

modélisation  
et  
complexité

PASSER

*modèle ?*

PASSER

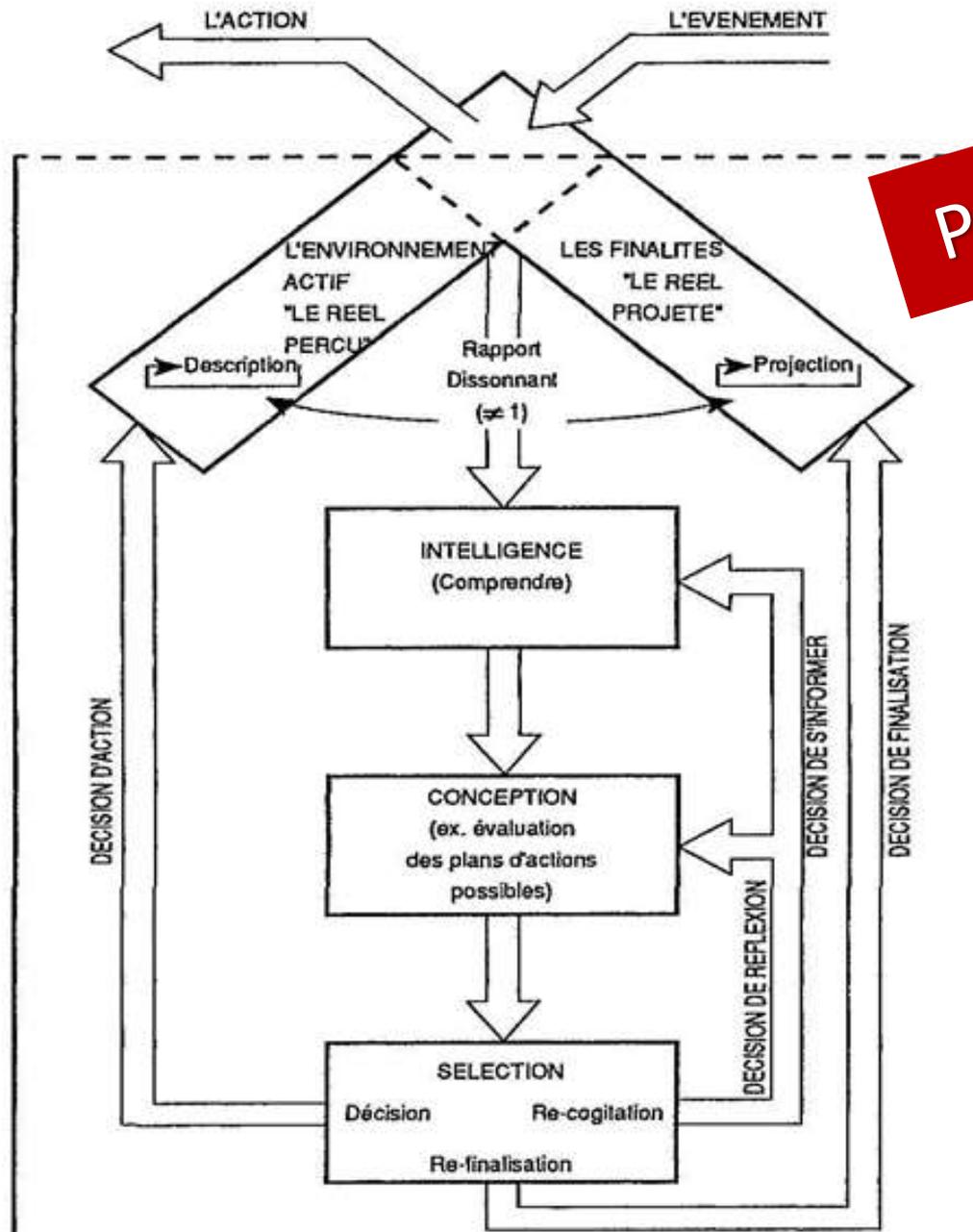
*modèle ?*

PASSER

*modèle ?*

*... qu'est-ce-que c'est ?*  
*... de quoi est-ce fait ?*  
*... qu'est-ce-que ça fait ?*  
*... comment est-ce fait ?*  
*... à quoi cela vous fait-il penser ?*  
*... en avez-vous des exemples ?*  
*... combien ça coûte ?*  
*... qu'est-ce que ça n'est pas ?*  
*... pour qui est-ce fait ?*  
*... par qui est-ce fait ?*  
*... est-ce nécessaire ?*  
*... est-ce légitime ?*  
*... depuis quand, et pour combien de temps ?*  
*... où en trouve-t-on ?*  
*... cela existe-t-il, cela est-il possible ?*  
*...*

**PASSER**



**PASSER**

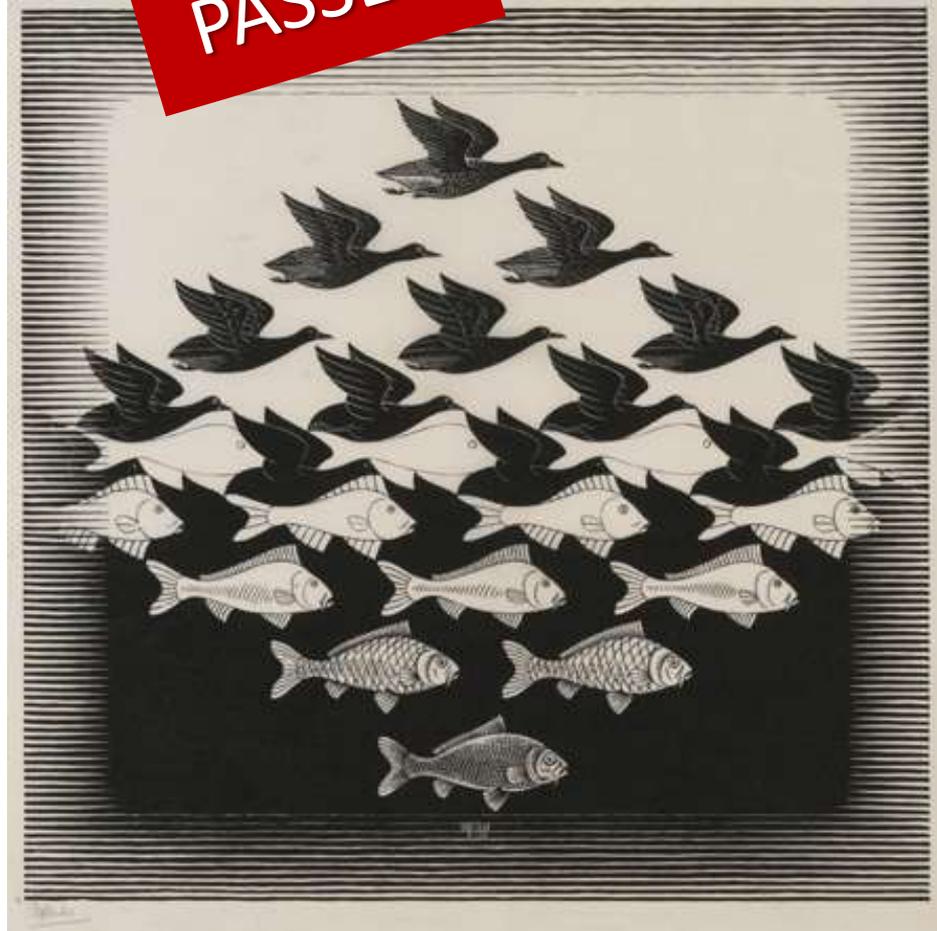
Un modèle pour...

- décrire
- projeter
- finaliser
- comprendre
- concevoir
- organiser
- évaluer
- sélectionner
- ... agir !



Maurits Cornelis Escher (1898-1972) : « Mosaïque II » 1957 (lithographie)

PASSER



Maurits Cornelis Escher (1898-1972) : « Limite circulaire IV – Ciel et enfer » (1960) - « L'air et l'eau » (1938)



PASSER

PASSER



« Le bon sens » - René Magritte (1945-46)



*La clef des songes, René Magritte (1930)*



La clef des songes, René Magritte (1930)

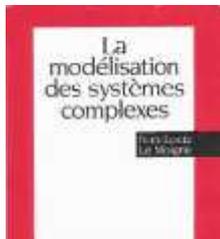
# Séance 2

pdf accessible sur <http://researchers.lille.inria.fr/~jrichard/> → onglet « teaching »

(vous pouvez aussi Googleliser *jean pierre richard inria* )

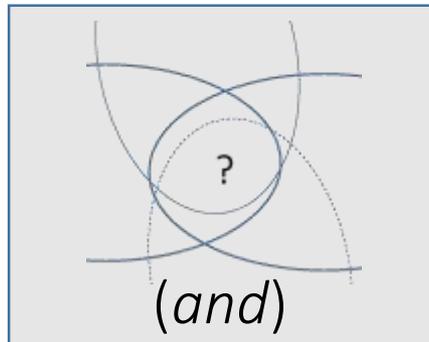
# Résumé de la séance 1

- Modèle ? → *construire du sens*
- *Choix conscient* modèle / projet ?
- Modélisation : disjonctive vs conjonctive

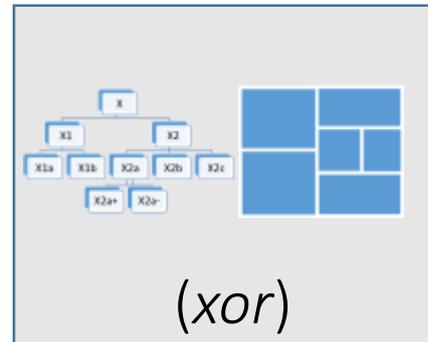


Systeme

- fait
- se fait
- dans un environnement
- pour quelque projet



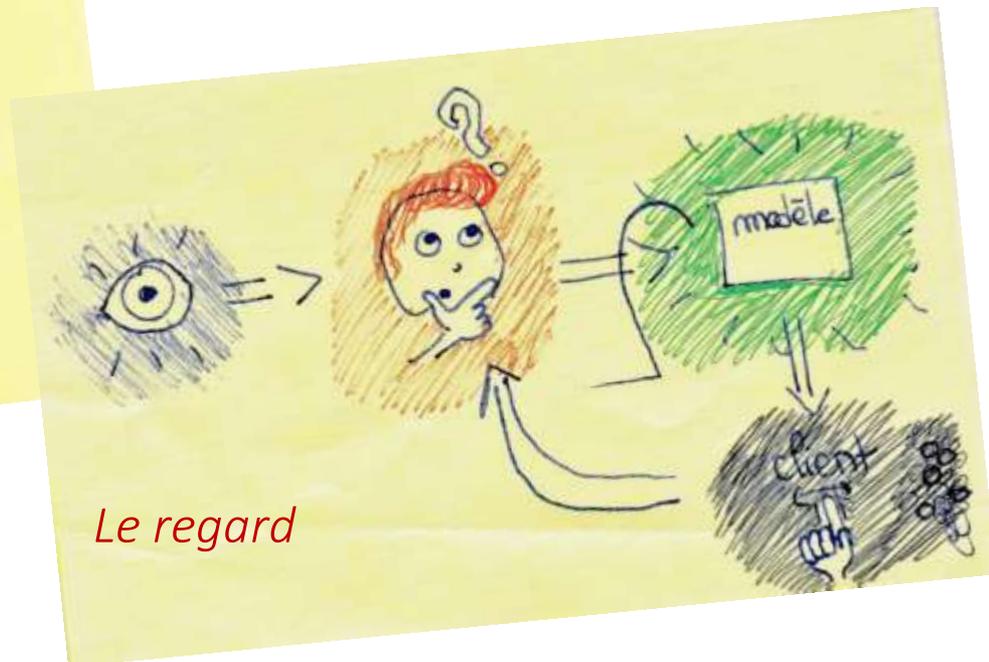
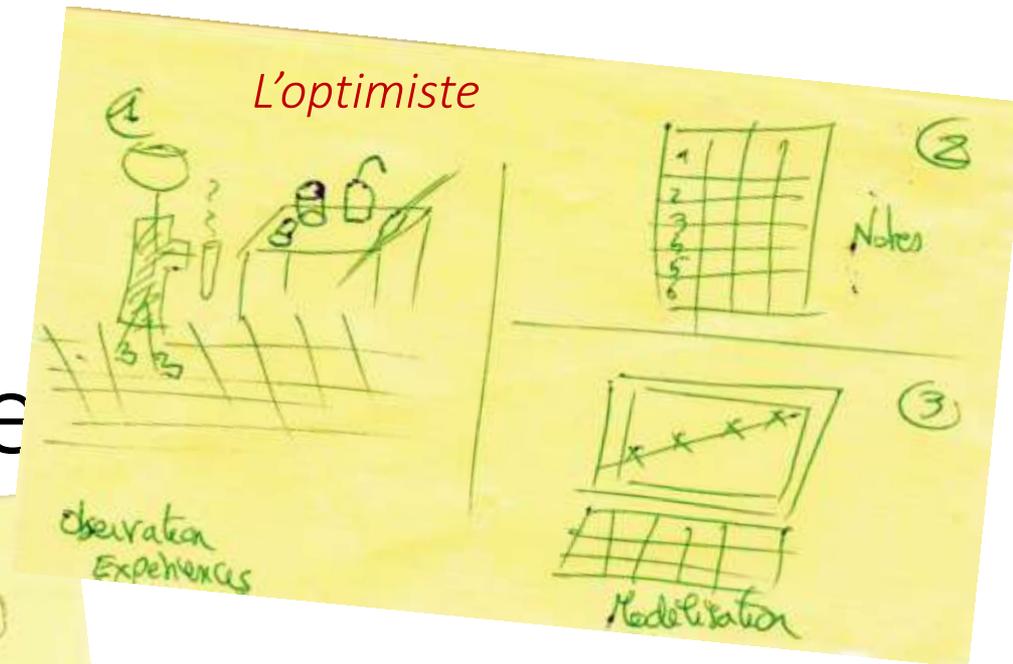
versus



