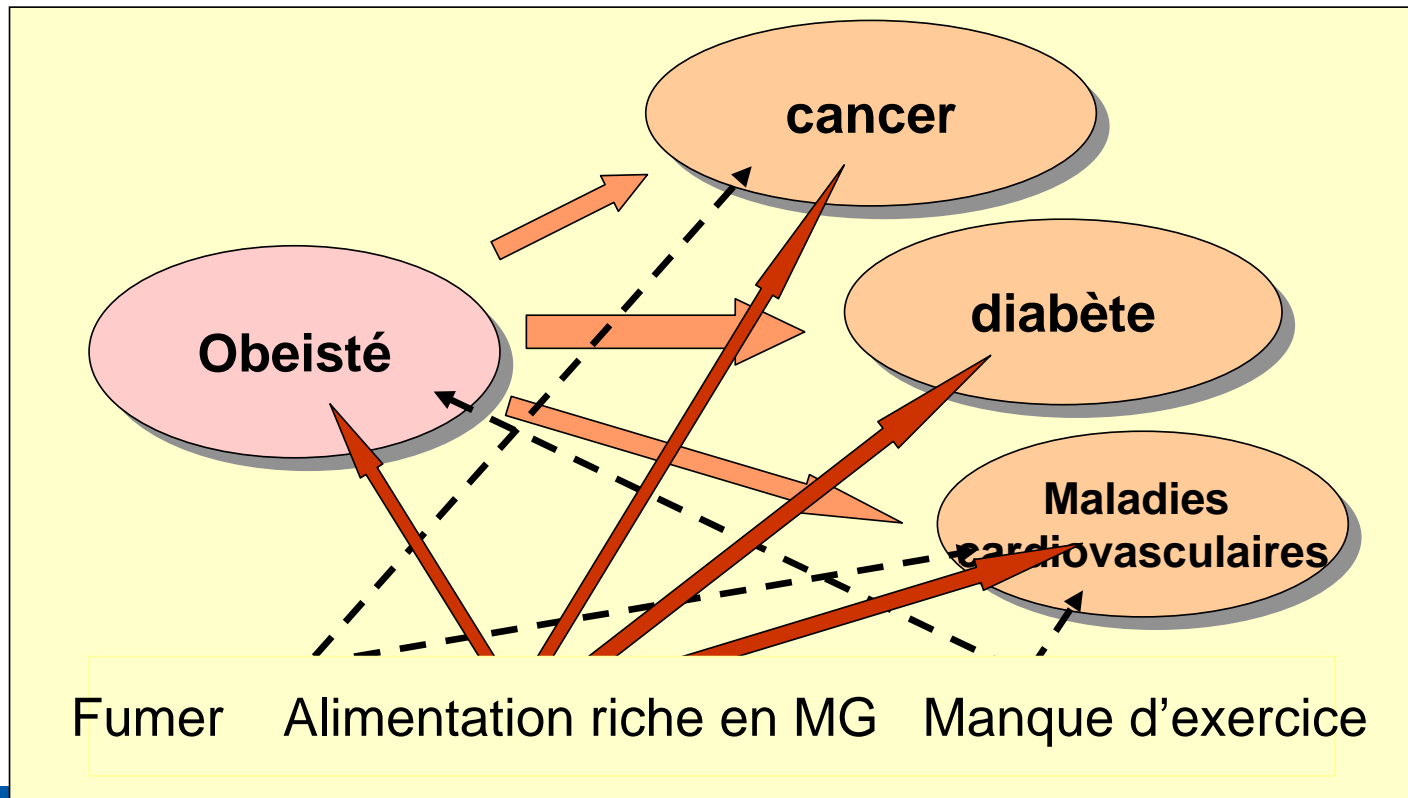


Source : N Scollan

AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

Facteurs de risques des maladies non transmissibles



Source : N Scollan

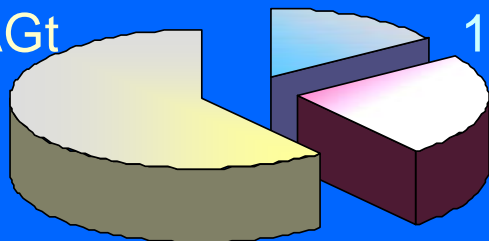
Composition en AG des produits de ruminants

Apports Nutritionnels Conseillés

AGMI
60% AGt

AGPI
15% AGt

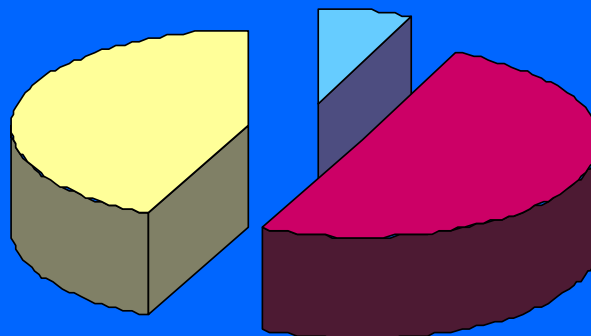
AGS
25% AGt



AGMI
40-45 % AGt

AGPI
6% AGt

AGS
50% AGt



VIANDE BOVINE

Source : D Bauchart

Les solutions ?

- Manger moins de viande
- Produire de la viande en laboratoire ?



Une publication dans un journal scientifique sérieux

Meet the new meat:
tissue engineered
skeletal muscle



Marloes L.P. Langelaan^{a,1},
Kristel J.M. Boonen^{a,1},
Roderick B. Polak^a, Frank P.T.
Baaijens^a, Mark J. Post^{a,b} and
Daisy W.J. van der Schaft^{a,*}

^aDepartment of Biomedical Engineering, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands (Eindhoven University of Technology, Department of Biomedical Engineering, PO Box 513, WH 4.112, 5600 MB Eindhoven, The Netherlands. Tel.: +31 40 2478319; fax: +31 40 2447355; e-mail: d.w.j.v.d.schaft@tue.nl)

^bDepartment of Physiology, CARIM, Maastricht University, Maastricht, The Netherlands

The First In Vitro Meat workshop, June 15, 2007

First international symposium April 9-11, 2008



The symposium was held at the Norwegian Food Research Institute (Matforsk), Aas, Norway, hosted by the Norwegian University of Life Sciences (UMB) and the Norwegian Food Research Institute (Matforsk).

<http://invitromeat.org/>

First international symposium April 9-11, 2008



Le Consortium

The original steering committee was expanded to include Jason Matheny (New Harvest & Johns Hopkins Univ., **USA**) and Henk Haagsman (University of Utrecht, **Netherlands**), in addition to Stig W. Omholt (Chairman, Norwegian University of Life Sciences, **Norway**), Willem van Eelen (Vitro Meat BV, Netherlands), Bernard Roelen (University of Utrecht, Netherlands), Gunnar Kleppe (**Norwegian Bioindustry Association, Norway**), and Jose Teixeira (University of Minho, **Portugal**).

Ce qu'on trouve aussi sur le site

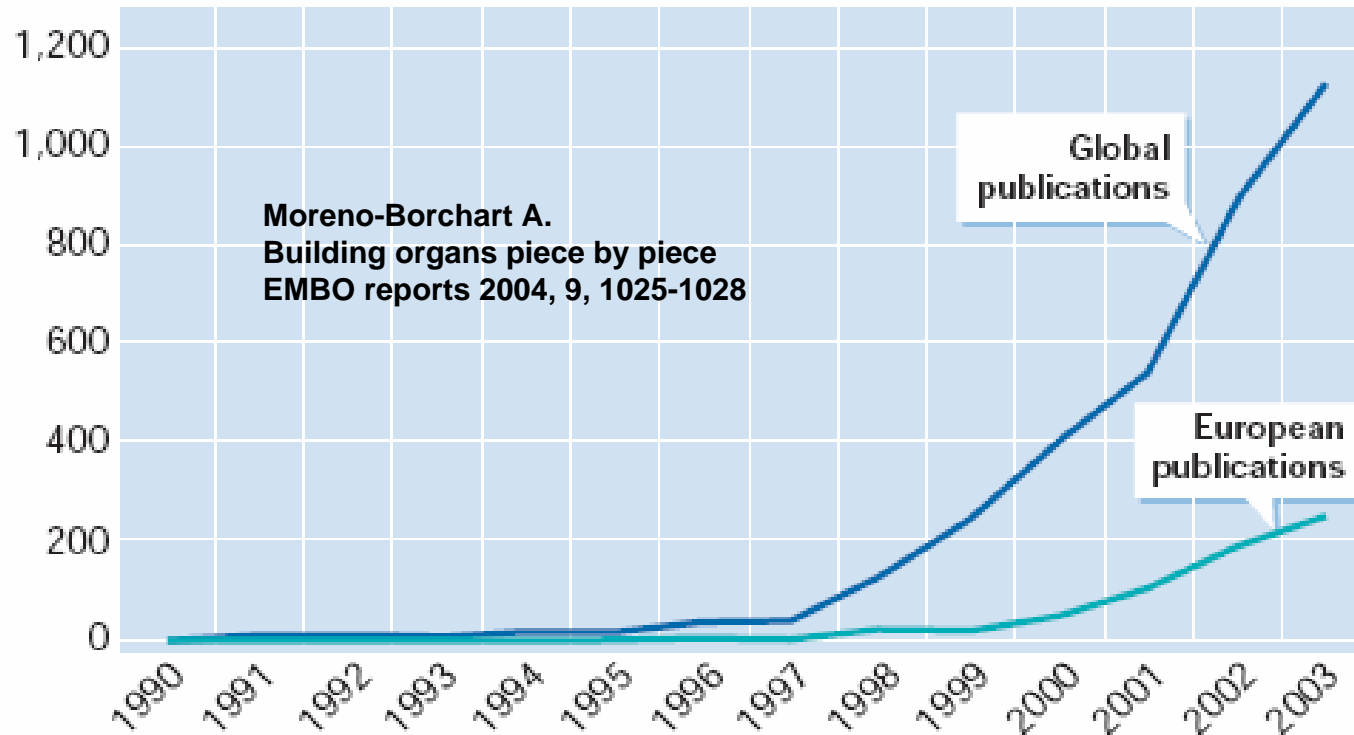
- Register to become a Consortium member
- Do you want to make financial contributions to the mission?



