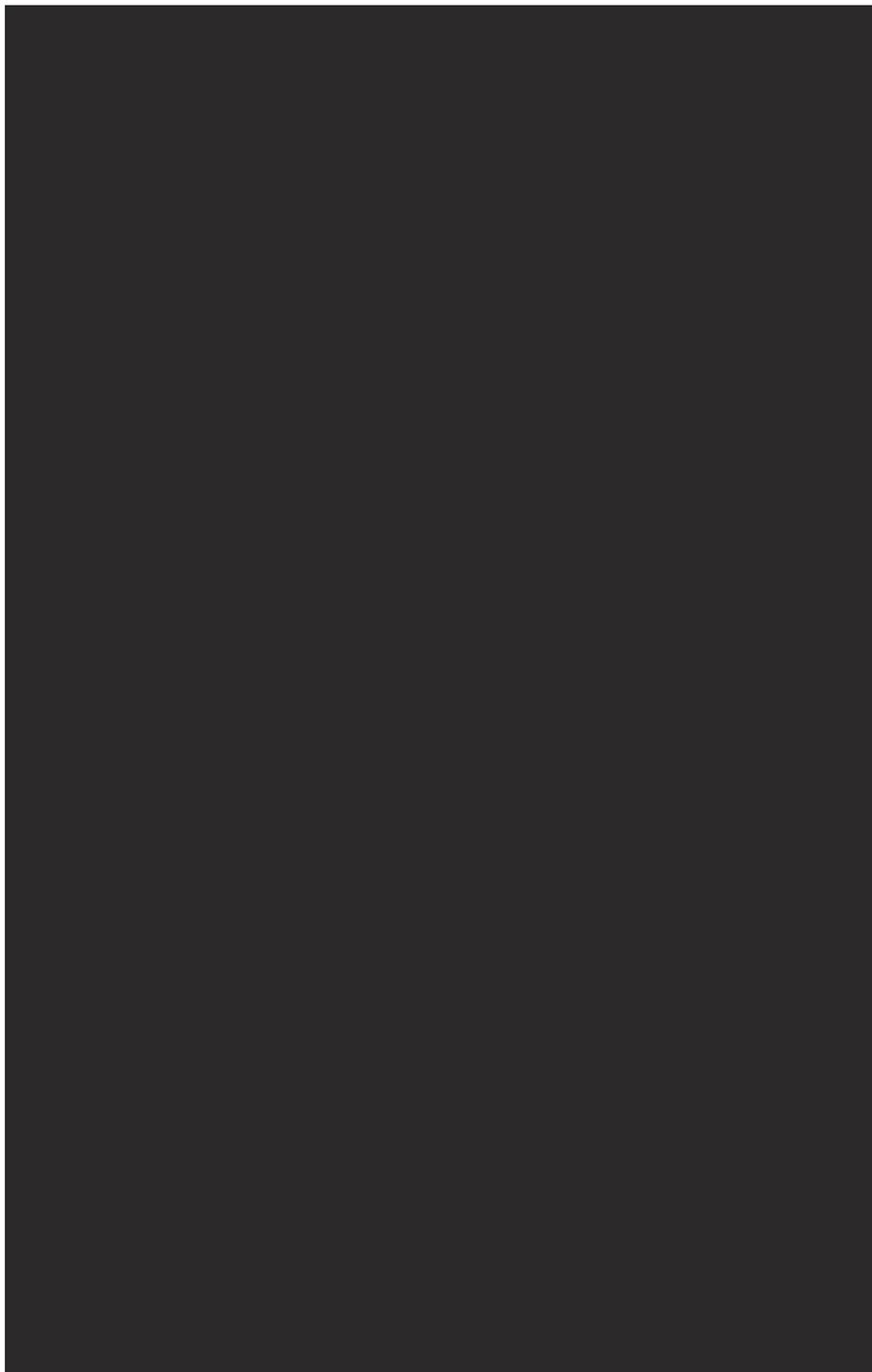


**Introduction aux VI principes
fondamentaux de Physique
Quantique –**

**Introduction aux VI principes
fondamentaux de Physique
Quantique —**



Avant - propos

Preface

En apparence l'essentiel des phénomènes physiques dont nous avons une expérience directe dans la vie de tous les jours obéissent à des lois qui ont été formulées il y a plus de trois siècles par Galileo Galilée et Isaac Newton (entre autres...) pour la mécanique et au XIXème siècle par Michael Faraday et James Clerck Maxwell pour l'électromagnétisme. Toute personne relativement familière avec ces lois voit son intuition confortée par des expériences quotidiennes, que ce soit en conduisant sa voiture ou en observant la chute des pommes. Une des étapes les plus sensationnelles de l'histoire de la science fut la découverte au début du XXème siècle qu'à l'échelle microscopique. La matière s'y comporte d'une manière profondément différente de ce que l'on pou-

vait prévoir à l'aide de la physique classique. Les physiciens ont été forcés d'admettre qu'il n'était pas possible de décrire ce qui se passe à l'échelle atomique en des termes intelligibles pour nous. En revanche ils ont pu construire des modèles mathématiques (mécanique quantique, théorie quantique des champs) permettant des prédictions d'une précision stupéfiante, mais malheureusement incapables de donner une image de ce qui se passe, propre à satisfaire notre intuition. Ce choc dans le monde de la physique a suscité de nombreux débats : si certains physiciens (autour de Niels Bohr) ont prôné une attitude pragmatique, à savoir que puisque le modèle mathématique donne des réponses absolument conformes à l'expérience il n'y a pas lieu de chercher plus loin, d'autres scientifiques en revanche (autour d'Albert Einstein) ont objecté qu'un certain nombre de principes qui sont postulés dans la mécanique quantique, relativement durs à avaler (comme la probabilité de présence ou la réduction du paquet d'onde), ne sont que des concepts provisoires, en attendant l'élaboration d'un modèle satisfaisant d'avantage notre besoin de