Analyse

- évidence
- décomposition
- recomposition
- exhaustivité

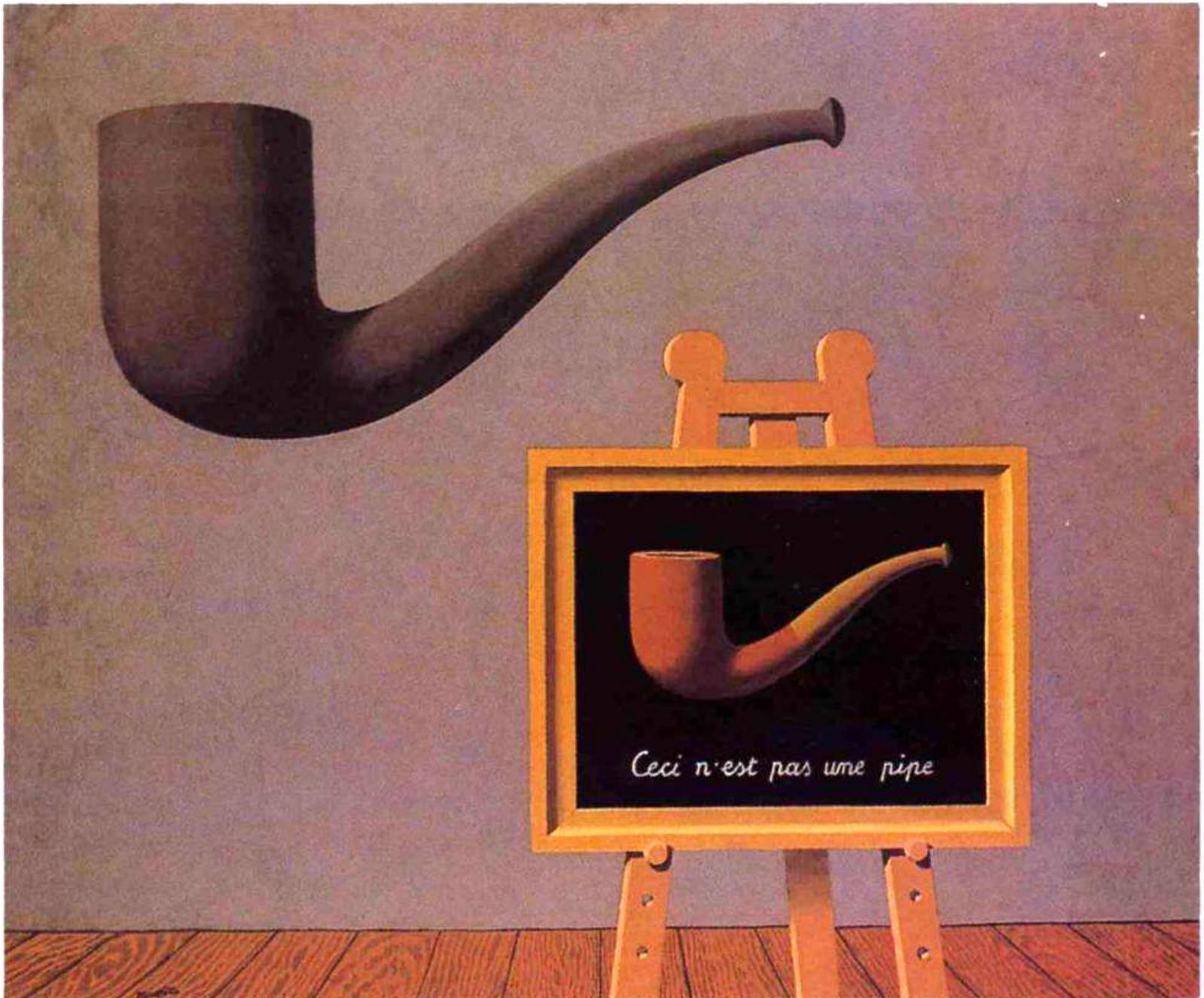
# Résumé de



... dessinez comment on fait un modèle

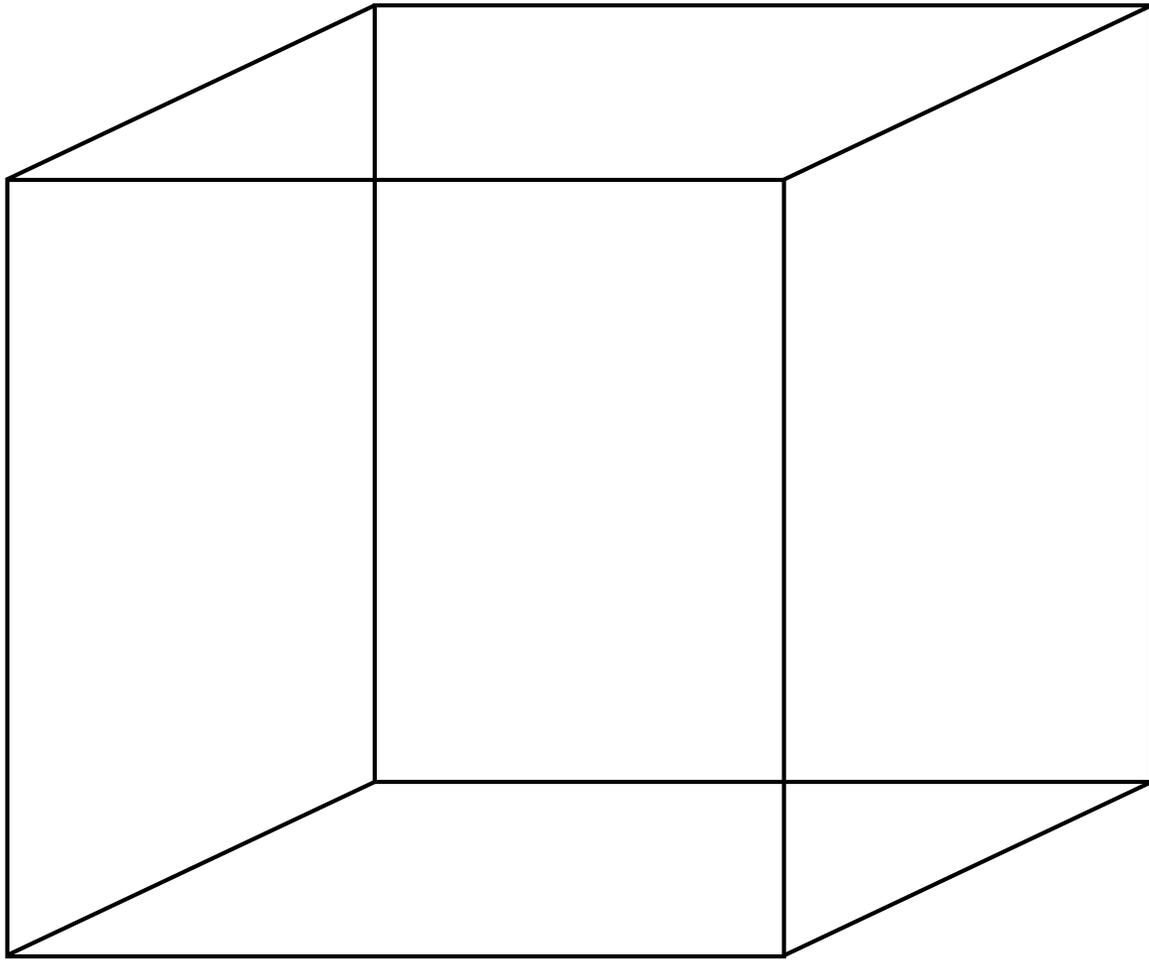


*La trahison des images, René Magritte (1929)*



*Les deux mystères, René Magritte (1966)*

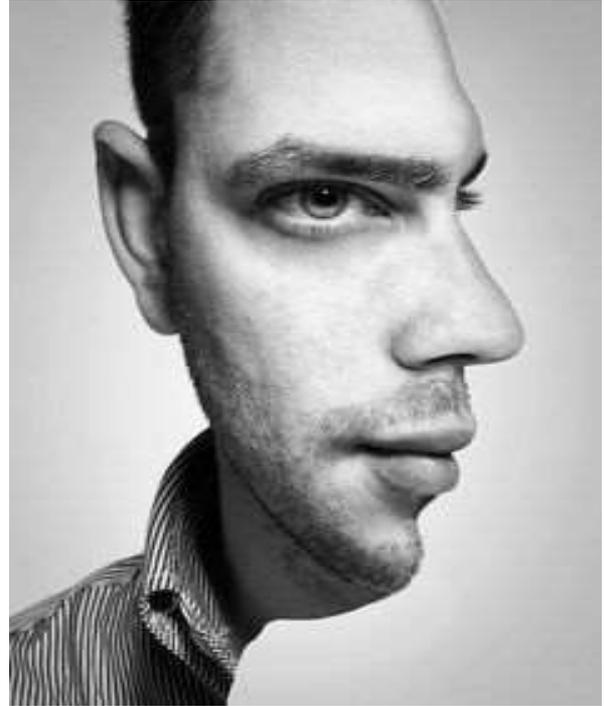
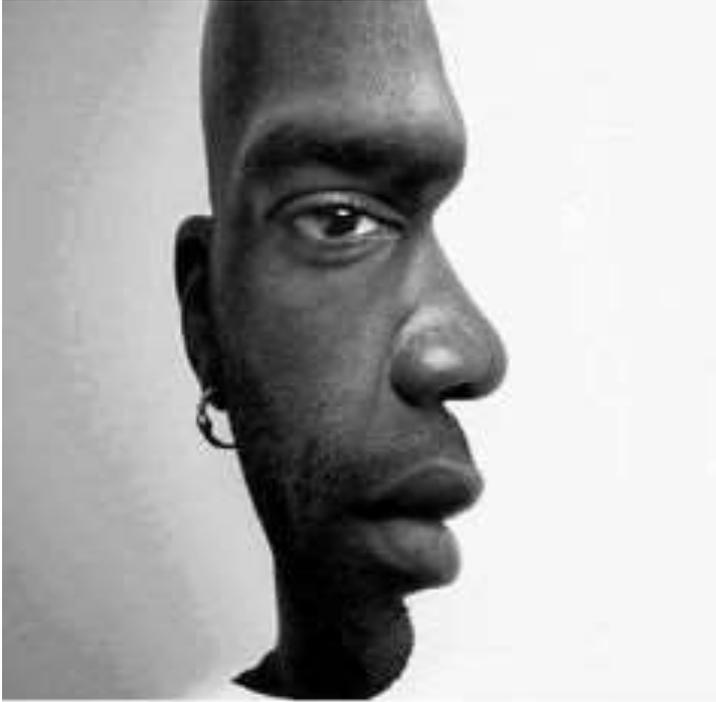
Le modélisateur peut-il avoir une  
vision objective ?



*cube de Necker (1832)*



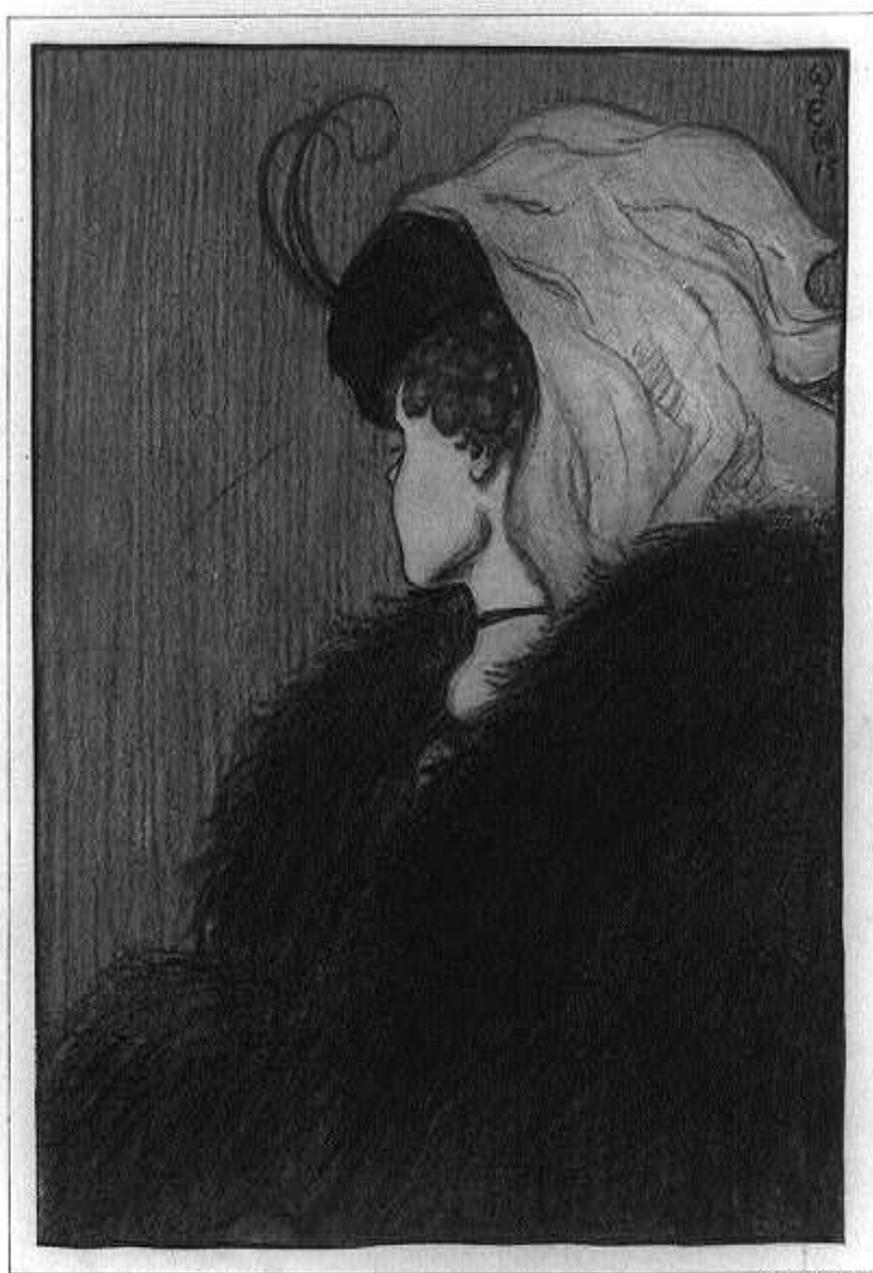
*W.E. Hill, « My Wife and My Mother-in-Law » (1915)*



# Conclusion 1 :

la reconnaissance visuelle d'un objet

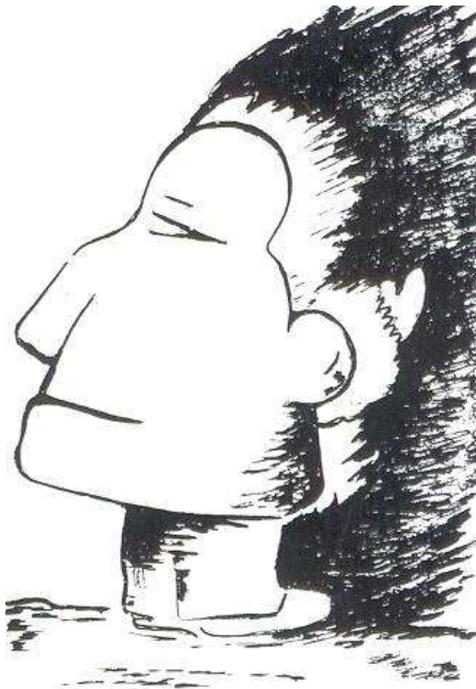
- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard



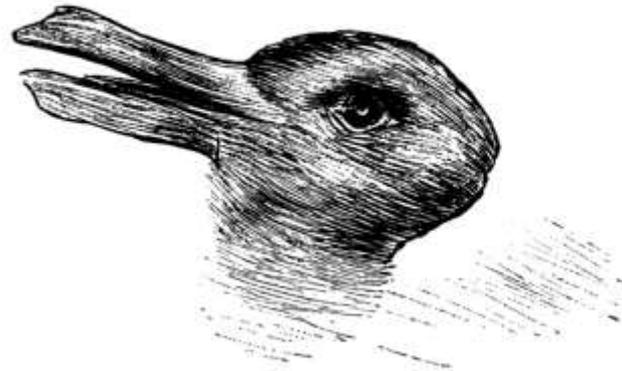
PASSER

MY WIFE AND MY MOTHER-IN-LAW  
They are both in this picture — Find them

William Ely Hill (British cartoonist, 1887-1962) : « My Wife and My Mother-in-Law » (1915)



Welche Thiere gleichen ein-  
ander am meisten?



Kaninchen und Ente.