Comment aborder ce sujet ?

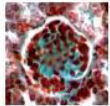
1. Les enjeux et pourquoi cette question ?
2. L'état de l'art
3. Les verrous techniques qui restent à lever
4. Les questions économiques, environnementales et sociales
5. Conclusion

Les progrès scientifiques sur les cultures de tissus



Number of publications related to tissue engineering over the last decade. PubMed was searched for publications containing the phrase 'tissue engineering'. European numbers refer to papers published in the 15 countries of the EU before the expansion

Un nouveau journal scientifique

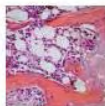
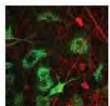
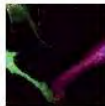
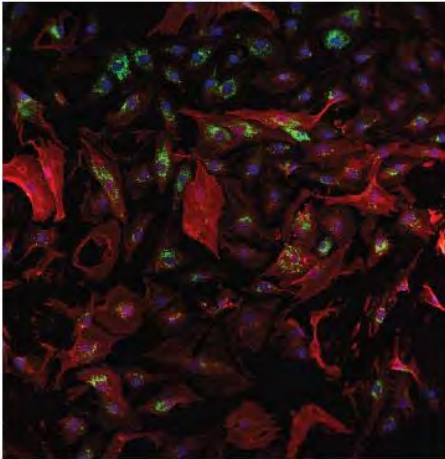


Volume 1
Issue 1
March 2010



stem cell
research & therapy

<http://stemcellres.com>



Editors-in-Chief:
Timothy O'Brien (Ireland)
Rocky Tuan (USA)



Stem cell research has progressed to the clinic and has enormous potential for treating incurable diseases such as Parkinson's disease and Alzheimer's disease, and potential for alleviating suffering in chronic conditions such as diabetes and osteoarthritis.

Tuesday Mar 16, 2010

Cellules Souches adultes

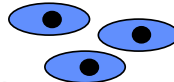
Assurent le renouvellement, la régénération, la réparation des tissus, afin d'assurer la pérennité des fonctions physiologiques

La formation du tissu musculaire

PROLIFERATION



Cellules musculaires

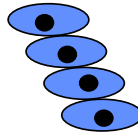


DIFFERENCIATION



Chez le fœtus
Et en cas de
régénération musculaire

Alignement
Reconnaissance



Fusion



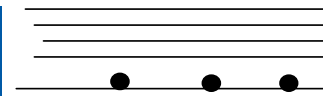
Myotube



Acquisition des
caractéristiques adultes



Fibre musculaire

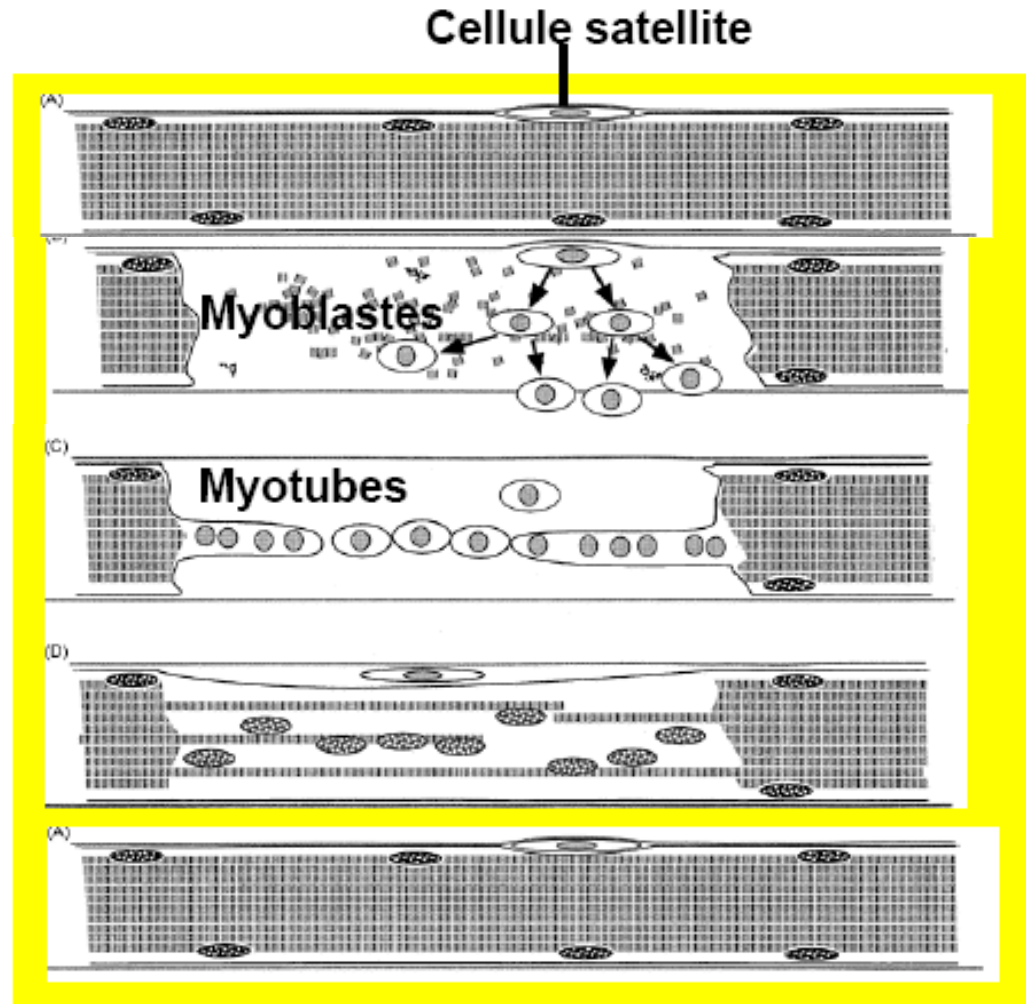


ENTATION

IRONNEMENT

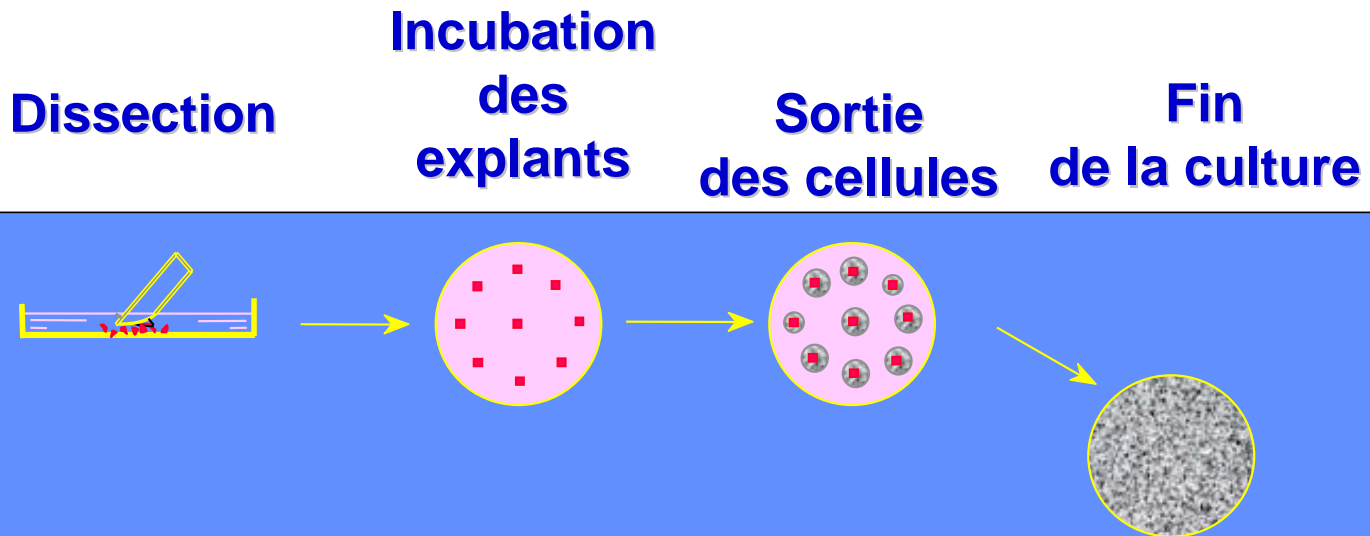


Régénération musculaire



Protocole de mise en culture en conditions stériles

Un morceau de muscle (post-natal) \Rightarrow des explants \Rightarrow des cellules qui se multiplient \Rightarrow un tapis de cellules