comprendre. Ajoutons que la physique quantique n'est pas uniquement la physique du « très petit » et qu'aucun phénomène n'échappe en principe à ses lois, hormis la description de situations extrêmes comme dans les trous noirs ou à l'échelle de Planck (10^{-33} cm) qui nécessiterait l'utilisation d'une théorie unifiant la mécanique quantique et la théorie de la relativité générale, mais cette théorie n'existe pas encore.

Chapitre I

Principe de la Dualité Onde – Corpuscule



Principe de la Dualité Onde – Corpuscule

Tout objet quantique est à la fois un corpuscule, comme une balle de tennis, et une sorte d'onde, comme une vague dans la mer. Un peu comme une balle de tennis qui serait à plusieurs endroits à la fois. Mais quand on mesure où il est, l'objet quantique se réduit soudainement en un point. Ainsi les électrons, les atomes, les molécules ou même les photons – les grains de lumière – sont tout à la fois de petits corps et des ondes ! C'est la propriété de base du monde quantique.

Des électrons pour voir la matière

Pour dépasser les limites des microscopes optiques, les physiciens utilisent la quantique. Puisque les électrons sont des ondes comme la lumière, pourquoi ne pas les utiliser pour éclairer des objets ? C'est le principe du microscope électronique, qui permet d'incroyables grossissements.

Ce microscope est un des plus populaires chez les physiciens pour voir atomes et molécules ou chez les biologistes pour voir microbes et virus.

La quantique dans les écrans CCD

Nos appareils photo numériques sont équipés de détecteurs CCD dont le fonctionnement repose sur la quantique. La lumière est composée de photons à la fois ondes et corpuscules. Quand la lumière arrive sur le détecteur CCD, chacun des photons arrache un électron si son énergie est suffisante. Les électrons ainsi arrachés sont ensuite détectés et convertis en une image digitale. Cette technologie a permis de concevoir des caméras ultra-sensibles.