PASSER

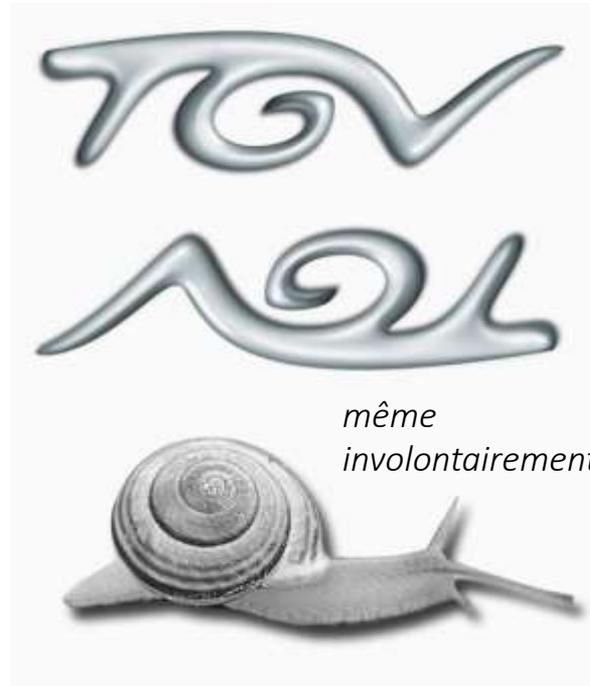




PASSER



**FedEx**®  
Federal Express



*même  
involontairement...*



*Subliminalement vôtres...*



*Tigran Tsitoghdzyan, Oil on canvas, 2014*

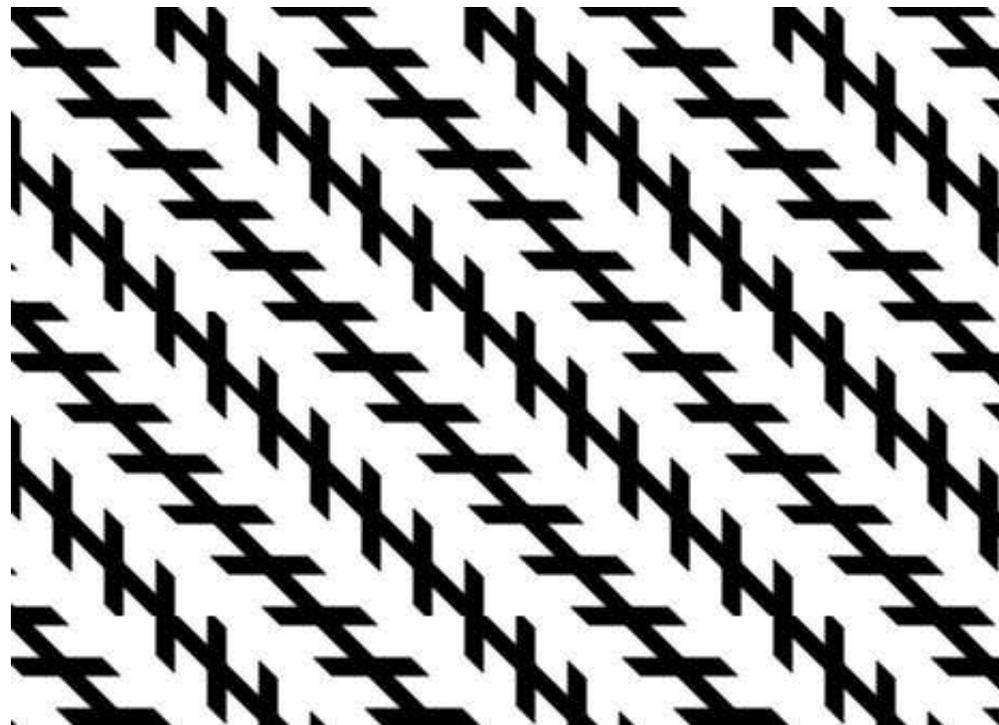
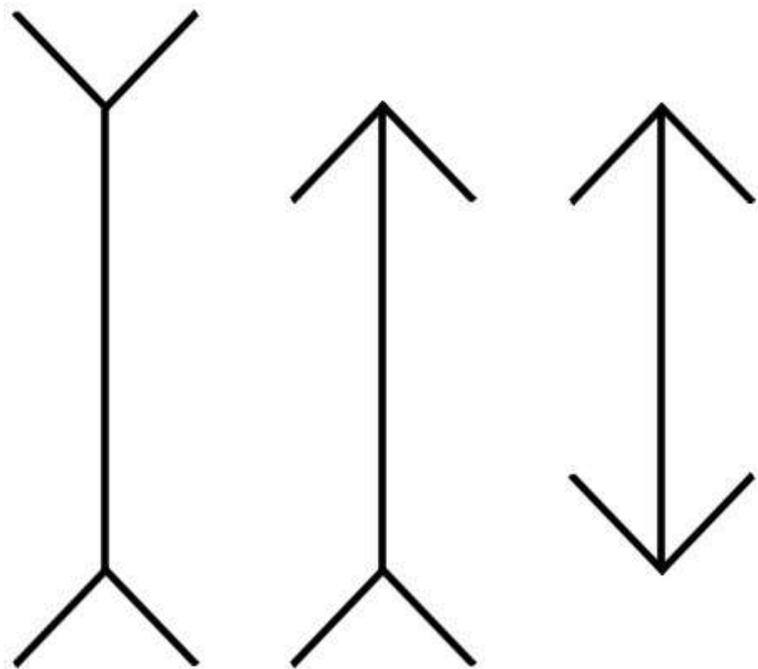


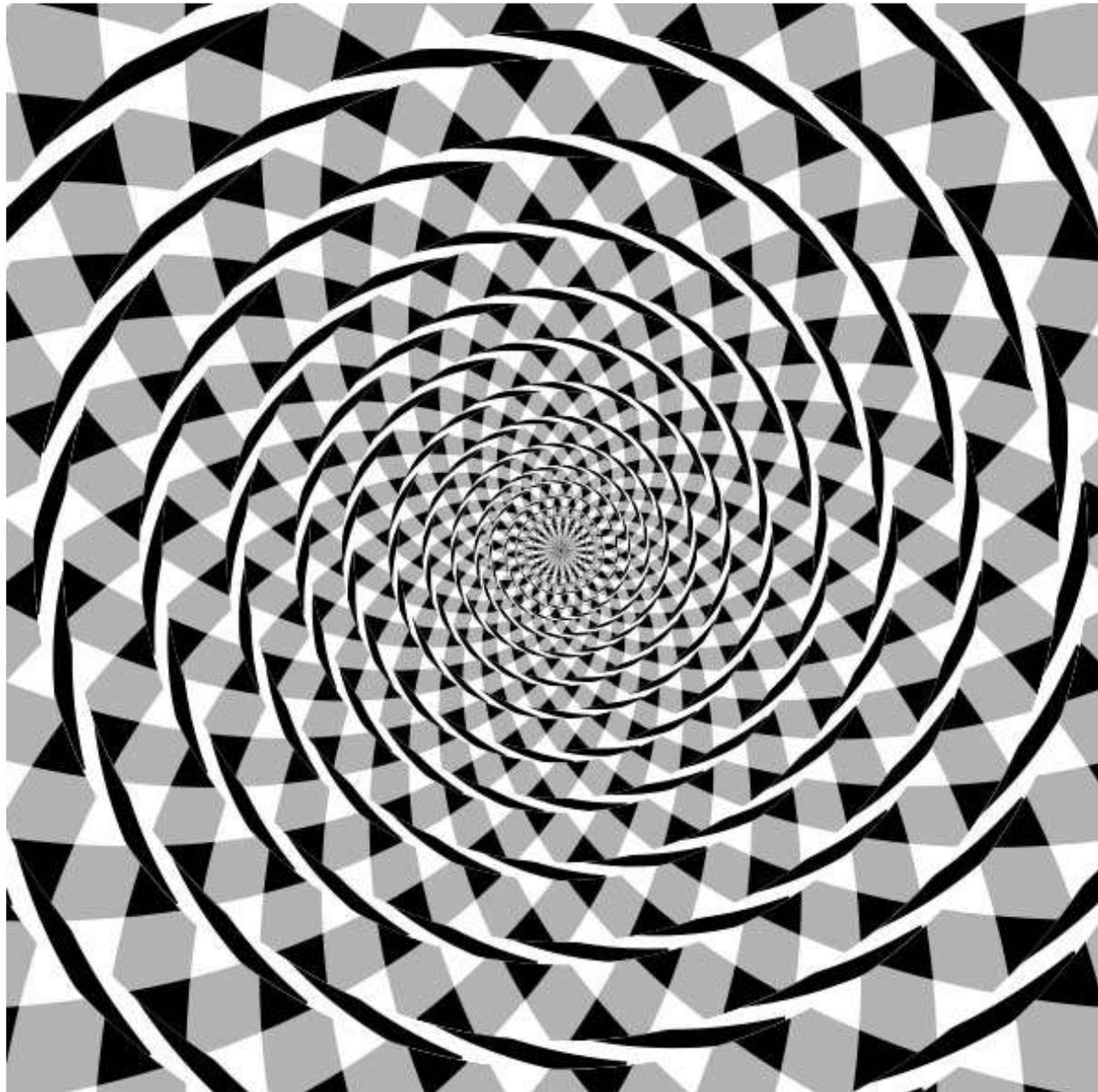
*Alexander Khokhlov, Photography, Weird beauties series*

# Conclusion :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- et dépend aussi du contexte

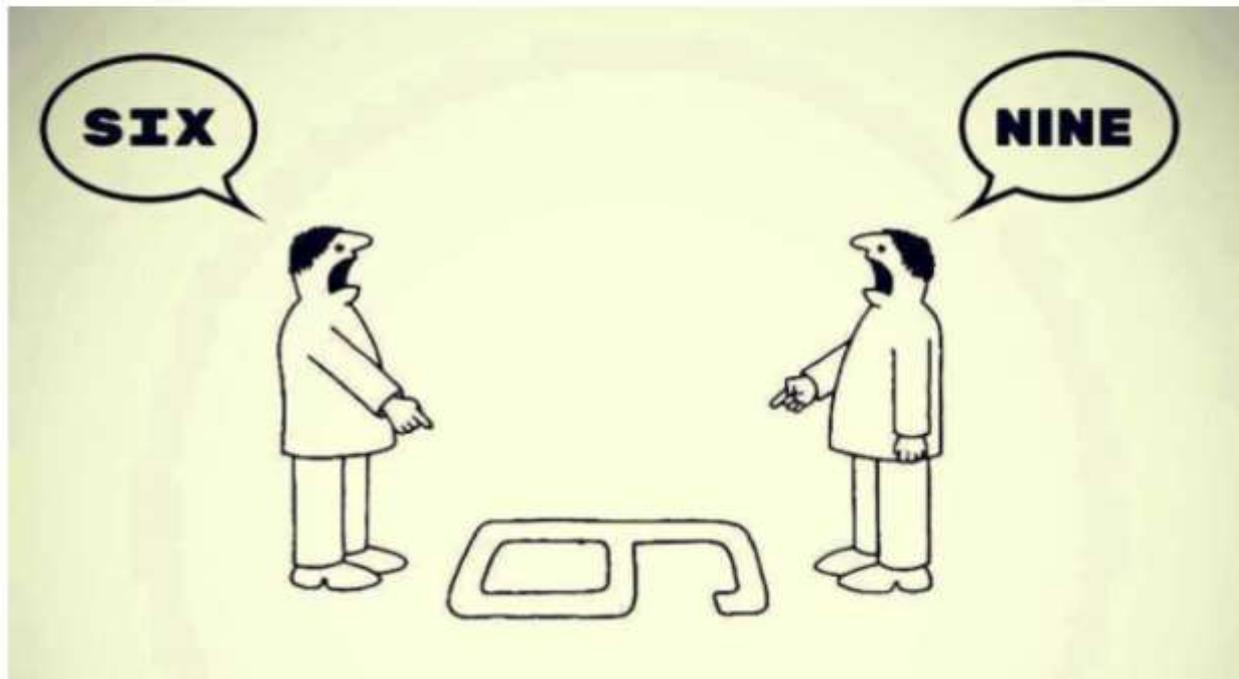


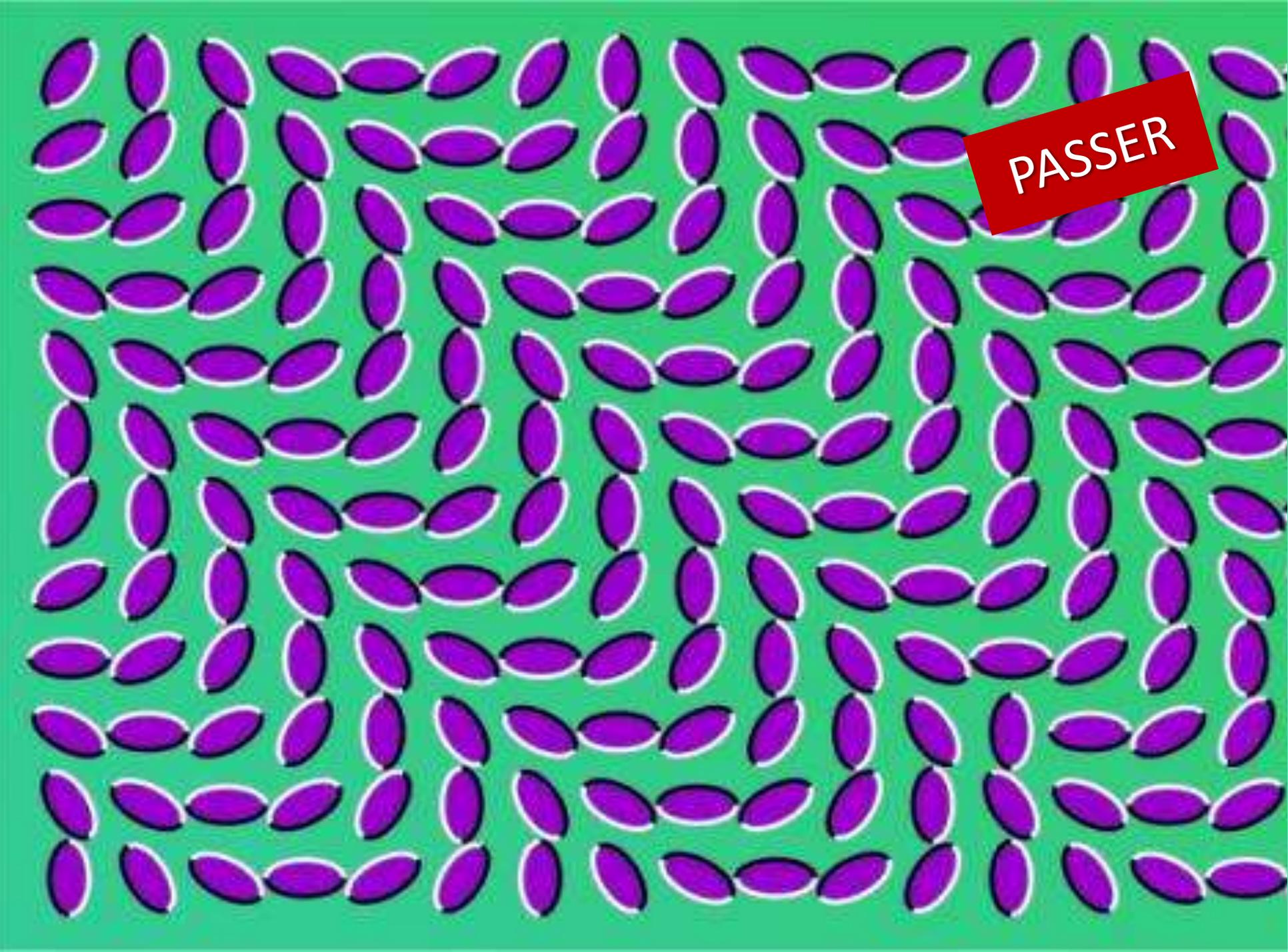


La spirale de Fraser tient son nom du psychologue britannique James Fraser, qui étudia le premier cette illusion d'optique en 1908 (« illusion des cordes emmêlées »). En fait, l'image est composée de cercles concentriques.