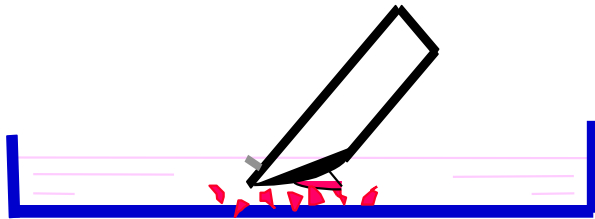


Source : B Picard, I Cassar-Malek

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



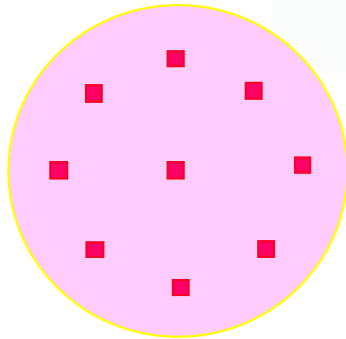
Dissection



Après prélèvement à l'abattoir ou sur animal vivant (biopsie), le muscle est découpé en petits morceaux dans une boîte de Pétri recouverte de collagène avec un milieu nutritif contenant des additifs, des facteurs de croissance, des nutriments énergétiques, des acides aminés, des hormones, etc.

DMEM/M-199 medium (3:1) with 10% fetal bovine serum (FBS), 10 $\mu\text{g/ml}$ insulin, 4 mM glutamine, 25 ng/ml fibroblast growth factor, and 10 ng/ml epidermal growth factor, Raymond et al. BMC Genomics 2010, 11:125

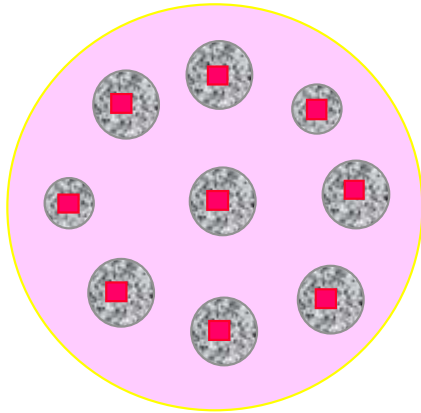
Incubation des explants



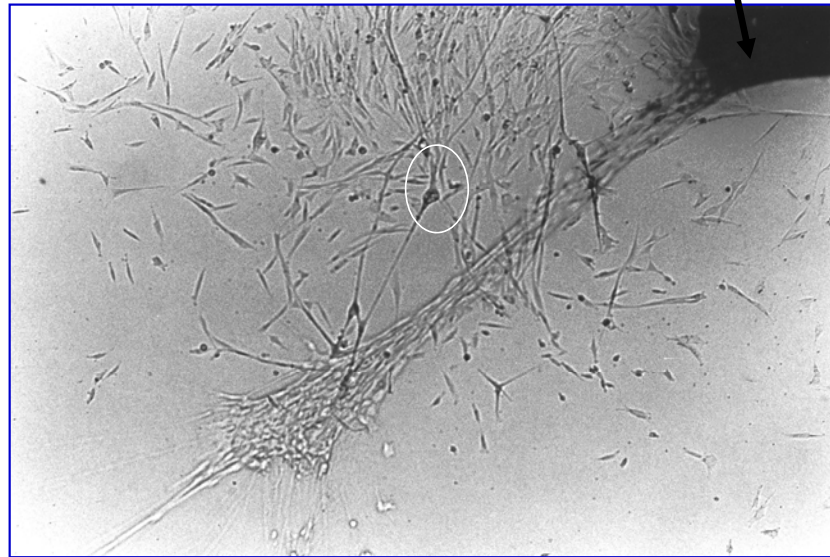
Les boîtes de Pétri contenant les morceaux de muscles ou explants, sont mises dans un incubateur où sont contrôlés:

- la température (37°C)
- l'hygrométrie (90 %)
- le taux de CO₂ (5 %)

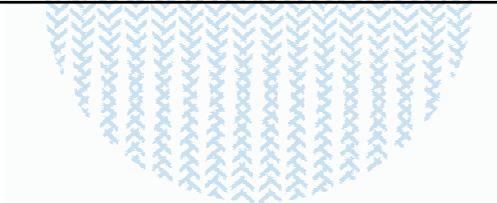
Sortie des cellules



Explant



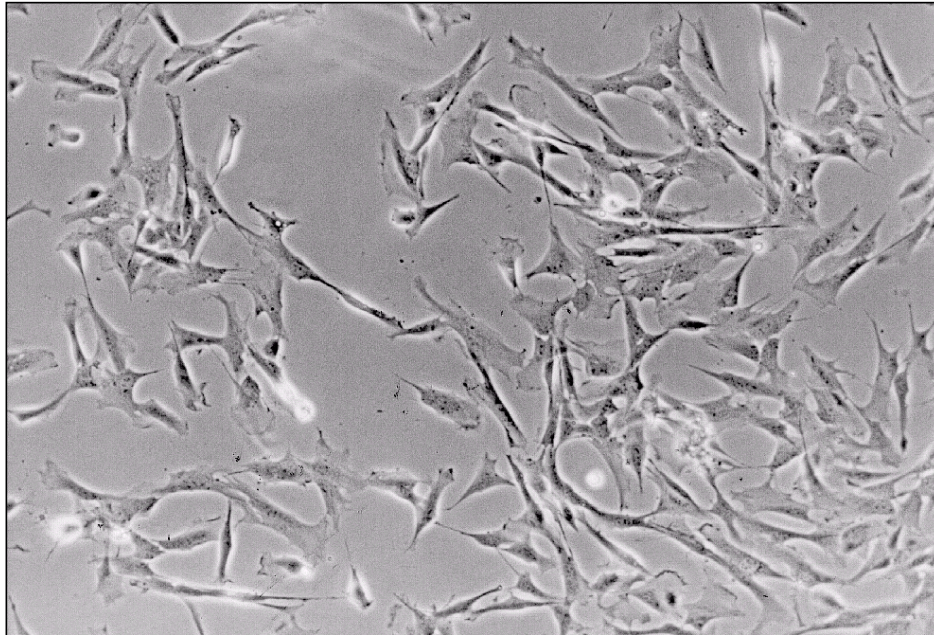
Après une semaine, les cellules commencent à proliférer et sortent de l'explant.



LES DIFFERENTES ETAPES DE LA VIE DE LA CELLULE

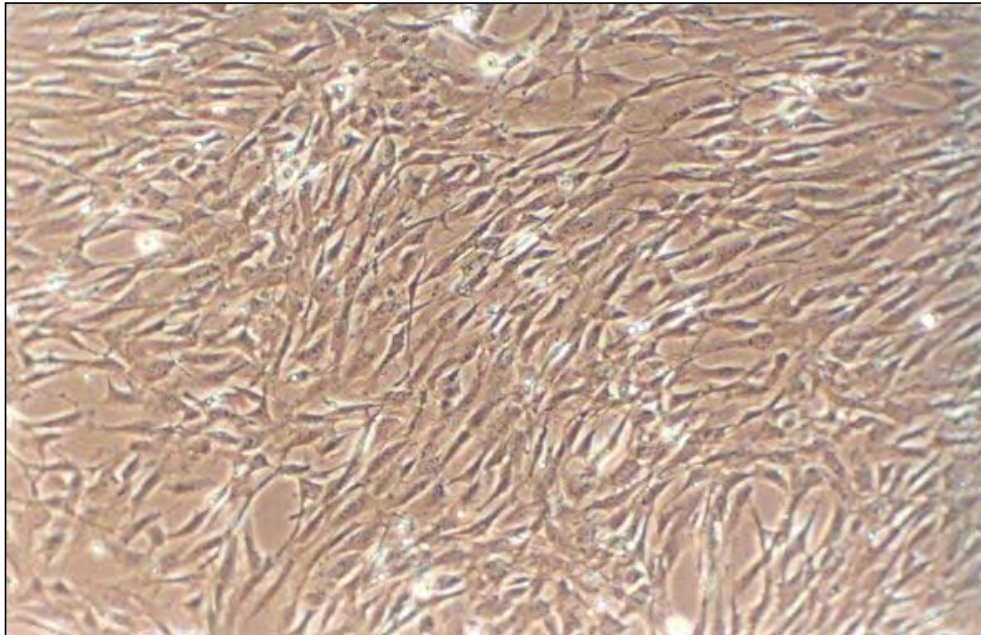
- **prolifération**
- **confluence**
- **différenciation**