*Une balle de
ping - pong quantique
serait à la fois elle
même et une onde.
De telle manière qu'elle
réagirait face à la raquette
comme un corps, et comme un
vague en même temps.*



the fact that the *Journal of Applied Behavior Analysis* is the most widely read journal in the field of behavior analysis.

It is my hope that this special issue will provide a useful resource for researchers and practitioners alike.

Thank you to the reviewers for their helpful comments and to the staff of the journal for their assistance in preparing this special issue.

Correspondence should be addressed to Dr. Robert M. Gresham, University of Kansas, 1400 Jayhawk Drive, Lawrence, KS 66044. E-mail: rgresham@ku.edu

Received 10/15/03; accepted 11/15/03; published online 1/15/04.

© 2004 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All rights reserved. This article may be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>).

DOI: 10.1080/00036810490886111

ISSN: 0003-681X

Journal of Applied Behavior Analysis, 2004, Vol. 31, No. 1, 100–101

© 2004 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All rights reserved. This article may be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>).

DOI: 10.1080/00036810490886111

ISSN: 0003-681X

Journal of Applied Behavior Analysis, 2004, Vol. 31, No. 1, 100–101

© 2004 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All rights reserved. This article may be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>).

DOI: 10.1080/00036810490886111

ISSN: 0003-681X

Journal of Applied Behavior Analysis, 2004, Vol. 31, No. 1, 100–101

© 2004 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All rights reserved. This article may be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>).

DOI: 10.1080/00036810490886111

ISSN: 0003-681X

Journal of Applied Behavior Analysis, 2004, Vol. 31, No. 1, 100–101

© 2004 by Lawrence Erlbaum Associates, Inc. All rights reserved. This article may be distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>).

DOI: 10.1080/00036810490886111

ISSN: 0003-681X

Journal of Applied Behavior Analysis, 2004, Vol. 31, No. 1, 100–101

Chapitre 2

Principe de la Quantification

Principe de la Quantification

Dans le monde quantique, les particules n'ont droit qu'à certaines énergies. Un peu comme une voiture qui ne pourrait rouler qu'à certaines vitesses et passerait brusquement de 50 à 70 km/h quand elle accélère ! Pourquoi ? Parce que les particules sont des ondes et n'ont pas n'importe quelle forme : à chaque forme son énergie, c'est la quantification. Ces paliers d'énergie permettent de comprendre la structure des atomes et de créer de nouveaux outils technologiques.

Les pierres précieuses quantiques

La quantification des énergies se retrouve dans notre quotidien, par exemple dans la couleur des pierres précieuses. Ainsi, le rubis est rouge car il contient quelques atomes de chrome dont les paliers d'énergie sont séparés de telle sorte que le rubis renvoie à notre œil une lumière rouge. La manipulation astucieuse de ces paliers d'énergie par les physiciens a permis d'inventer les lasers ou les LED.



A droite, la pente représente la physique fondamentale, dans lequel un dégradé du rouge au bleu de manière continu est possible.

Boites à électrons

Dans les laboratoires, de nouveaux appareils au sein de salles ultra-propres permettent aux physiciens de graver des motifs au dix-milliardième de mètre près ! Ils fabriquent par exemple des nano-boites de quelques atomes de côté pour y emprisonner des électrons. Les physiciens utilisent ces boites pour étudier la matière à l'échelle du nanomètre et contrôler sa couleur, ses propriétés électriques ou magnétiques.

A gauche, l'escalier représente la physique quantique, dans lequel l'évolution se fait par bond, où seuls certaines couleurs sont permises.

Chapitre 3

le Principe d'Incertitude

Principe d'incertitude

En physique quantique, certaines propriétés ne peuvent pas être mesurées simultanément avec une très grande précision. Par exemple, il est impossible de mesurer précisément à la fois la position et la vitesse d'un objet quantique, il faut choisir. Ce principe mathématique n'empêche pas pour autant la physique quantique d'être très précise, il faut juste bien choisir ce que l'on cherche à mesurer.