# Innovation Begins With A Shift In Perspective; It's Personal

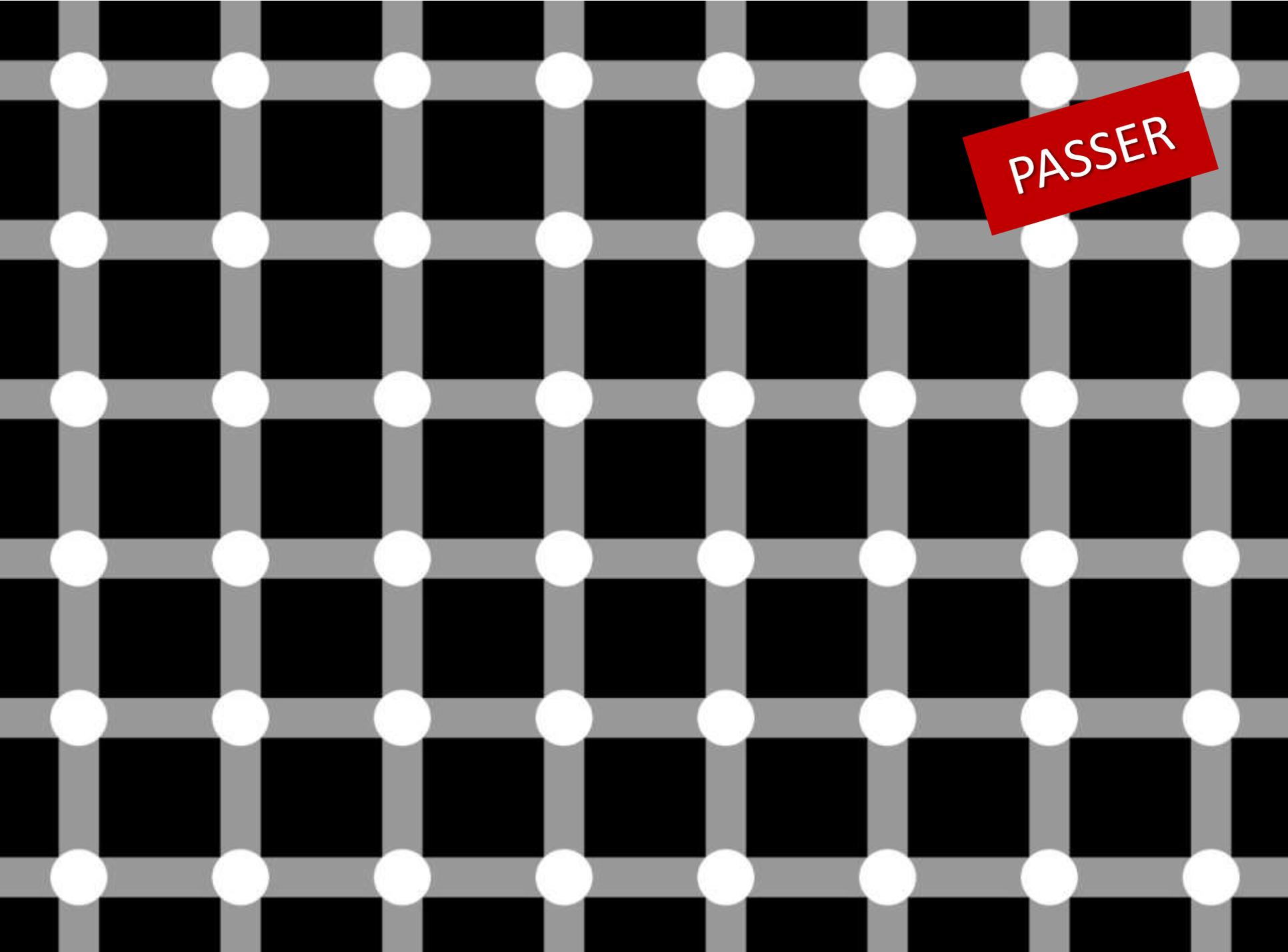
👤 Brian Solis / © May 16, 2017 / 📁 In Disruptive Technology



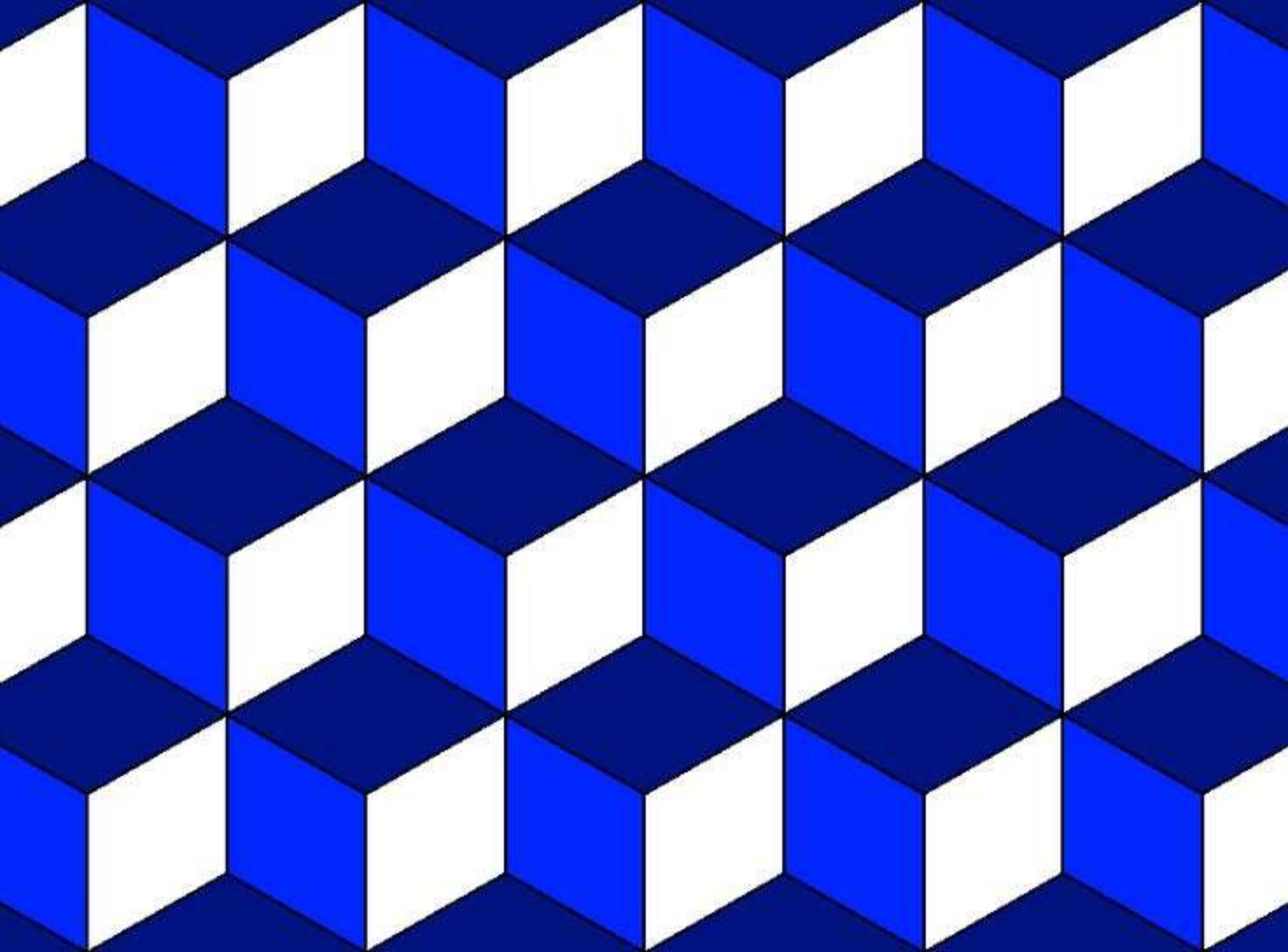


PASSER



A grid of white dots on a black background. The dots are arranged in a regular grid pattern. A red stamp with the word "PASSER" in white capital letters is located in the upper right quadrant of the image. The stamp is tilted slightly clockwise.

PASSER





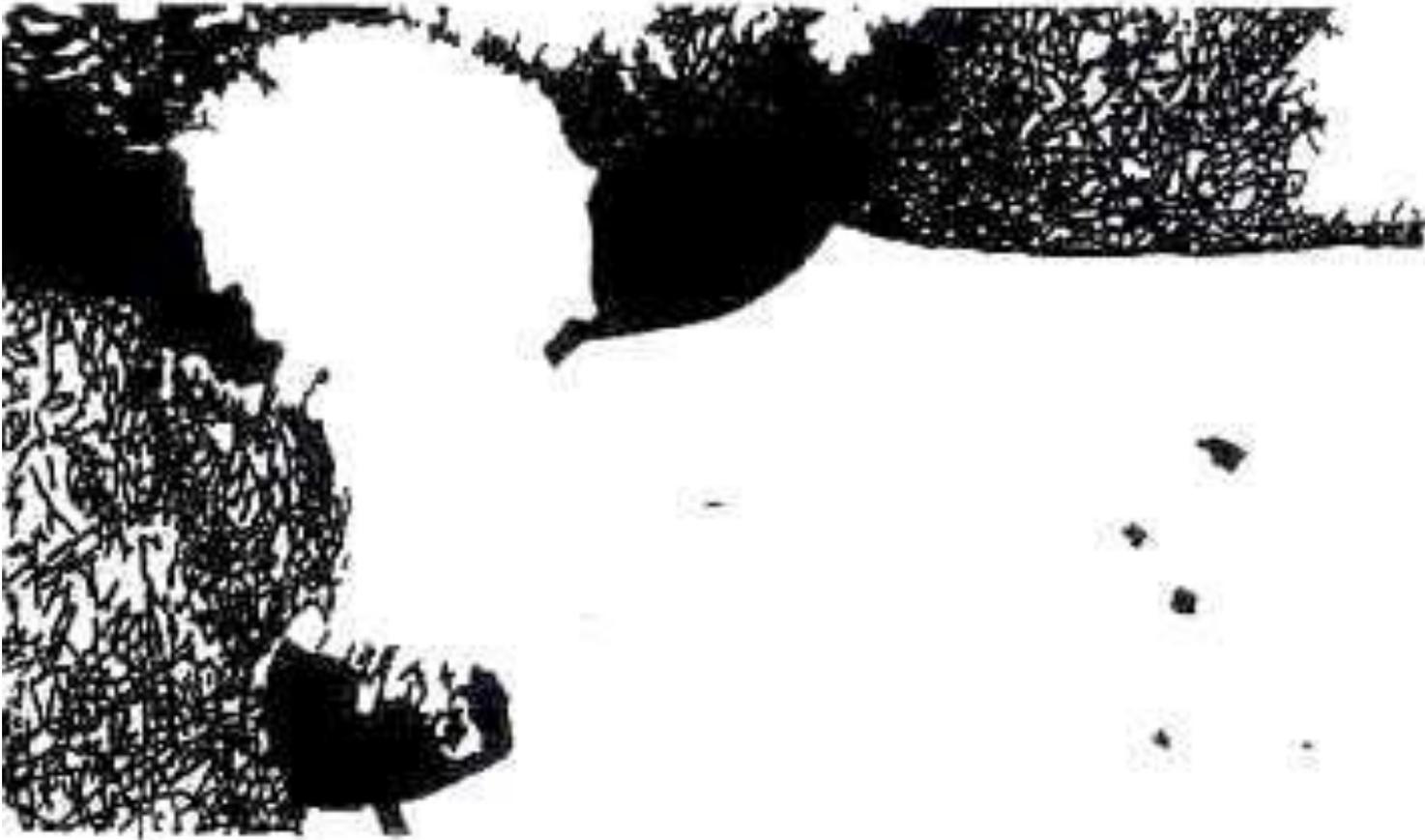
*J.P. Richard, souvenir de vacances, 2015.*

action : exercice du coin de mur

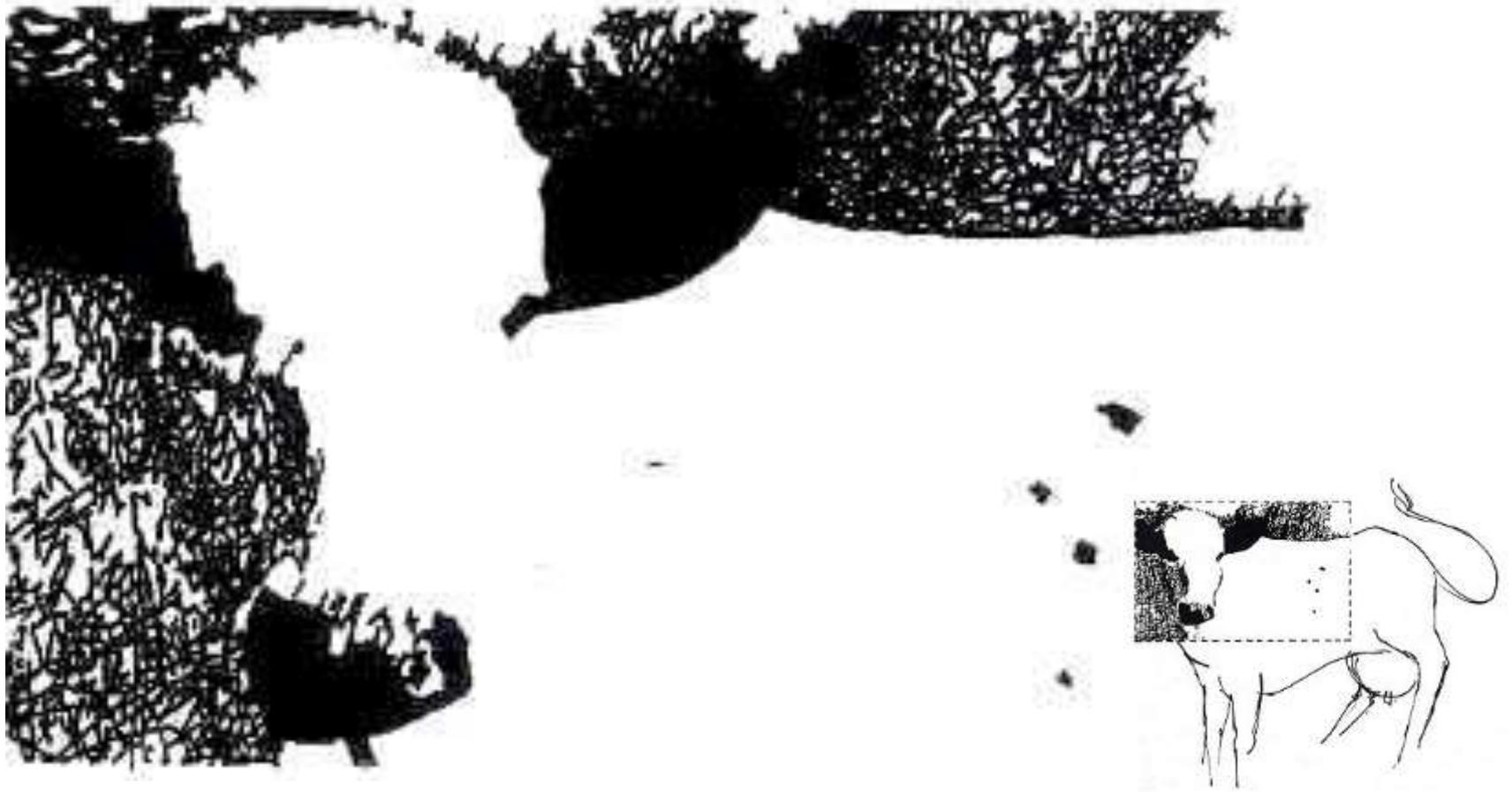
# Conclusions :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)

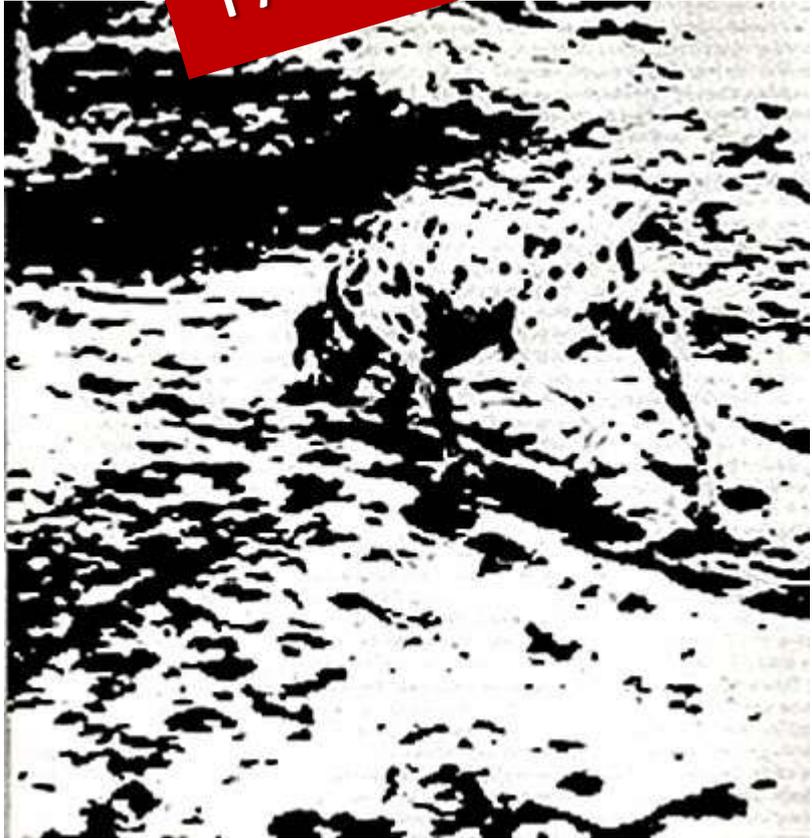


*Karl M. Dallenbach, 1951: "A puzzle picture with a new principle of concealment". American J. of Psychology, 64 (3) 431-433.*



*Karl M. Dallenbach, 1951: "A puzzle picture with a new principle of concealment". American J. of Psychology, 64 (3) 431-433.*

PASSER



*in: Karl M. Dallenbach, 1951, "A puzzle picture with a new principle of concealment". American J. of Psychology, 64 (3) 431-433.*