LA PROLIFERATION



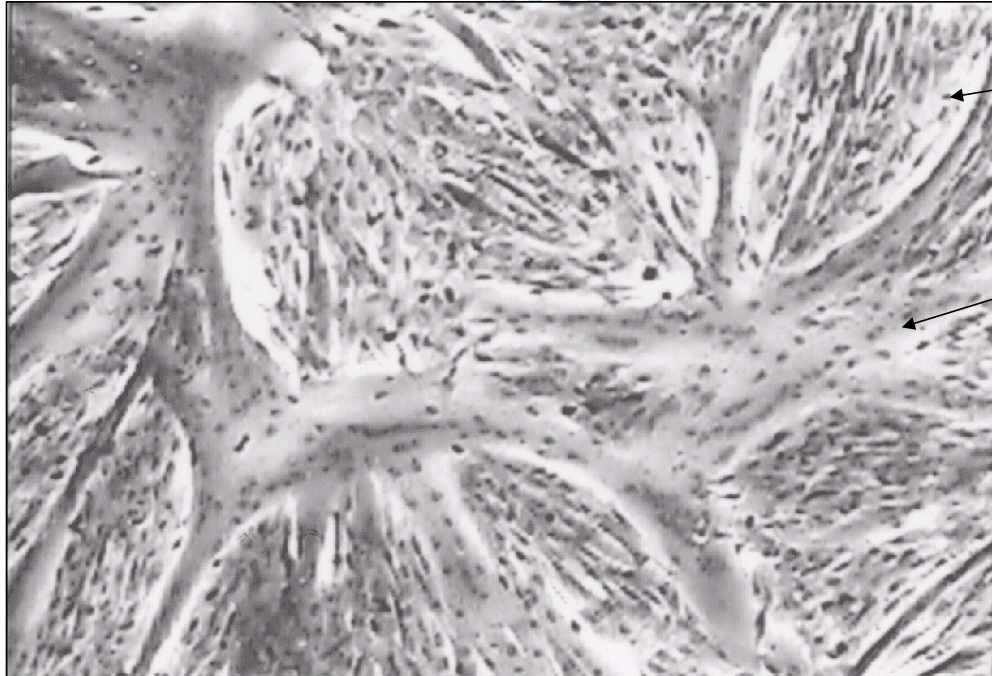
C'est la phase de multiplication des cellules.

LA CONFLUENCE



C 'est la phase où les cellules sont au contact les unes des autres.

LA DIFFERENCIATION



noyau

Myotide
(précurseur
de cellule
musculaire)

C 'est la phase où les cellules ont fusionné et sont en train d'acquérir les caractéristiques des fibres musculaires.

Culture primaire de myoblastes

Prolifération

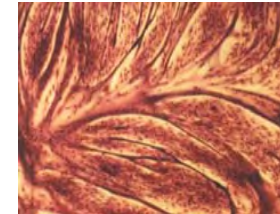
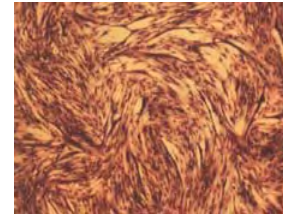
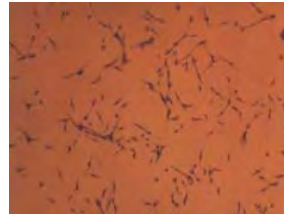
Différenciation

J3

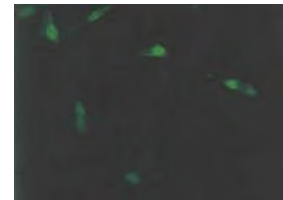
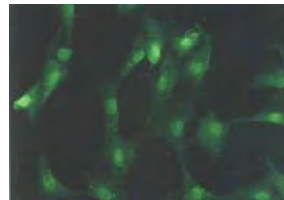
J6

J12

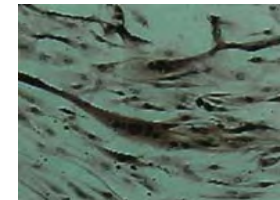
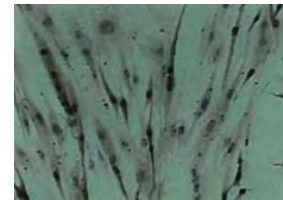
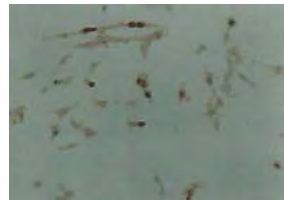
Giemsa



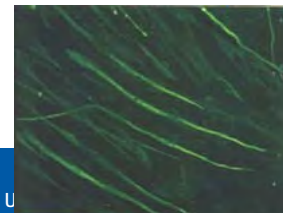
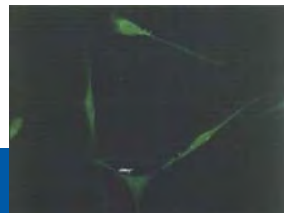
MyoD
et Myf5



Myogénine



Desmine



Myoblastes foetaux de bovins culards et non culards en culture primaire

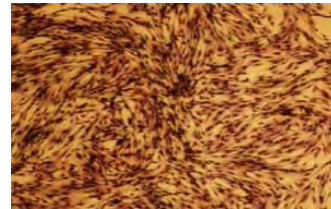
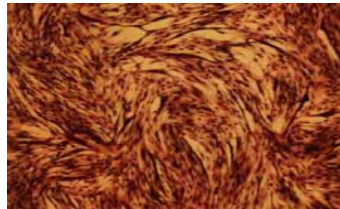
Non culard

Culard

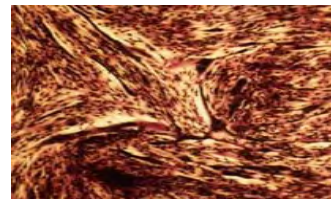
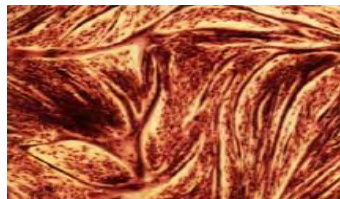
J2



J6



J8



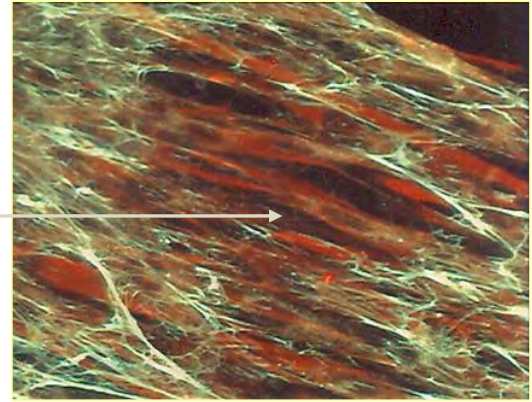
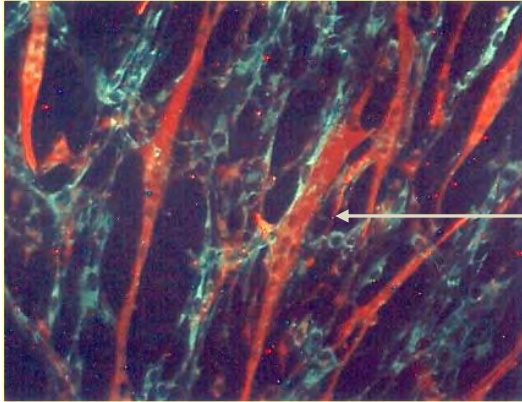
Prolifération cellulaire supérieure

Retard de fusion et de différenciation

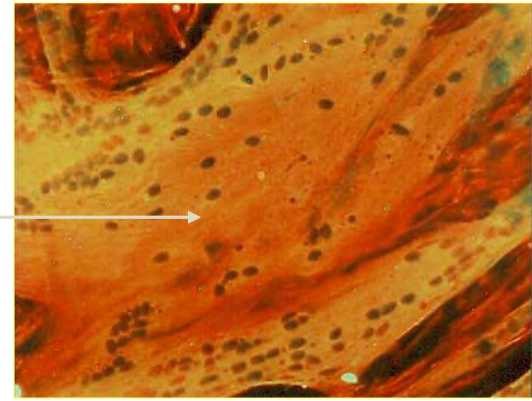
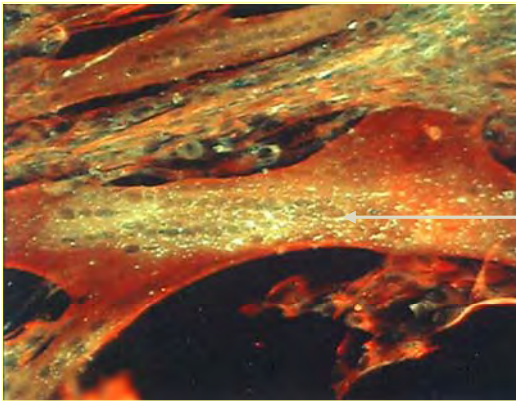
CULTURE DE CELLULES MUSCULAIRES