Un principe utile

Le principe d'incertitude pourrait sembler limitant mais il permet pourtant aux physiciens de mieux comprendre certaines propriétés de la matière. Par exemple, grâce à ce principe, la matière ne peut plus être parfaitement immobile. Même à la température du zéro absolu où tout devrait se figer, les atomes continuent de vibrer un peu. Une conséquence étonnante pour un gaz particulier, l'hélium : quand il est refroidit, il devient liquide, mais jamais solide, même au zéro absolu. Le principe d'incertitude permet aussi d'expliquer pourquoi les électrons dans les atomes sont obligés d'occuper un certain espace et ne peuvent pas s'écraser dans un tout petit volume. Sinon, on saurait où ils sont et ils auraient alors de trop grandes vitesses. Dit autrement, les atomes existent grâce à ce principe d'incertitude !

*La première photos nous
permet de connaître la position
de l'aiguille du métronome, mais
rend impossible de connaître
la vitesse de balancement.
A l'inverse la seconde photo
communique une vitesse, mais
rend impossible de connaître
une position.*





Chapitre 4

Principe de la Mesure

Dans cette boîte hermétique à la lumière figure une ampoule. Lorsque la boîte est fermée, l'ampoule est allumée.

Lorsque l'on ouvre la porte pour s'en rendre compte, l'ampoule s'éteint. L'observation a donc un impact sur le comportement de l'ampoule.

Principe de la Mesure

En physique classique, il est possible de mesurer un objet sans qu'il en soit affecté. Ce n'est pas le cas en physique quantique où la mesure change la nature même de l'objet mesuré ! Par exemple, un électron se comporte comme une onde de matière et occupe plusieurs positions à la fois. Mais lorsqu'on tente de mesurer où il se trouve, l'électron-onde se réduit alors soudainement en un point précis. Autre exemple : un objet quantique peut être superposé dans deux états à la fois, mais quand on le mesure, il choisit au hasard un de ces deux états.

Comprendre la mesure

Récemment, les chercheurs ont été capables de mieux comprendre ce qui se passe pendant la mesure qui fait cette réduction soudaine. Pour cela, ils ont mesuré avec de la lumière un atome dans deux états à la fois. Ils ont découvert que l'atome choisit un des deux états dès qu'on injecte beaucoup de lumière. Mais surtout, cela n'a pas lieu instantanément, et le temps que met l'atome à choisir un des états dépend de la quantité de lumière. C'est donc la taille de l'outil de mesure ou la quantité de lumière utilisée qui fait que l'objet quantique se réduit plus ou moins vite en un seul état. Plus l'outil de mesure est gros, plus l'objet quantique se réduit vite.





Chapitre 5

Principe de la Non - Localité

Principe de la Non - Localité

Tout objet quantique est à la fois un corpuscule et une onde. Parfois, on est capable de « mélanger » deux de ces objets, par exemple deux grains de lumière. On dit qu'ils sont intriqués. On peut alors les séparer autant qu'on veut, ils restent comme attachées à distance, les propriétés de chacun dépendant de celles de l'autre. Si un expérimentateur mesure alors un de ces objets, l'autre en est immédiatement affecté, comme si il y avait une action instantanée à distance. Cela viole la notion de localité : le double-objet est en effet étendu dans l'espace et non plus en un seul endroit, mais réagit pourtant comme un seul objet composite. Une des plus étranges propriétés du monde quantique.

Prenons deux pépins d'une même orange. Disposons les dans deux univers distincts. S'ils étaient des atomes quantiques intriqués, alors en affectant l'un des pépins, l'autre le serait aussi instantanément.