# Conclusions :

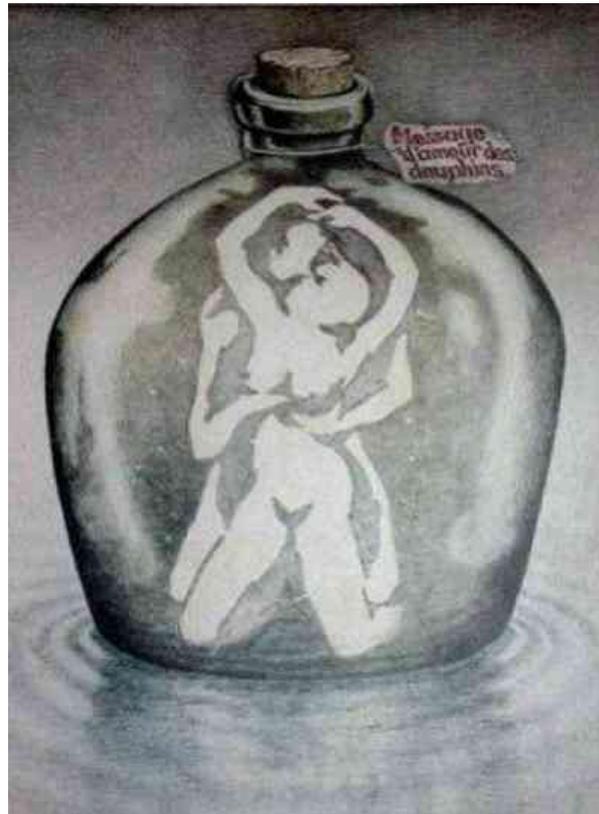
la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons (cf. exercice précédent)

# Conclusions :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...

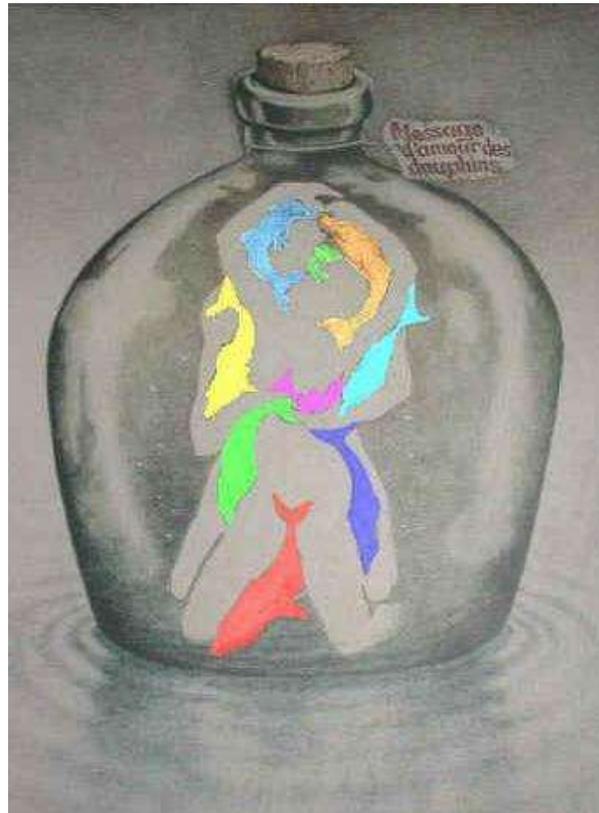


Mais la culture n'est pas la seule en cause, notre âge constitue un facteur essentiel de la perception.

La perception chez l'adulte : un couple.

Des recherches ont en effet montré que les enfants ne peuvent pas identifier le couple car ils ne possèdent en mémoire aucune image s'accordant avec celle-ci. Les jeunes enfants voient ici 9 dauphins. Les voyez vous ?

*Optical illusions*

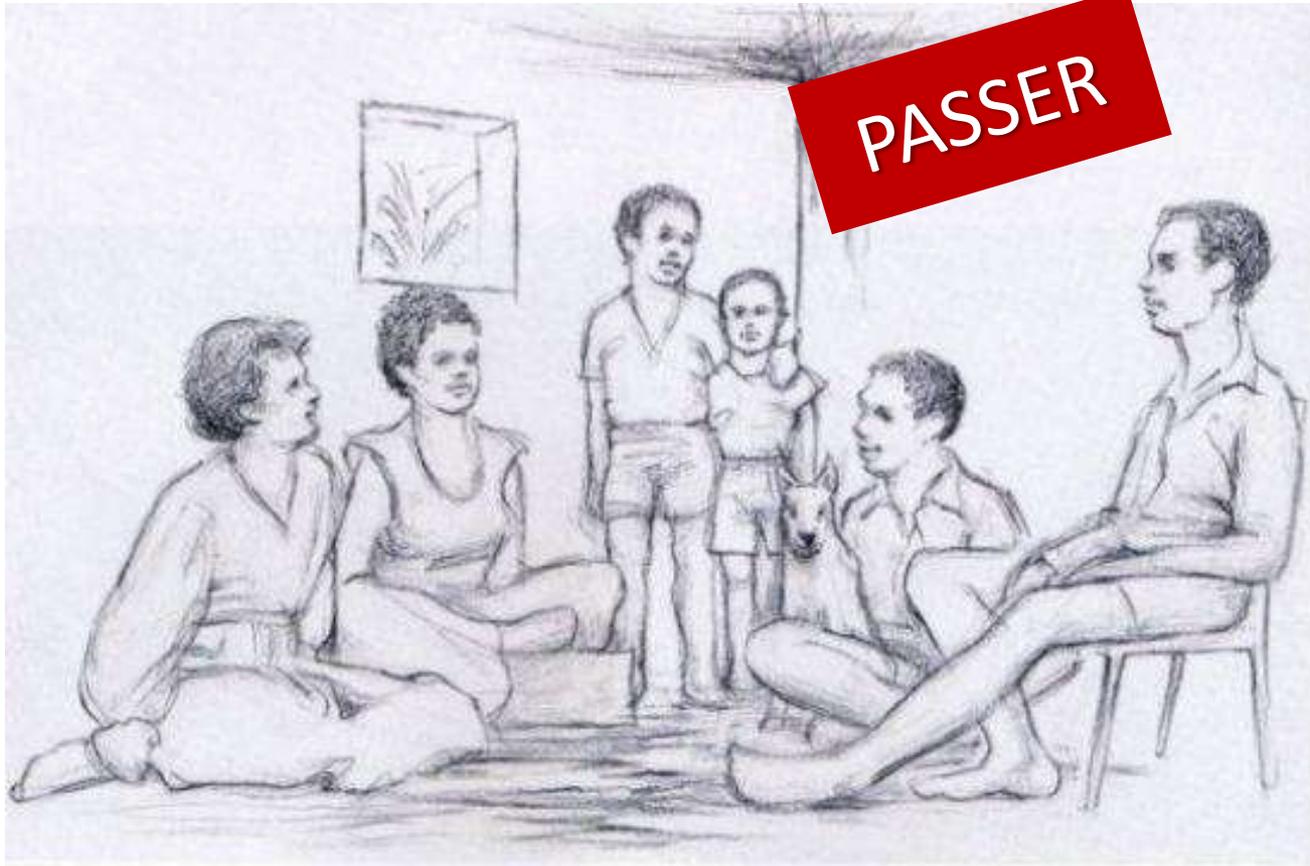


Mais la culture n'est pas la seule en cause, notre âge constitue un facteur essentiel de la perception.

La perception chez l'adulte : un couple.

Des recherches ont en effet montré que les enfants ne peuvent pas identifier le couple car ils ne possèdent en mémoire aucune image s'accordant avec celle-ci. Les jeunes enfants voient ici 9 dauphins. Les voyez vous ?

*Optical illusions*



Comme tous les occidentaux, vous répondrez sûrement que cette scène a pour lieu, une pièce dotée d'une fenêtre donnant sur l'extérieur. Et cela, car nous sommes habitués à un certain confort.

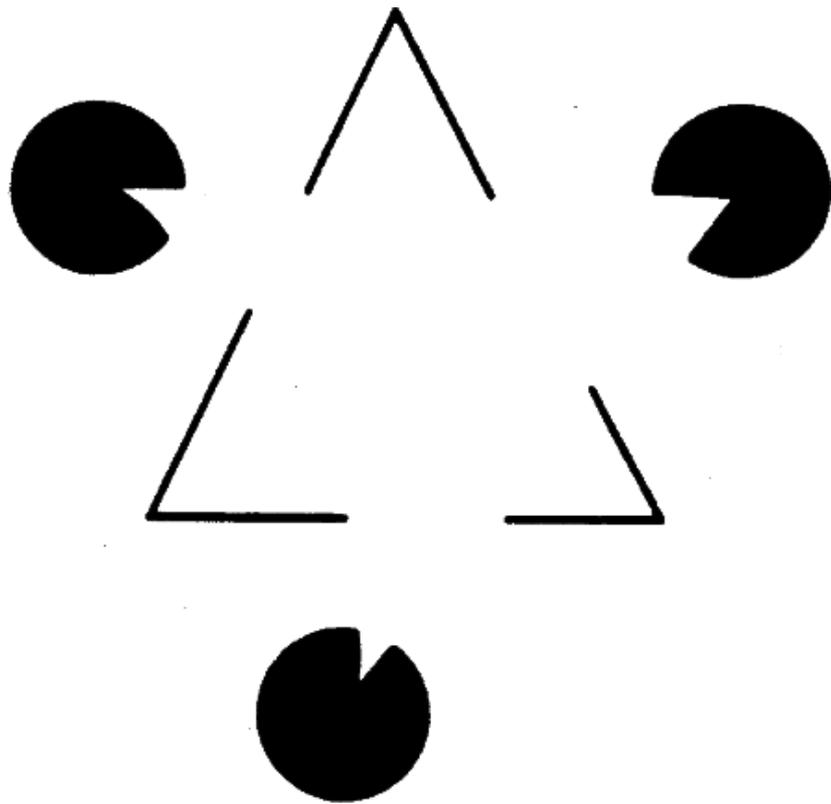
En effet, des chercheurs ont posé les mêmes questions à des personnes d'Afrique Orientale et ces dernières affirment que la famille est assise sous un arbre et que la femme de gauche porte une boîte sur la tête.

Ainsi, la culture agit directement sur notre perception. Entre autre, les personnes issues de milieu civilisé très urbain, sont plus habitués aux formes géométriques que certains peuples d'Afrique par exemple. Cette habitude crée une tendance à ramener les angles obtus ou aigus à des angles droits. Nous sommes donc plus sensibles à l'illusion de Muller-Lyer.

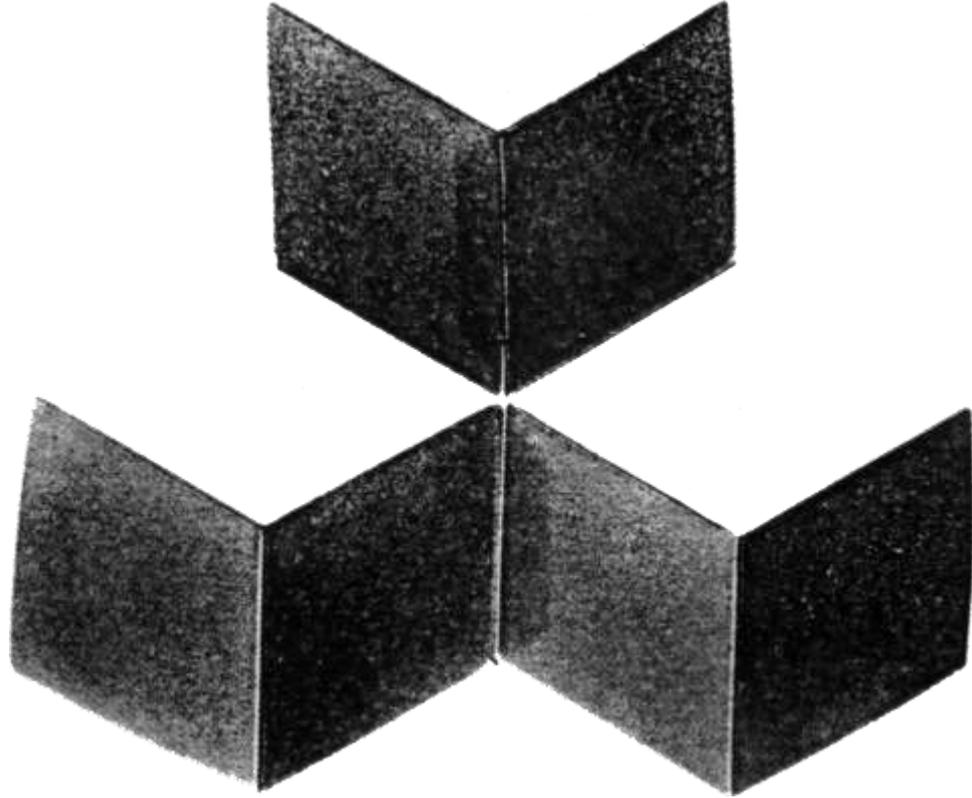
# Conclusions :

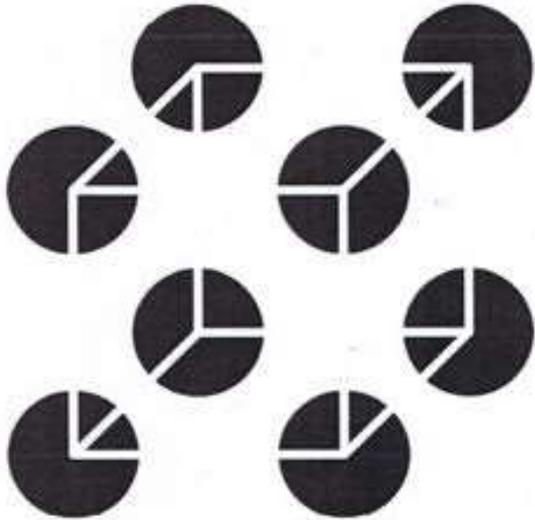
la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- **fournit des informations qui étaient absentes de l'objet**

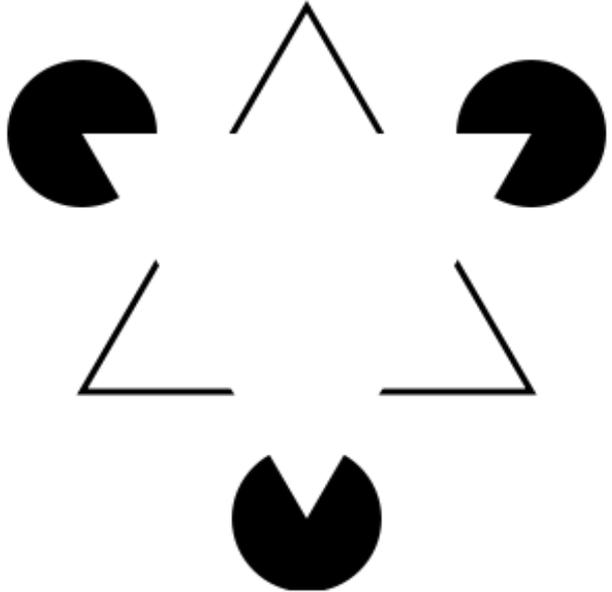


motif de Kanizsa





PASSER



motifs de Kanizsa

# Conclusions :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- fournit des informations qui étaient absentes de l'objet
- **corrige ce qui est perçu**



trop difficile d'imaginer un visage concave...