myotubes



fibres musculaires

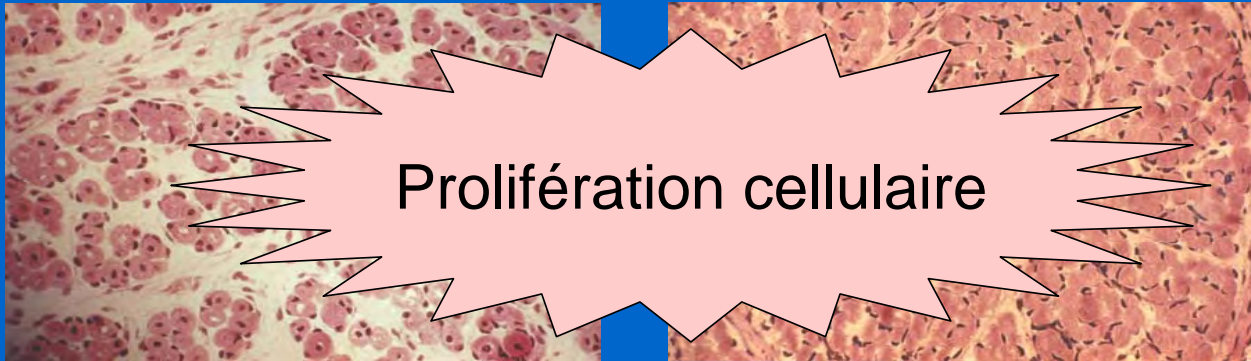


Source : B Picard, I Cassar-Malek

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

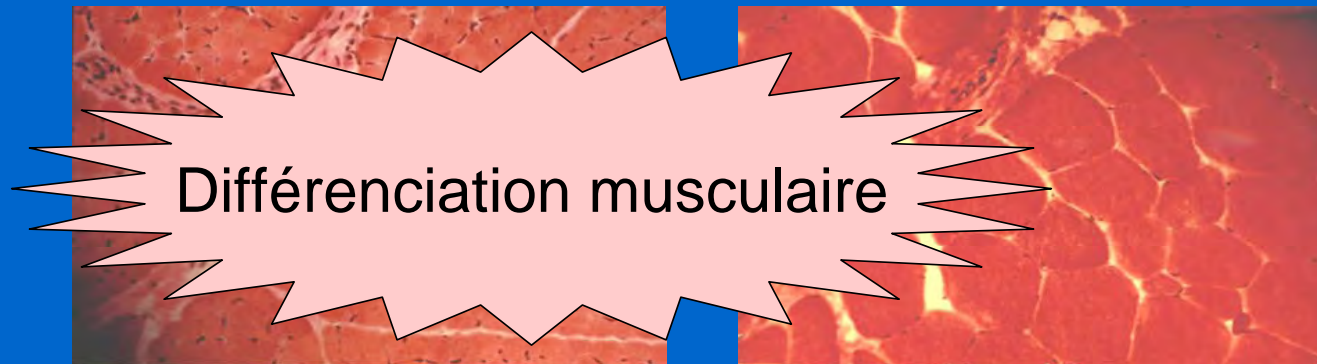


On se rapproche de ce qui se passe *in vivo* mais
... on n'y est pas encore !



Premier tiers de vie foetale

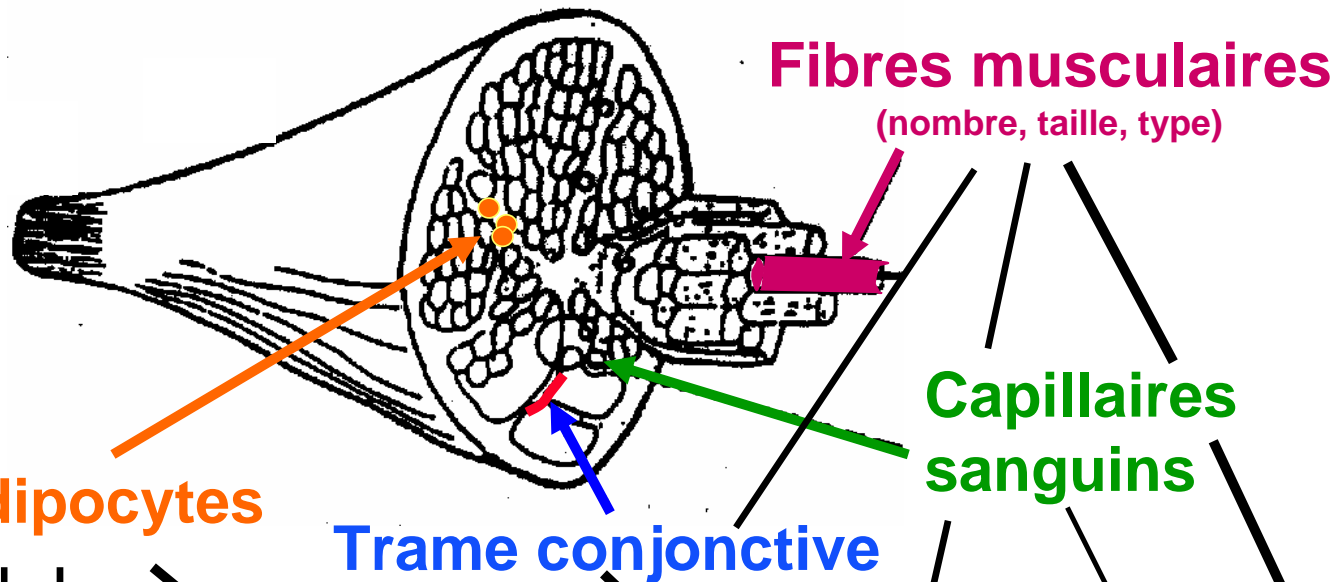
Second tiers



Troisième tiers

Adulte

Mais des cellules de fibres musculaires,
ce n'est pas du muscle !



Adipocytes

Trame conjonctive

Fibres musculaires
(nombre, taille, type)

Capillaires sanguins

JUTOSITE

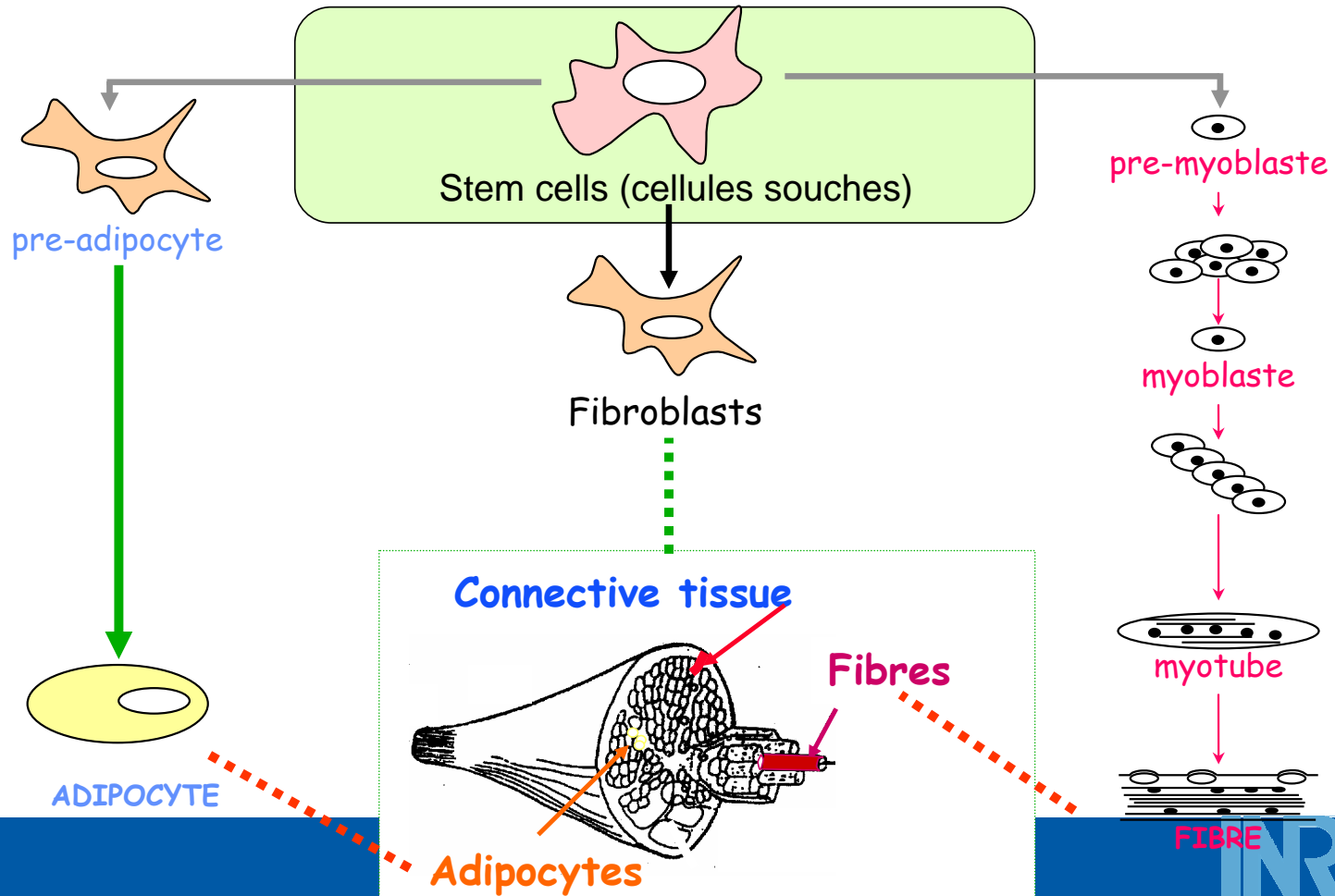
COULEUR

Qualités nutritionnelles

FLAVEUR

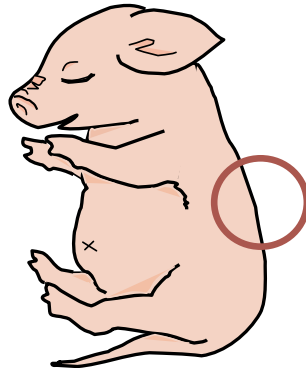
TENDRETE

Différentes populations cellulaires sont nécessaires pour faire du muscle

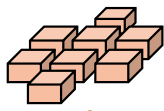


Isolation and cloning of porcine preadipocytes.