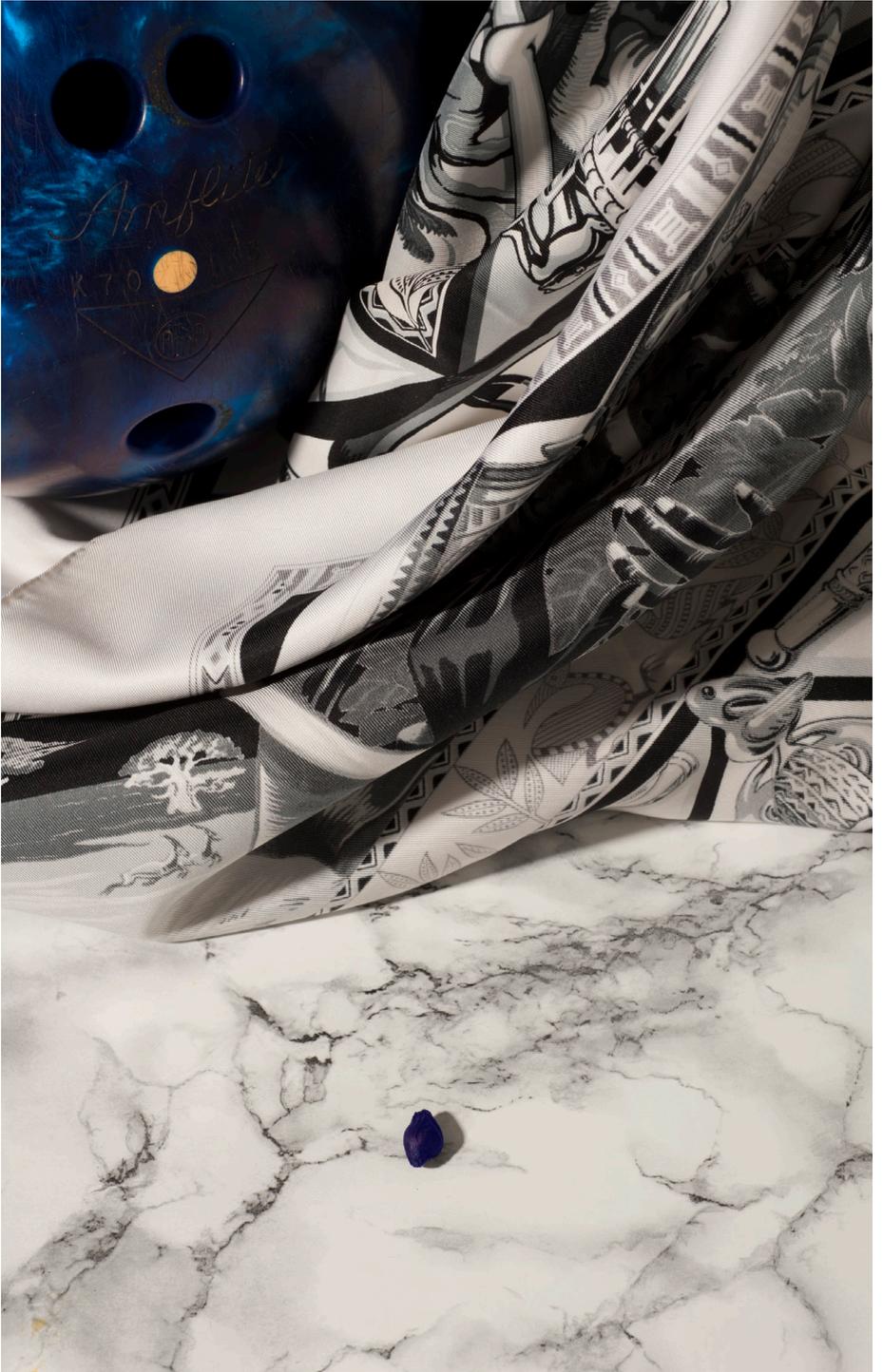
L'intrication au cœur des recherches

L'intrication et la mesure sont au cœur de nombreuses recherches dans les laboratoires. On sait maintenant intriquer et mesurer deux grains de lumière, des photons, jusqu'à 100 km de distance ! L'intrication a ouvert un nouveau domaine de recherche, celui de la théorie quantique de l'information et de la téléportation quantique. Comprendre finement comment intriquer et mesurer deux particules sera aussi un enjeu crucial si on veut un jour construire des ordinateurs quantiques pour remplacer nos ordinateurs actuels.