*Optical illusions*

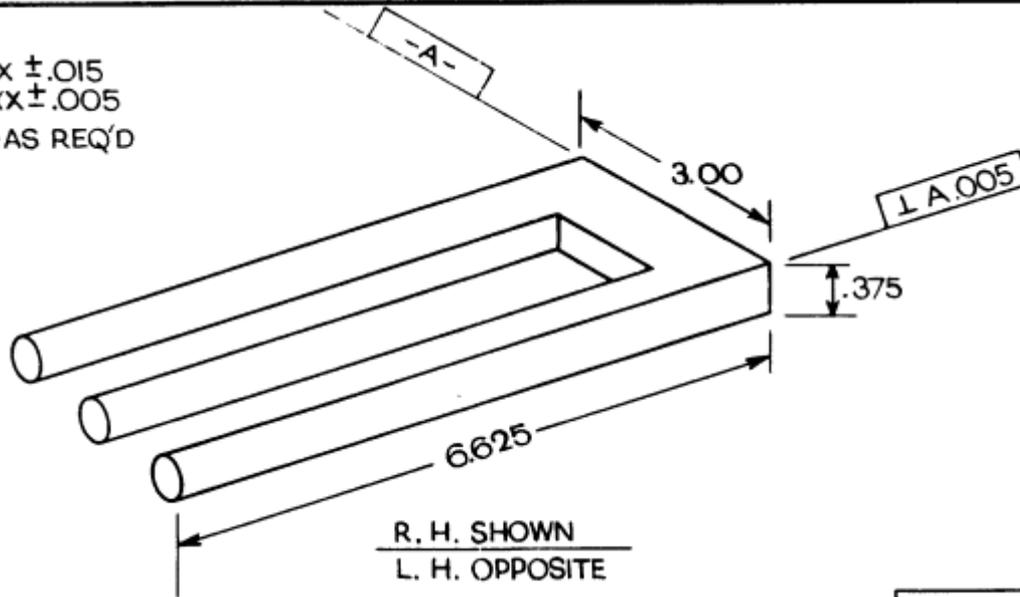
action : exercice du miroir  
TEA à faire/refaire chez vous ;)

# Conclusions :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- fournit des informations qui étaient absentes de l'objet
- corrige ce qui est perçu
- **tente désespérément de coller avec nos habitudes**  
(reconnaître de qu'on connaît)
- **désoriente notre système cérébral en cas d'incohérence**

TOLERANCES XX  $\pm .015$   
 XXX  $\pm .005$   
 BEND RADIUS - AS REQ'D

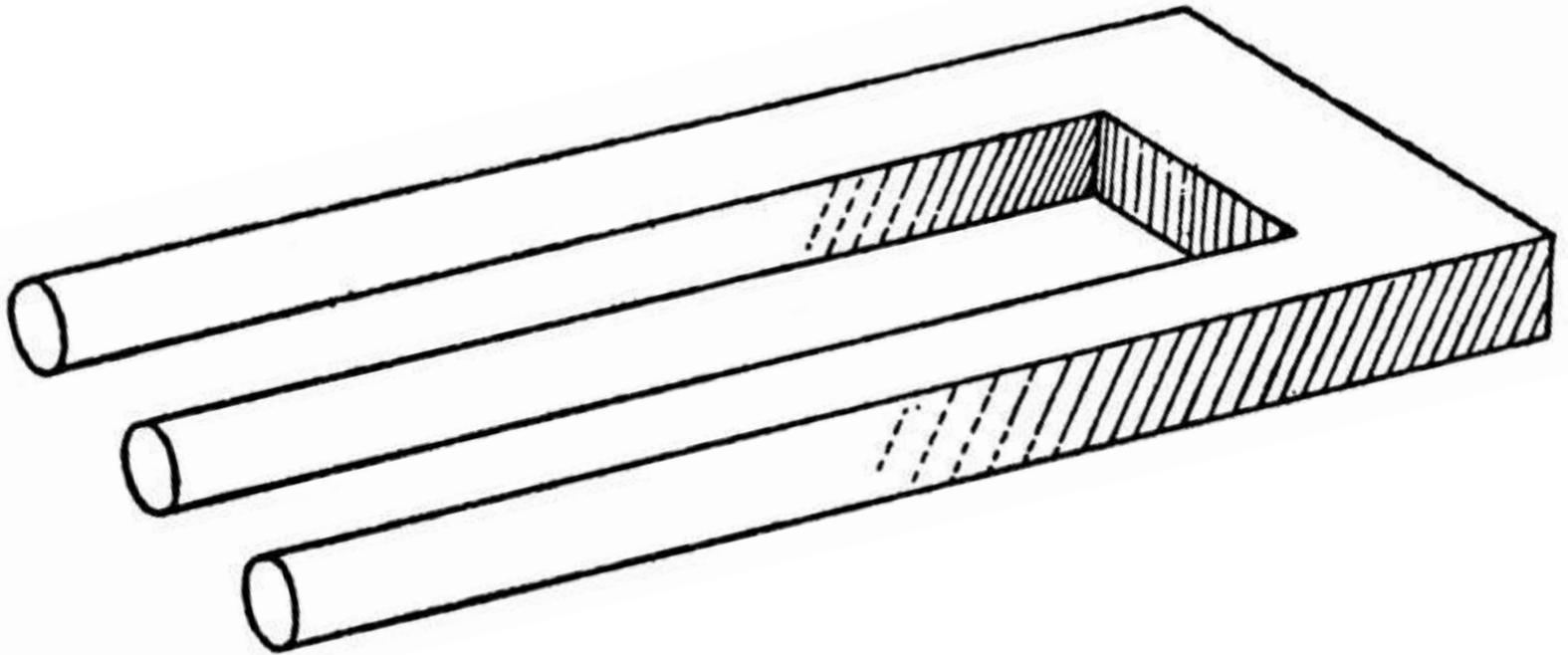


ASSY. NO. 41

MATL.-ALUM ALLOY 6061-T6 OR 6062-T6

PER UNIT 16-TR REQ'D

IMC MAGNETICS CORP.			
DRAWN <i>MRK</i>	SCALE 1/2	REVISIONS	DATE 1-10-4
CHECKED <i>MD</i>			
APPROVED <i>MRK</i>			
DATE			
TITLE BRACE HORIZONTAL		No. IMC 1736-19	



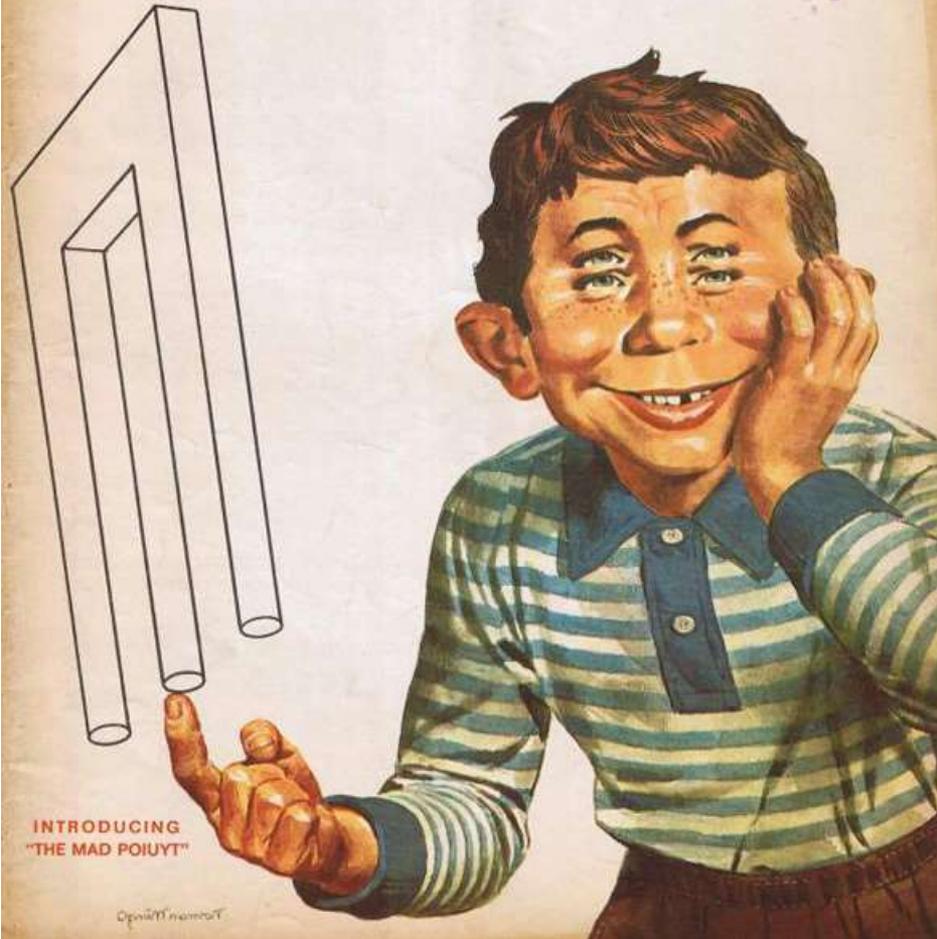
*Blivet, Devil's fork, Trident de Mad*

# MAD

OUR PRICE  
**25¢**  
CHEAP

No. 93

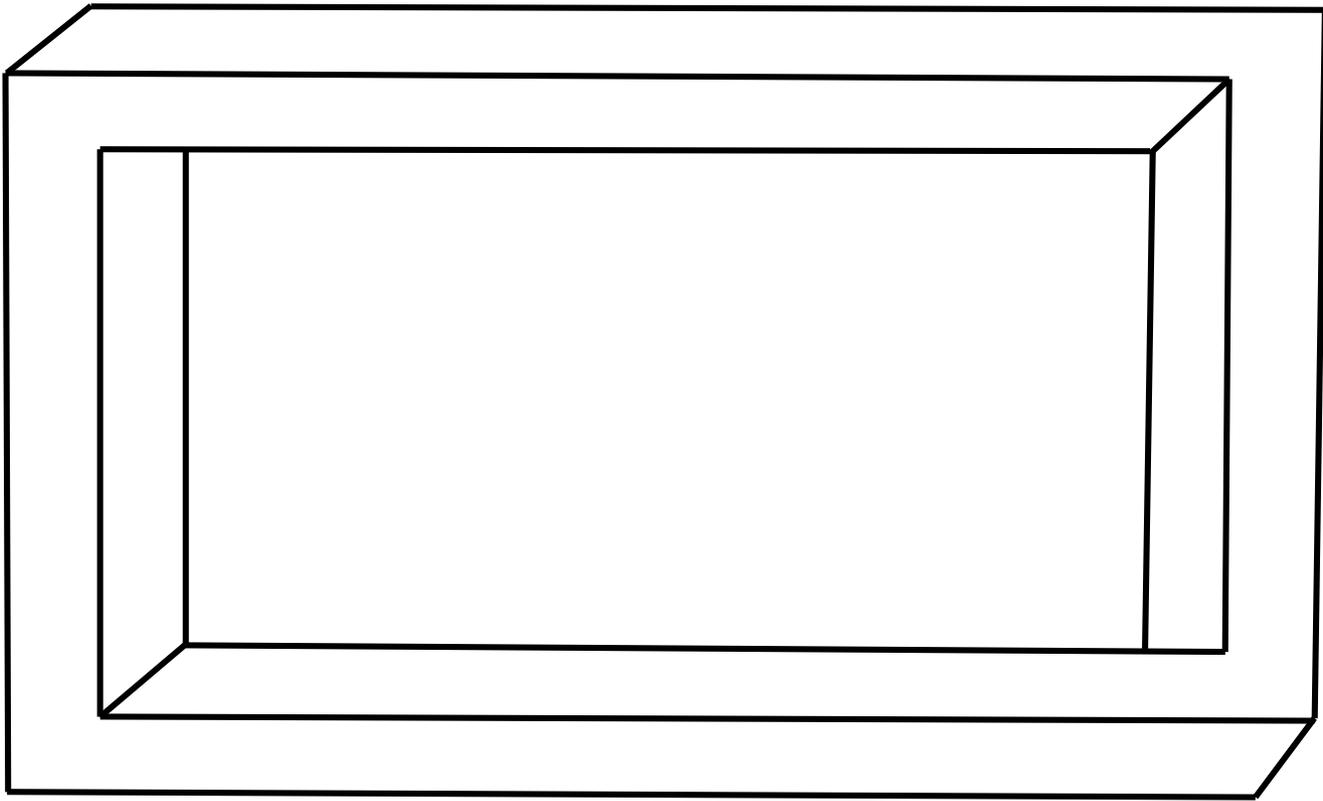
March '65

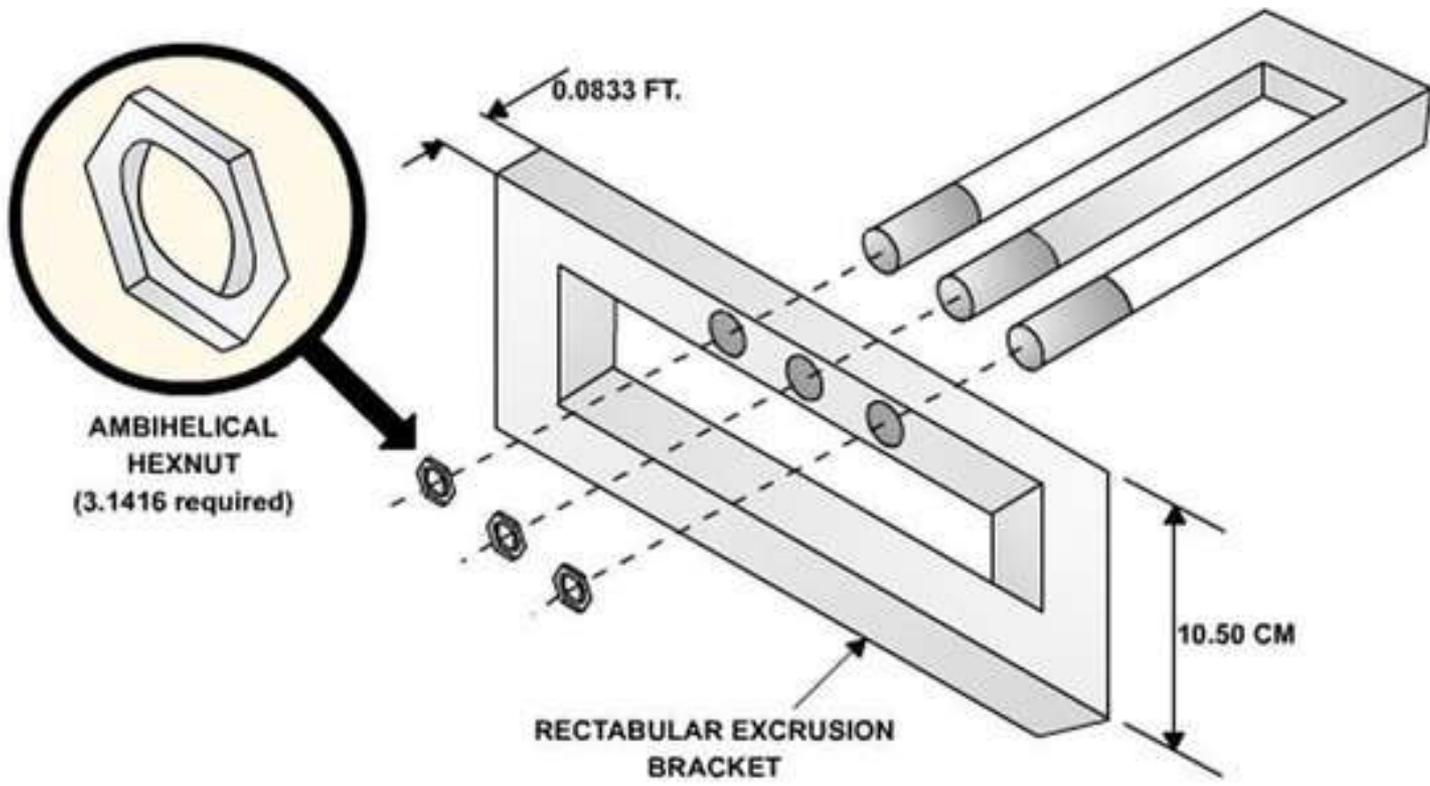


INTRODUCING  
"THE MAD POIUYT"