Crossbred fetuses
85 days gestation



Dissection of dorsal
subcutaneous tissue



mince

0.1% collagenase digestion: 37°C, 30 min

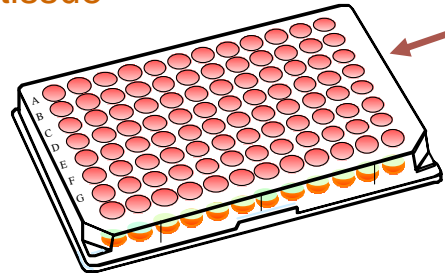
Filtration through a
stainless steel mesh (75µm)

Centrifuge: 1,100 rpm, 7 min

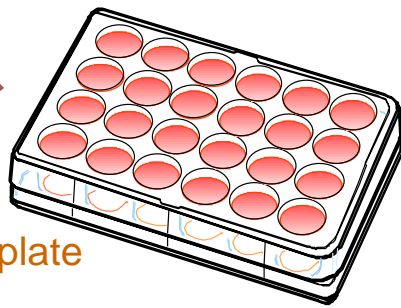
Pellet fraction



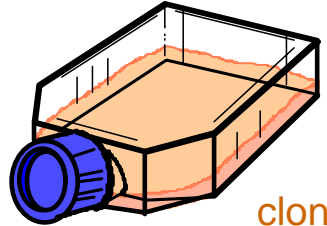
2~4 weeks



Cloning by
limited dilution
(1 cell/well)
96-well plate



24-well plate



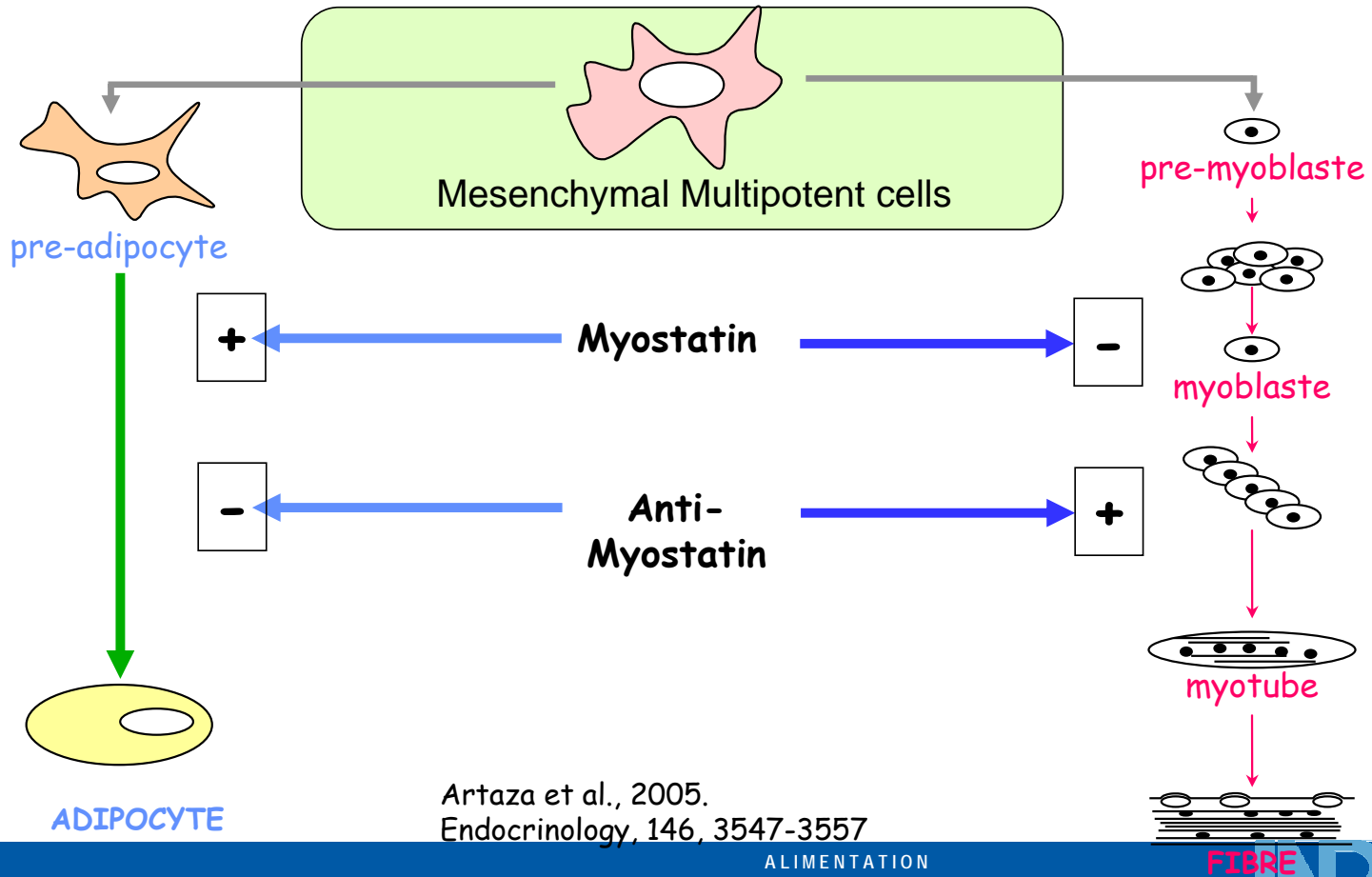
clones

Source : Ikuyo Nakajima, Japon

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT



Hormones et facteurs de croissance contrôlent la prolifération de ces différentes cellules



Artaza et al., 2005.
Endocrinology, 146, 3547-3557



Comment aborder ce sujet ?

1. Les enjeux et pourquoi cette question ?
2. L'état de l'art
3. Les verrous techniques qui restent à lever
4. Les questions économiques, environnementales et sociales
5. Conclusion



Les questions à résoudre sur lesquelles travaillent les chercheurs

- Choisir les bonnes cellules de départ
- Bien définir les conditions de culture et co-culture de ces différentes populations cellulaires
- Bien définir la matrice sur laquelle les cellules vont croître
- Bien définir la composition du milieu de cultures (nutriments, hormones, etc)



Les questions techniques qui sont aussi à résoudre

- Passer de cultures plates au fond d'une boîte à du muscle en trois dimensions
- Reproduire l'influx nerveux
- Reproduire la tension du muscle (fixation sur les os, contraction, relaxation)
- Reproduire la finesse de l'irrigation sanguine (réseaux de capillaire, débit, etc)

La vascularisation : un défi majeur

Engineering vascularized skeletal muscle tissue

Shulamit Levenberg^{1,2}, Jeroen Rouwkema³, Mara Macdonald², Evan S Garfein⁴, Daniel S Kohane⁵, Diane C Darland⁶, Robert Marini⁷, Clemens A van Blitterswijk³, Richard C Mulligan⁸, Patricia A D'Amore⁶ & Robert Langer²

**nature
biotechnology**


NATURE BIOTECHNOLOGY VOLUME 23 NUMBER 7 JULY 2005

...the main problems for engineering more complex tissues are angiogenesis ... and developing three-dimensional matrices on which to grow the new tissue...