Des codes secrets parfaits

Dans ce nouveau domaine de la cryptographie quantique, l'intrication a été utilisée pour fabriquer des appareils permettant de créer des messages codés parfaits. Ces appareils utilisent des photons intriqués pour communiquer des messages de part et d'autre d'une fibre optique. L'information est codée à travers les propriétés de ces photons. Si un espion essayait d'intercepter le message codé, cela modifierait irrémédiablement les photons et les utilisateurs le verraient aussitôt. Ces procédés sont par exemple utilisés dans le domaine des transactions bancaires.





Chapitre 6

Principe de la Superposition d'état

Principe de la Superposition d'Etat

Un objet quantique ne peut exister que dans certains états précis à certaines énergies. Par contre, il est parfois capable de se superposer dans deux de ces états à la fois ! Par exemple dans certaines molécules ou certains aimants peuvent être dans deux configurations simultanément. On dit alors qu'il y a superposition d'états.

Jusqu'à quelle taille ?

Des chercheurs sont arrivés récemment à créer une superposition d'état pour une sorte de petite balançoire métallique. Visible à l'œil nu, ce petit bout de métal a été refroidi et mis dans une boîte noire et vide. Les chercheurs ont alors pu observer qu'à très basse température, le métal parvenait à la fois à vibrer et ne pas vibrer. Comme si une balançoire pouvait à la fois être immobile et en mouvement ! C'est le plus gros objet quantique qu'on ait vu à ce jour se superposer dans deux états.

Ordinateurs du futur

Dans les ordinateurs actuels, les composants électroniques permettent de mener des calculs sur des 0 et des 1. Les physiciens cherchent à utiliser la superposition d'état pour inventer les ordinateurs du futur. Les calculs se feraient alors sur des nombres quantiques, à la fois 0 et 1. La puissance de tels ordinateurs serait bien plus grande pour certains calculs. Au cœur des recherches actuelles, cette électronique d'un nouveau genre pose encore de nombreux problèmes techniques mais pourrait révolutionner l'informatique dans le futur.

L'expérience du Chat de Schrödinger, imaginée en 1935 pour Erwin Schrödinger représente et met en évidence la complexité de conceptualisation de la physique. Un chat, enfermé dans une boîte opaque, a une chance sur deux de mourir.

La mécanique quantique indique que, tant que l'observation n'est pas faite, le chat est à la fois mort et vivant, et ce jusqu'à ce qu'en ouvrant la boîte l'observation soit faite.



the fact that the *de novo* synthesis of cholesterol is inhibited by the presence of dietary cholesterol. The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is mediated by the regulation of HMG CoA reductase, the rate limiting enzyme in the synthesis of cholesterol. The regulation of HMG CoA reductase is controlled by the presence of dietary cholesterol through the regulation of the activity of the enzyme. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the activity of HMG CoA reductase, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the expression of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the expression of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the activity of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the activity of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the expression of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the expression of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