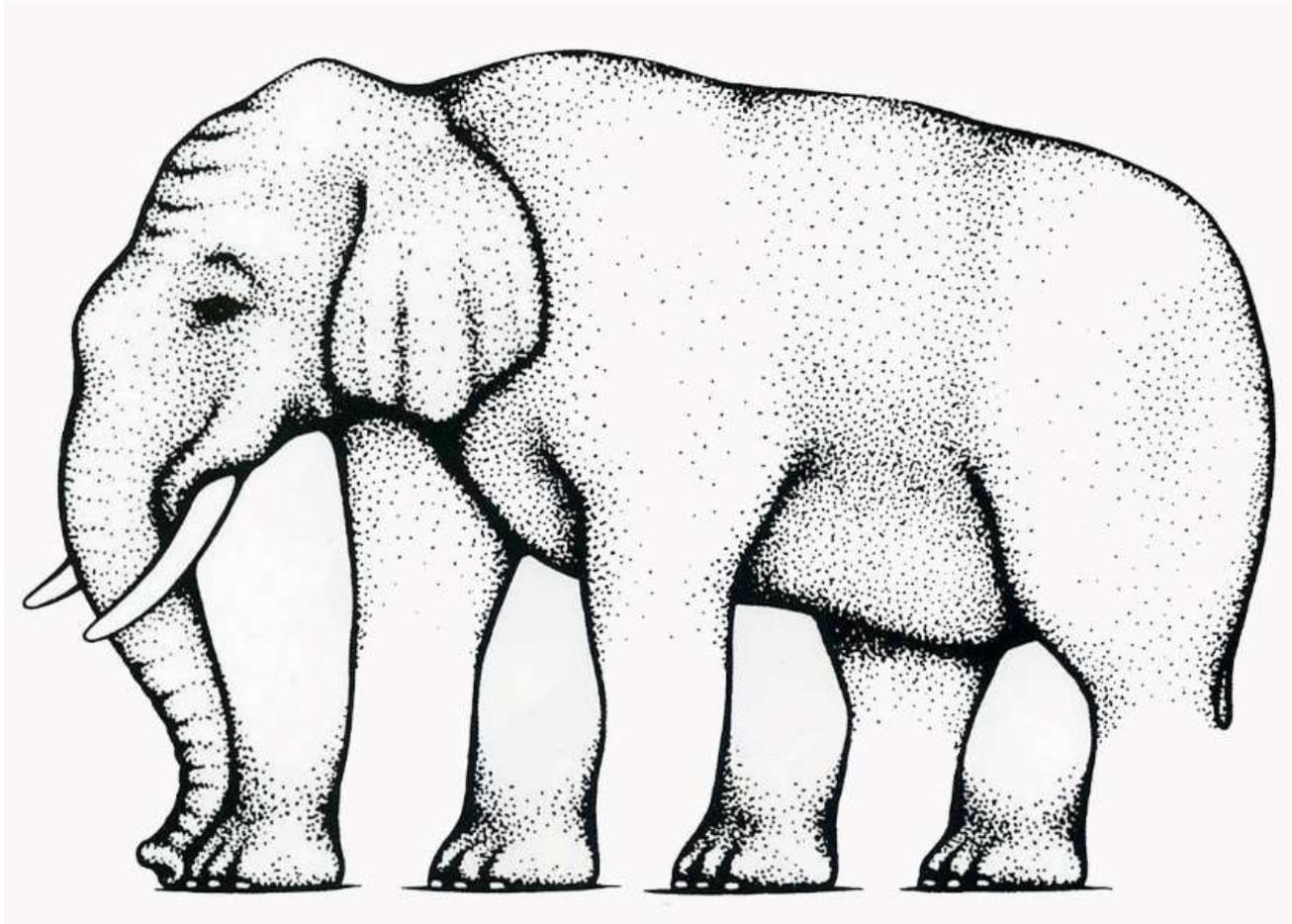
© 1965 MAD

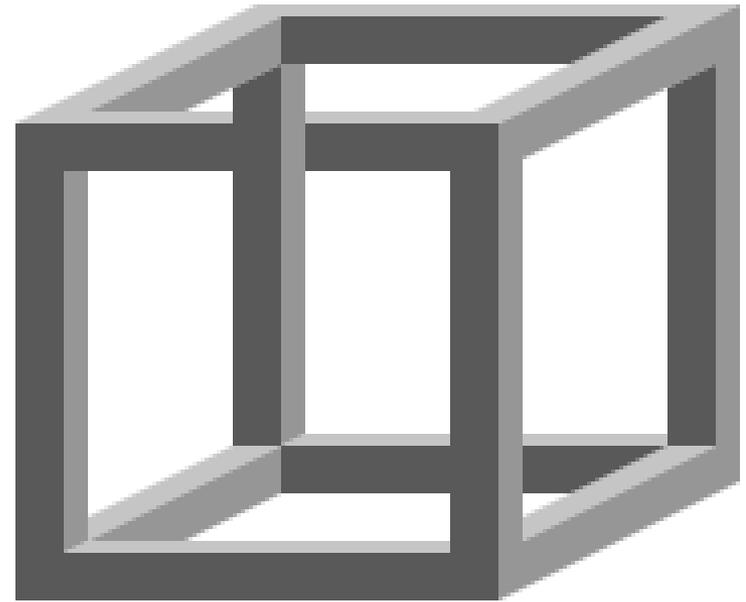
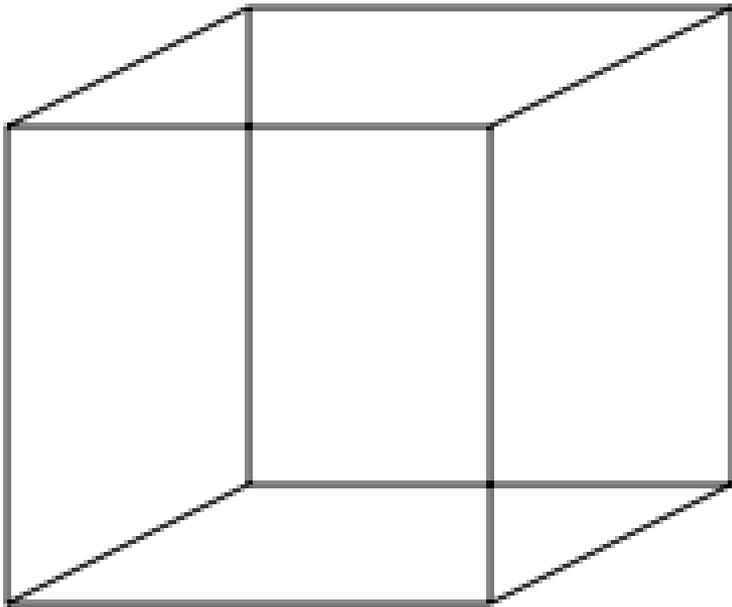
PASSER





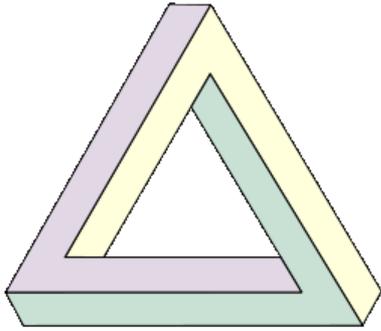
**PASSER**



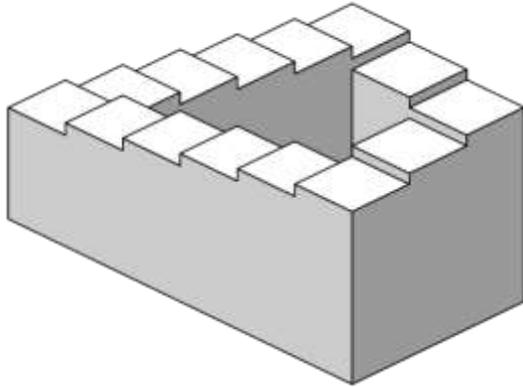
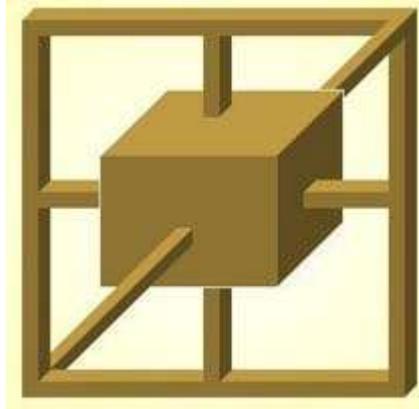


**PASSER**

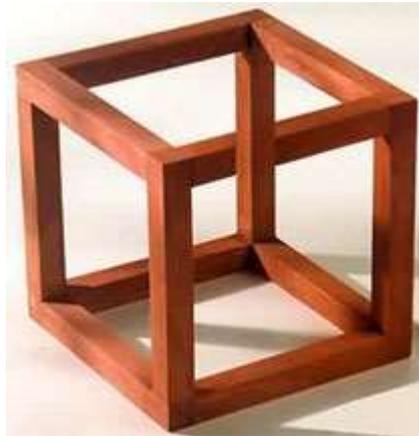
*Cube de Necker*



*triangle de Penrose*

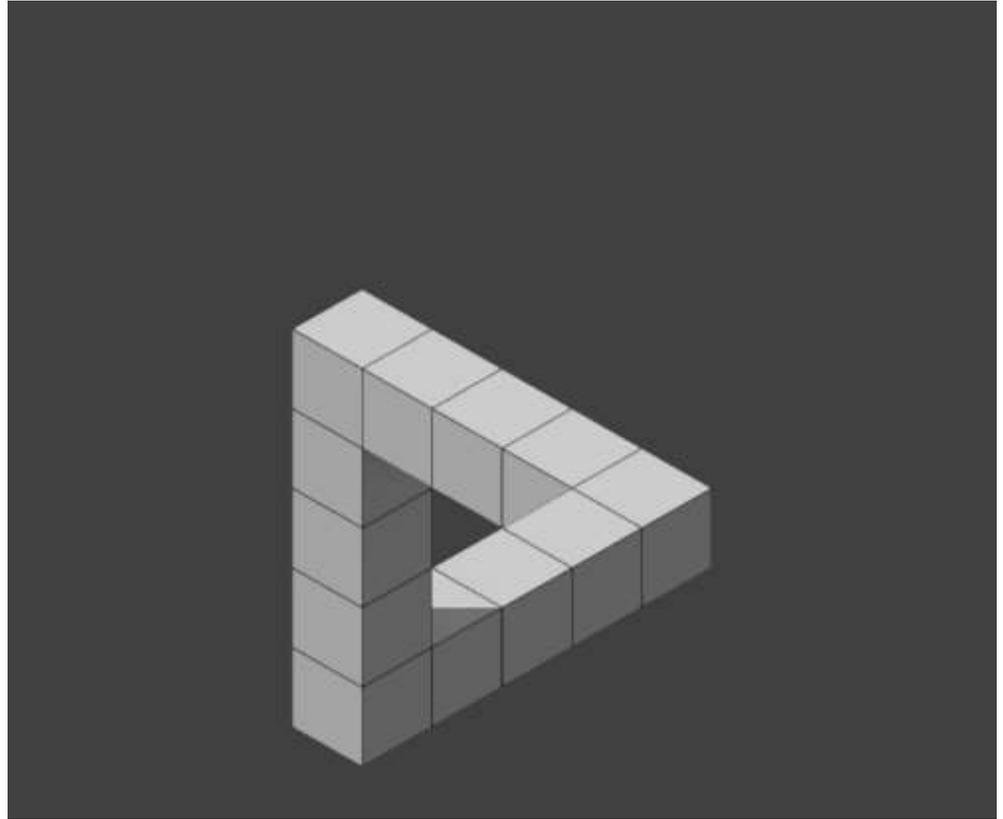
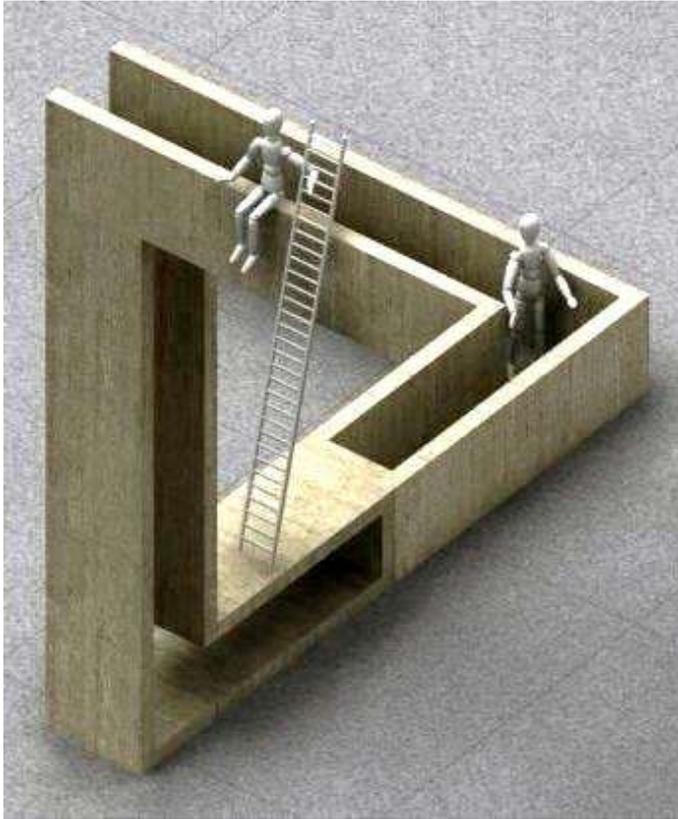


*Escalier de Penrose*



*Cubes de Necker*





**PASSER**

*Triangles de Roger Penrose  
(1950's)*

# Conclusions :

## la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- fournit des informations qui étaient absentes de l'objet
- corrige ce qui est perçu
- tente désespérément de coller avec nos habitudes
- désoriente notre système cérébral en cas d'incohérence
- **utilise éventuellement la vision binoculaire**



*Extrait de « L'Œil magique », N.E. Things Enterprises, JA&T Etds.1994*

*NB : cet exercice de vision binoculaire ne marche pas en rétroprojection, il faut une distance d'environ 30-40cm entre l'œil et la feuille*

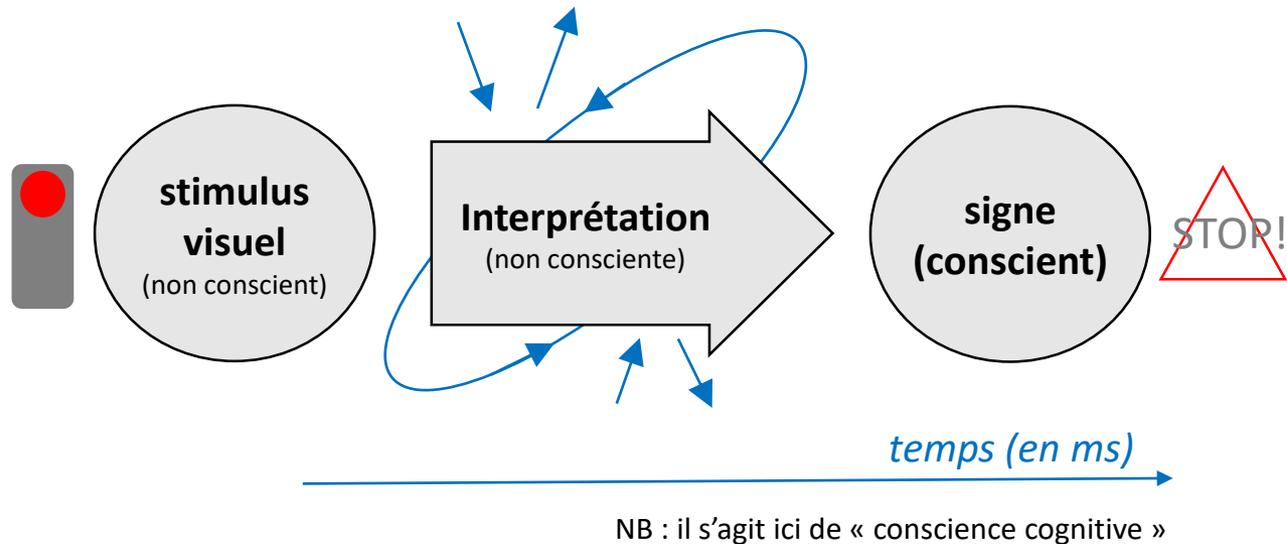
# Conclusions :

## la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- fournit des informations qui étaient absentes de l'objet
- corrige ce qui est perçu
- tente désespérément de coller avec nos habitudes
- désoriente notre système cérébral en cas d'incohérence
- utilise éventuellement la vision binoculaire
- ... est le fruit de notre *interprétation* des stimuli

- ... est le fruit de notre *interprétation* des stimuli

Ce que nous appelons *perception* est un *processus intégratif d'interprétation* des signes.



cf. Lionel Naccache : “Le Chant du signe : Aventures et mésaventures de nos interprétations quotidiennes”, Odile Jacob 2017.

Neurologue, professeur, chercheur en neurosciences cognitives à l'ICM (Institut du cerveau et de la moelle épinière, CNRS-INSERM-Sorbonne Univ.), membre du comité consultatif d'éthique.  
Résultats construits grâce à l'imagerie cérébrale



# *Le modélisateur peut-il avoir une perception objective du réel ?*

## ⇒ Conclusions :

la reconnaissance visuelle d'un objet

- dépend de ce sur quoi nous avons fixé notre regard
- dépend aussi du contexte
- n'est pas innée mais acquise (apprentissage)
- dépend de ce que nous entendons
- dépend de notre culture, de notre âge...
- fournit des informations qui étaient absentes de l'objet
- corrige ce qui est perçu
- tente désespérément de coller avec nos habitudes
- désoriente notre système cérébral en cas d'incohérence
- utilise éventuellement la vision binoculaire
- est le fruit de notre interprétation des stimuli

Et la science, alors ?