Growing blood vessels ... must be exposed to compression, shear stresses and a pulsated flow of the culture medium to acquire their mechanical properties

At the moment, *in vivo* approaches to regenerating tissue in a patient seem far more promising than the *ex vivo* construction of organs

Moreno-Borchart A. , Building organs piece by piece. EMBO reports 2004, 9, 1025-1028

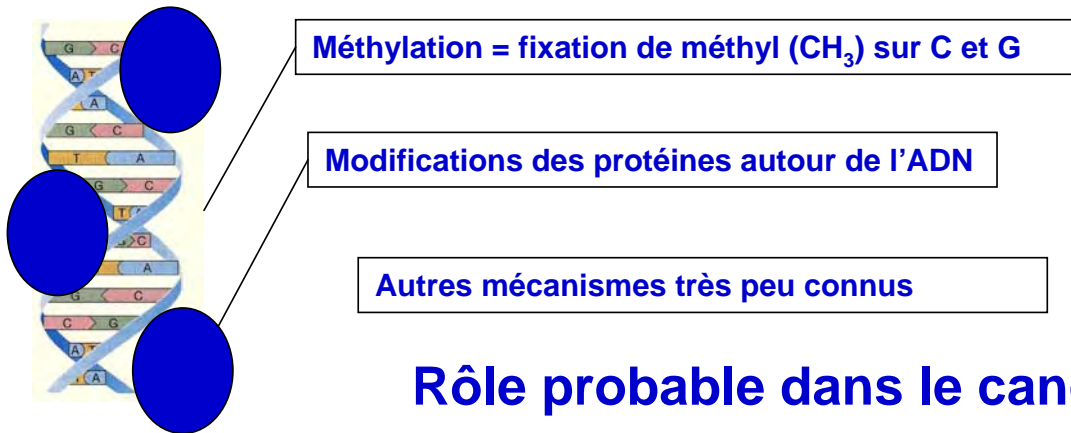


Les questions à résoudre pour une production de muscle à grande échelle

- Produire des cellules souches en grande quantité
- Produire des hormones, des nutriments (acides aminés, glucose, acide gras, etc) et des antibiotiques en grande quantité
- Avoir des incubateurs géants
- Tension, influx nerveux, débit sanguin, etc
- Augmenter les rendements

Le principe de précaution

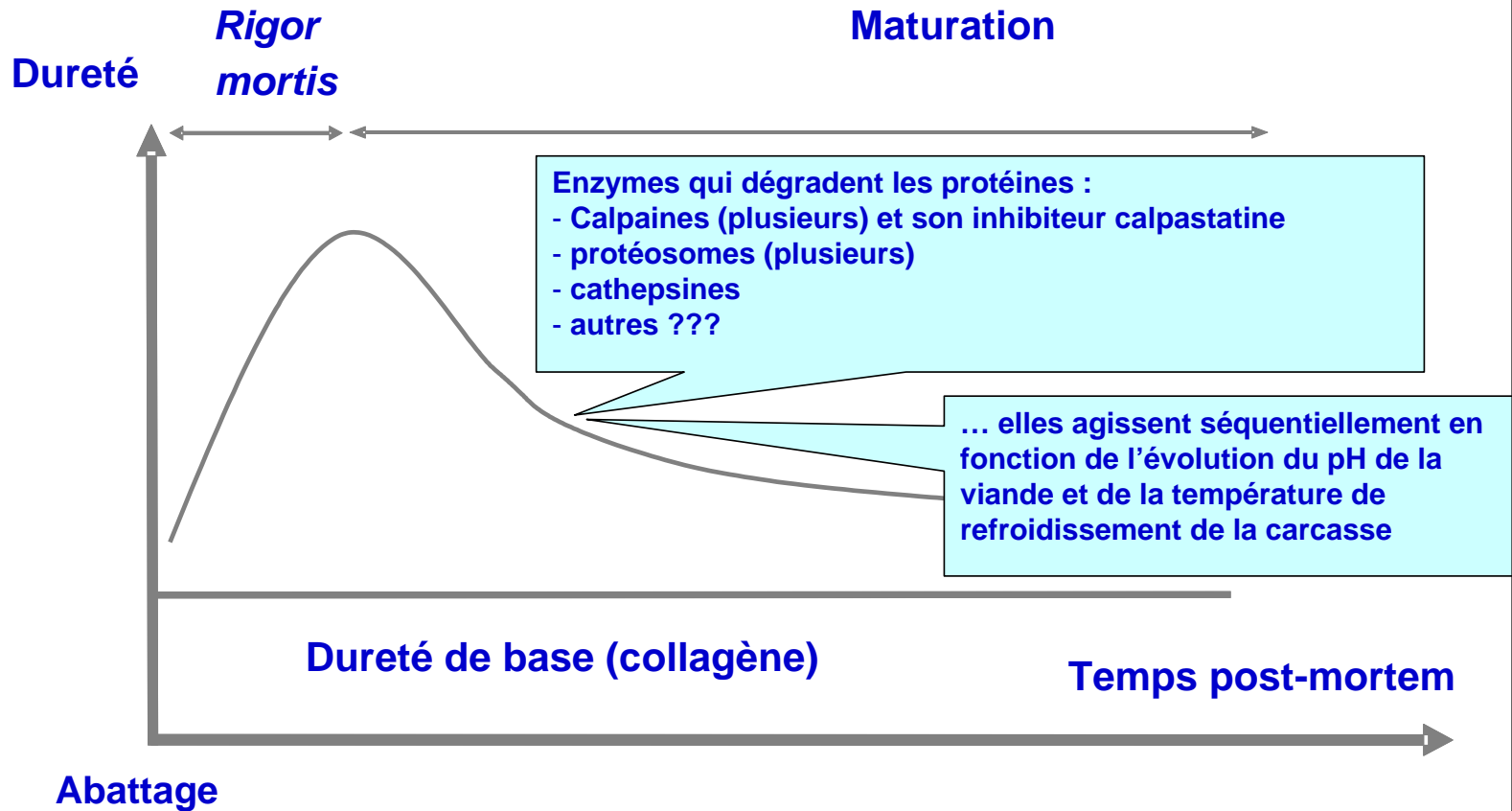
L'organisation des gènes peut changer en réponse à des modifications de l'environnement = modifications épigénétiques
Sans mutations génétiques



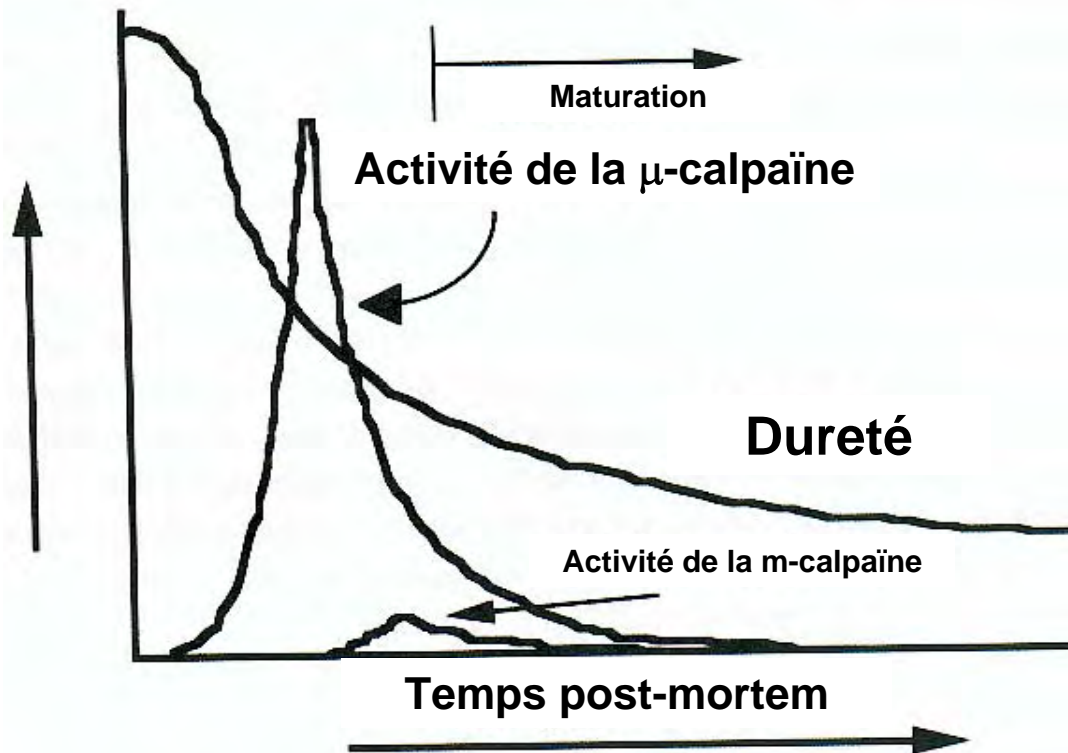
Rôle probable dans le cancer

Est-ce que les conditions de culture du muscle induisent des modifications épigénétiques ? Si oui, lesquelles ? Et avec quelles conséquences sur le muscle ? Pour celui qui mange le muscle ?