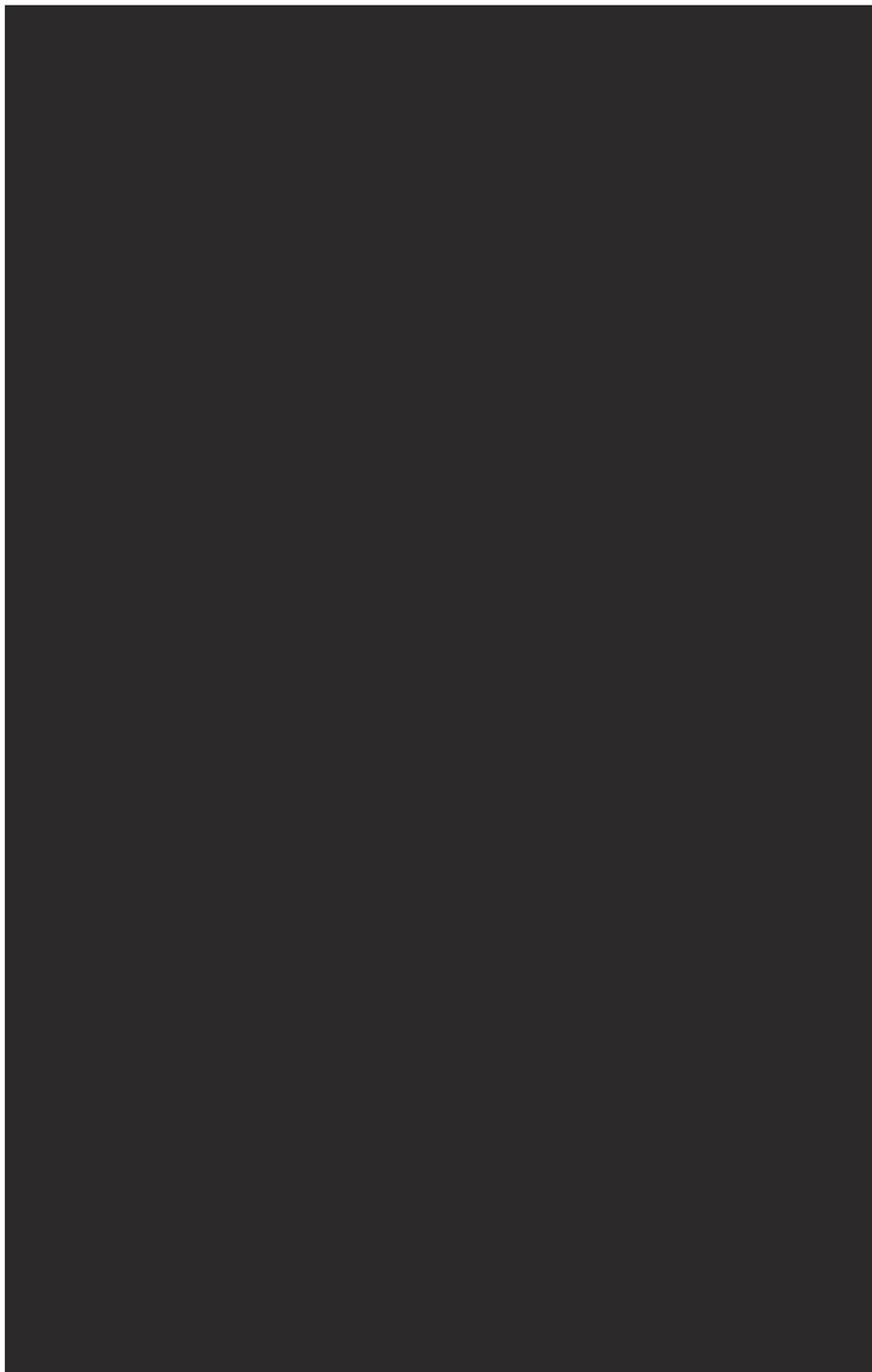
The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the activity of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the activity of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the expression of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the expression of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the activity of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the activity of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the expression of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the expression of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.

The effect of dietary cholesterol on the synthesis of cholesterol is also mediated by the regulation of the activity of the HMG CoA reductase gene. The presence of dietary cholesterol leads to a decrease in the activity of the HMG CoA reductase gene, which in turn leads to a decrease in the synthesis of cholesterol.



june 2013

Antoine Frechin
Emilio Patuzzo

Projet derivé du l'atelier de
François Azambourg
à l'ENSCI

Rendu possible par
Julien Bobroff
Véronique Huyghe