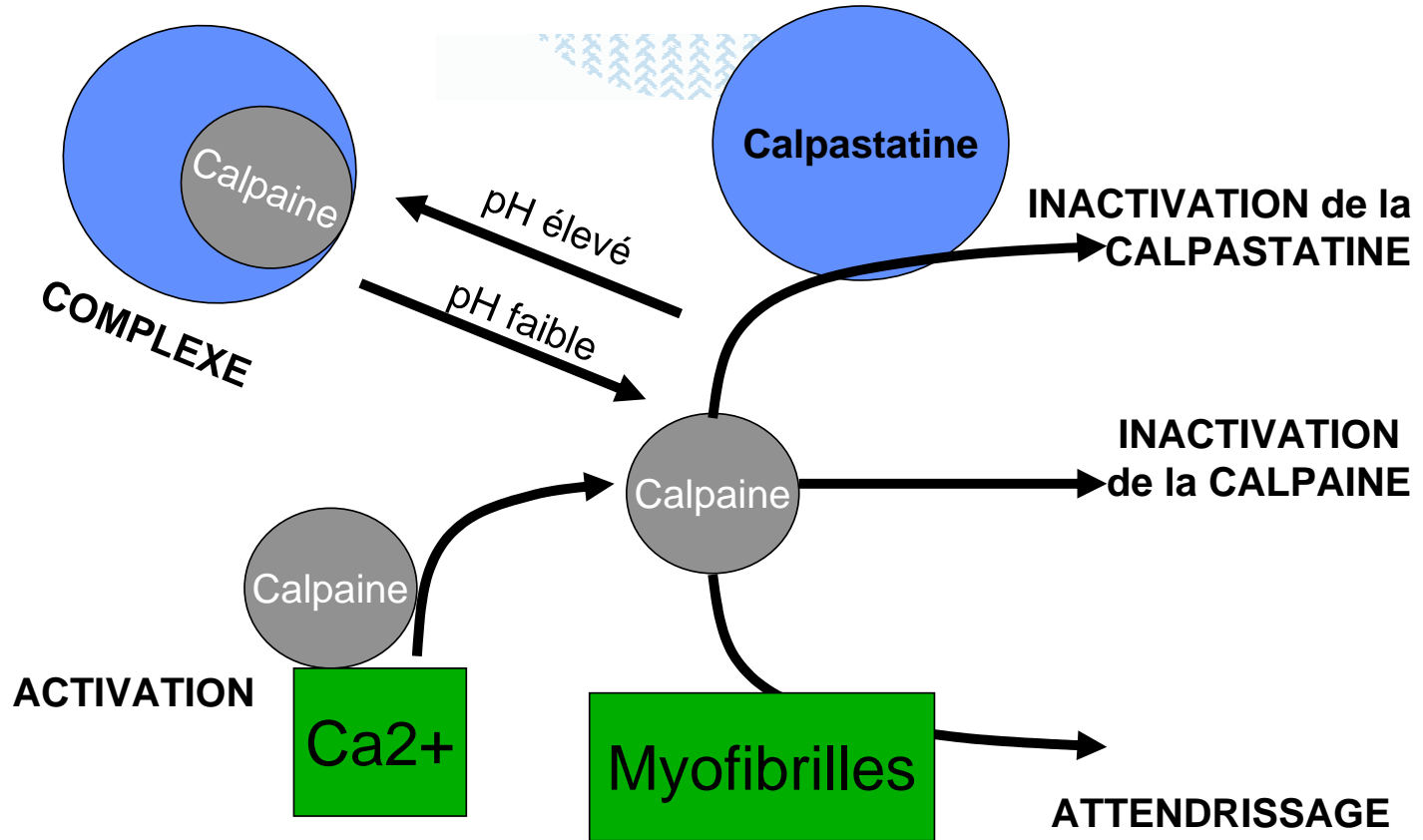
Mais produire du muscle, ... ce n'est pas produire de la viande



Reproduire la biochimie de la maturation de la viande n'est pas aisé

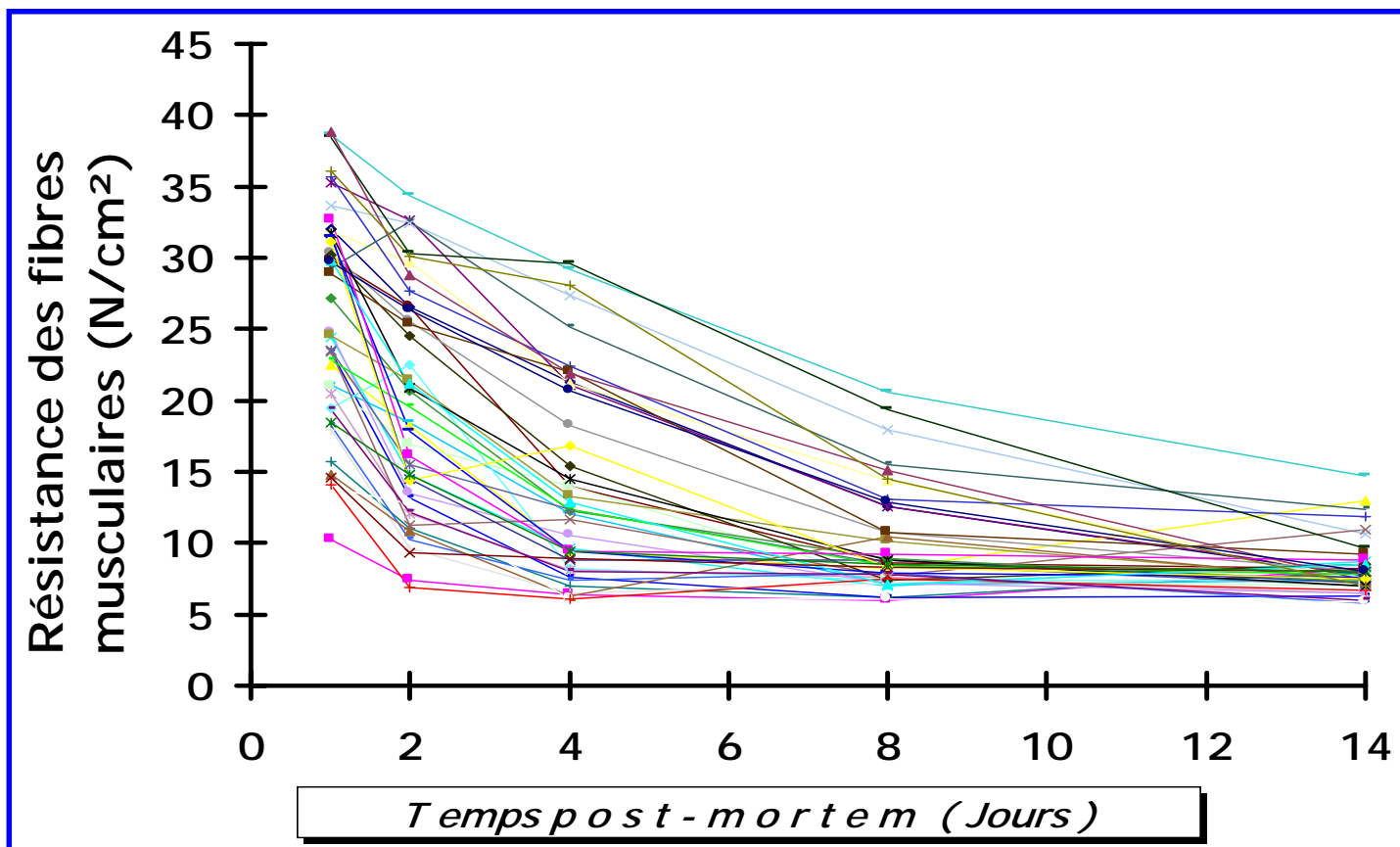


Modélisation de l'activité des calpaïnes



Et les autres enzymes ?

Il existe aussi un très grande variabilité naturelle de ce phénomène



Source : J Lepetit

ALIMENTATION
AGRICULTURE
ENVIRONNEMENT

INRA

La viande = un aliment varié et aux nombreuses propriétés nutritionnelles

- Comment maîtriser la composition en acides aminés de la viande (bien équilibrée naturellement *in vivo*) ?
- Comment maîtriser la composition en acides gras de la viande (c'est déjà difficile par l'alimentation des bovins) ?
- Comment maîtriser la teneur en fer assimilable ?



Comment aborder ce sujet ?

1. Les enjeux et pourquoi cette question ?
2. L'état de l'art
3. Les verrous techniques qui restent à lever
4. Les questions économiques, environnementales et sociales
5. Conclusion

The In Vitro Meat Consortium

Preliminary Economics Study - March 2008

- Protein : 185 Euro / tonne of media
- Glucose : 3 Euro / tonne of media
- Vitamins and minerals : 22 Euro / tonne of media
- Serum : 147 Euro / tonne of media
- It has been assumed that about 193 kg of in vitro meat can be made per tonne of media.
- It will be possible to produce in vitro meat in large quantities for less than Euro 3300 - 3500 / tonne.
- This compares with the production of chicken meat at about Euro 1800 / tonne

The In Vitro Meat Consortium
Preliminary Economics Study
Project 29071

D'autres coûts non calculés

- Construction des laboratoires de production
- Production à grande échelle d'intrants (hormones, etc)
- Coûts énergétiques associés
- Coûts environnementaux associés (gaz à effet de serre)
- Coût du travail (chercheurs, ingénieurs, techniciens de laboratoire, etc)

Quelques considérations de consommateurs

- Le consommateur mange aussi pour se faire plaisir. Comment reproduire le goût de la viande (arôme dans la fraction lipidique) ?
- Le consommateur refuse le « bœuf aux hormones » mais mangerait de la viande in vitro ... produite avec des hormones !
- Le consommateur refuse les OGM mais ... prendrait le risque de modifications épigénétiques non maîtrisées !
- Etc



La qualité de la viande est différente entre races : Une bonne race viande, c'est comme un bon vin !



Le bœuf Race à Viande, un bon morceau d'environnement.



**Les races à viande
préservent nos prairies,
si nécessaires à notre environnement.**

Le saviez-vous ?



CONCLUSIONS

- La culture de cellule musculaire est une avancée scientifique indéniable ...
- ... et utile surtout comme cellule modèle dans le domaine biomédical et ...
- ...pour la réparation de blessure chez l'homme, la reconstruction du sphincter etc
- Mais cela reste complètement utopique du point de vue scientifique, social, environnemental et économique de produire de la viande *in vitro*