Le modélisateur peut-il avoir une vision objective ?



Le scientifique construit une représentation  
consensuelle  
éprouvée  
utile

...

*Contrairement à ce que j'avais pu croire, la démarche scientifique ne consistait pas simplement à observer, à accumuler des données expérimentales et à en tirer une théorie. Elle commençait par l'invention d'un monde possible, ou d'un fragment de monde possible, pour le confronter, par l'expérimentation, au monde extérieur. Et c'était ce dialogue sans fin entre l'imagination et l'expérience qui permettait de se former une représentation toujours plus fine de ce qu'on appelle « la réalité ».*

François Jacob

*La statue intérieure*, Odile Jacob, Paris, 1987, p. 250-251.

Biologiste, Médecin, Institut Pasteur, Professeur au Collège de France.

Prix Nobel de médecine et physiologie 1965 avec Jacques Monod et André Lwoff

attribué « pour leurs découvertes concernant le contrôle génétique de la synthèse des enzymes et des virus »

→ biologie moléculaire, régulation génétique

Le scientifique construit une représentation  
consensuelle  
éprouvée  
utile

...

# La vision comme métaphore de la modélisation :

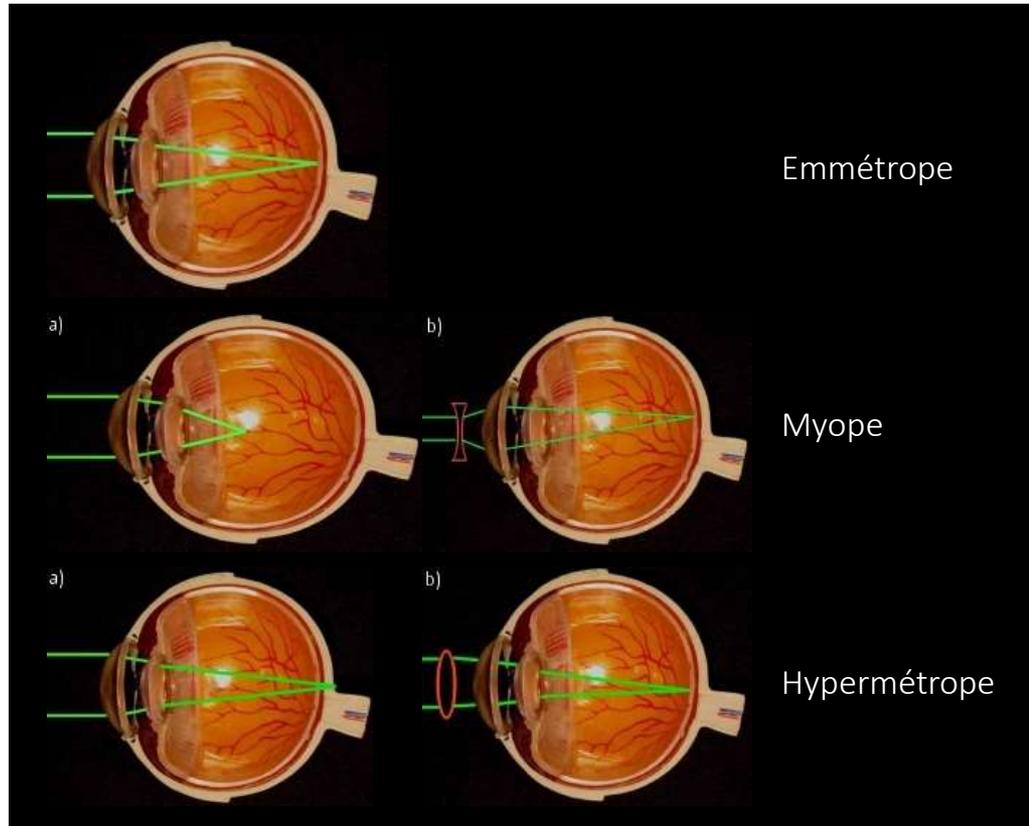
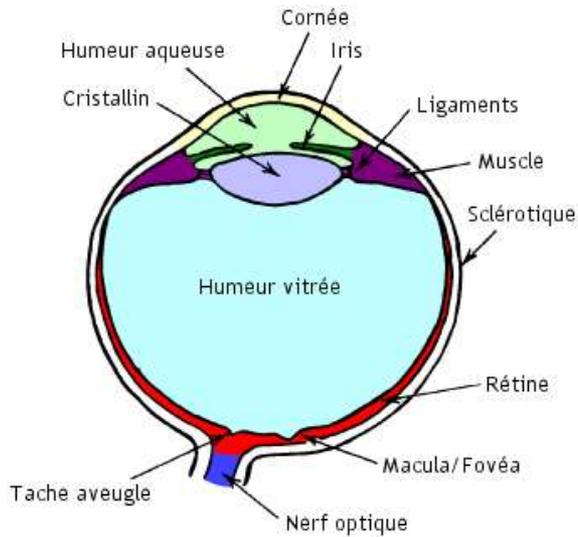
Le système visuel humain utilise deux fonctionnements :

- vision fovéale (focalisée)
- et vision périphérique (globale)

Tentons l'analogie avec nos capacités de modéliser :

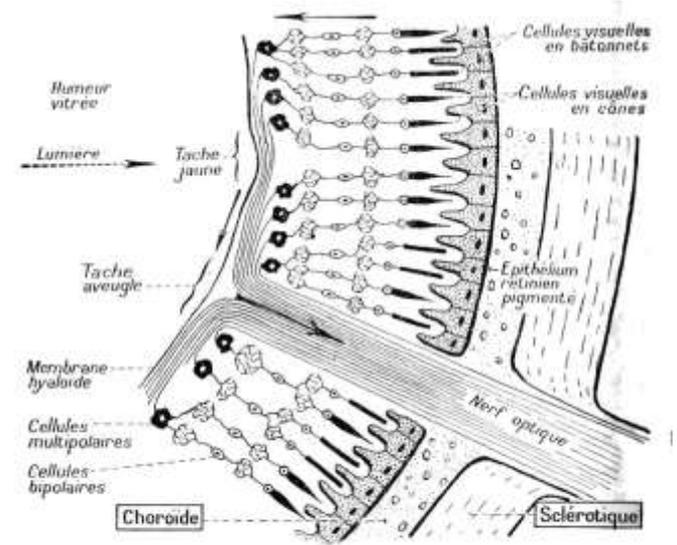
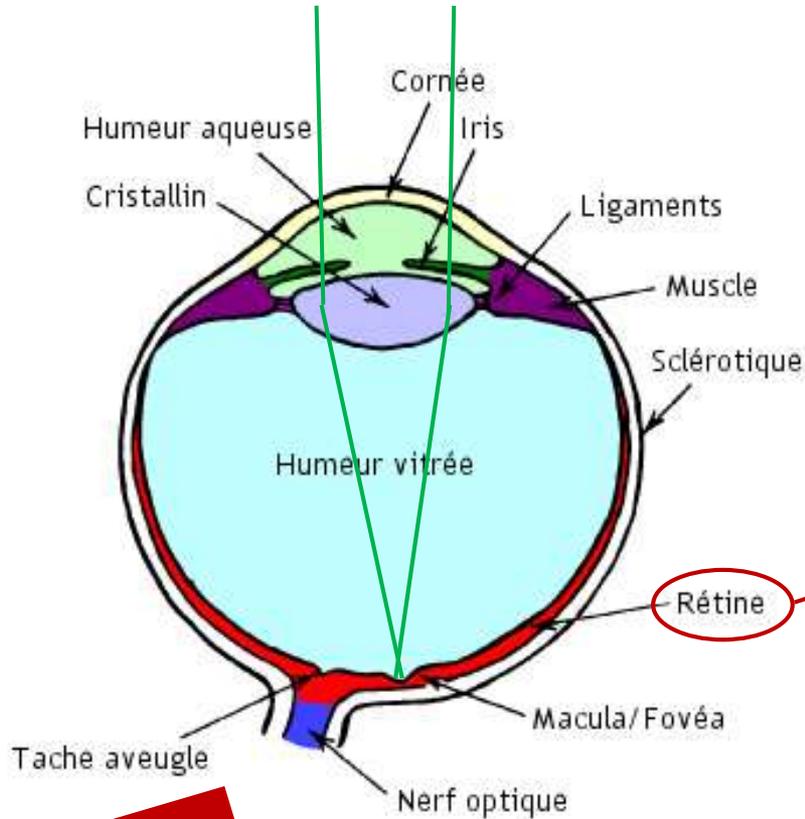
- analytique → connu → Descartes & la suite du cours
- globale → ?? → Bachelard & la suite de la suite

# La vision comme métaphore de la modélisation :



**PASSER**

# Œil droit (en coupe, vue du dessus)



*Schéma montrant la structure de la rétine. L'épaisseur de la rétine est beaucoup exagérée par rapport à celles de la choroïde et de la sclérotique et l'on n'a pas figuré tous les prolongements des cellules multipolaires. Les flèches indiquent le sens de propagation de l'influx nerveux.*

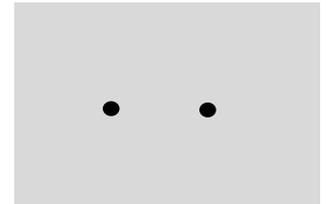
**PASSER**



## Action : quelques exercices 😊

### Tache aveugle

- dessinez deux points écartés de 8-10 cm
- fermez l'œil gauche et fixez le point gauche avec l'autre œil
- approchez et éloignez la feuille...



### Cônes et bâtonnets (version simplifiée)

- fermez les yeux
- prenez un crayon dans la trousse de votre voisin.e
- placez-le à côté de votre oreille
- ouvrez les yeux en regardant droit devant vous
- avancez le crayon jusqu'à le voir (ne bougez pas les yeux)
- de quelle couleur est-il ?



**PASSER**

# La vision comme métaphore de la modélisation :

Le système visuel humain utilise deux fonctionnements :

- vision fovéale (focalisée)
- et vision périphérique (globale)

Tentons l'analogie avec nos capacités de modéliser :

- analytique → connu → Descartes & la suite du cours
- globale → ?? → Bachelard & la suite de la suite

... et avec la latéralisation du fonctionnement cérébral :

- hémisphère gauche : raisonnement analytique, classification, sens du détail
- hémisphère droit : pensée analogique, sensibilité artistique, sens de la globalité...

**PASSER**

compliqué, complexe ?

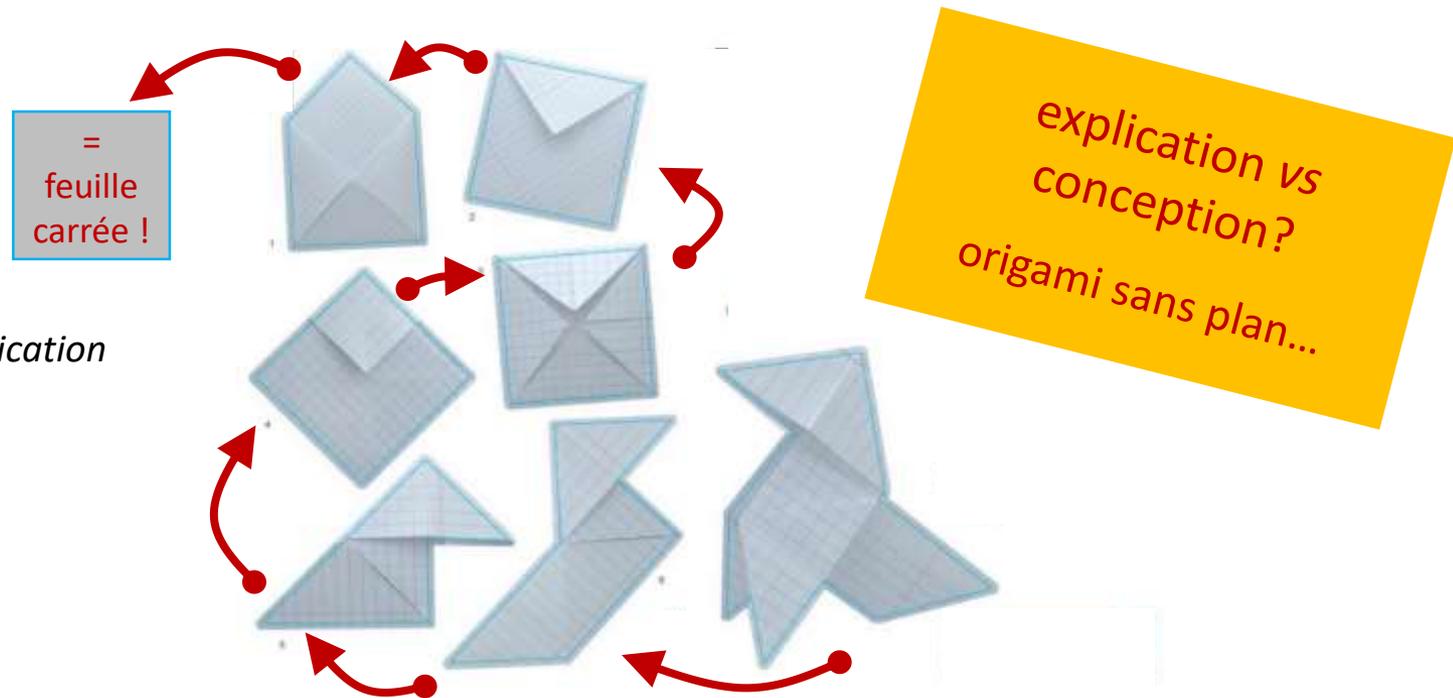
*compliqué*, complexe ?

## Problèmes compliqués :

« La complication n'exprime à la limite qu'un grand nombre d'étapes ou d'instructions pour décrire, spécifier et construire un système à partir de ses constituants. En ce sens, la complication est un attribut des systèmes artificiels, construits, ou au moins constructibles, par l'homme qui en connaît et comprend totalement la structure et le fonctionnement. Elle est mesurable à partir des épures, plans et programmes qui spécifient dans les détails la construction éventuelle du système. Très souvent, aujourd'hui, la complication est mesurée par un temps de calcul d'ordinateur nécessaire pour réaliser un programme : plus ce temps est long (en travaillant avec le même ordinateur), plus le programme, et donc le système qu'il spécifie, est compliqué. »

# Problèmes compliqués :

En d'autres termes, un problème **com**pliqué peut s'**ex**pliquer.

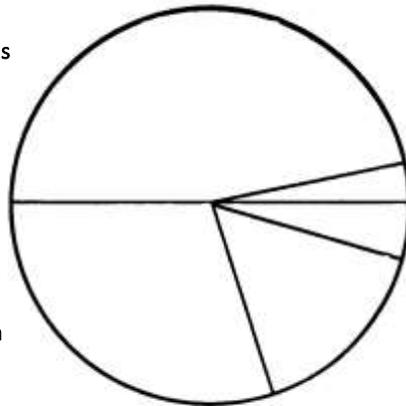


# Problèmes compliqués :

**PASSER**

## Génie logiciel

Logiciel livré mais jamais utilisé avec succès :  
\$ 3.2 millions



Logiciel utilisé tel que livré :  
\$ 118000

Logiciel utilisé après modifications :  
\$ 196000

Logiciel utilisé mais refundé ou abandonné plus tard :  
\$ 1.3 million

Logiciel payé mais non livré :  
\$ 1.95 million

causes	projet								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Le donneur d'ordre a surestimé son savoir-faire.	X	X				X		X	
Mauvaise organisation du donneur d'ordre (ex: contrat inapproprié).			X	X		X		X	
Mauvaises spécifications.	X	X		X		X	X	X	X
Trop de confiance du donneur d'ordre.								X	X
Manque d'organisation pendant le projet. Modifications excessives.	X	X				X	X		X
Manque d'inspections et de tests adéquats.	X	X	X			X		X	

Coût de la non-qualité – Neuf grands projets « gestion » de l'administration américaine (\$ 6.8 millions) + les causes d'échec de ces neuf projets.

Source: Patrick Jaulent, « Génie logiciel, les méthodes - Sadt, Sa, E-A, Sa-Rt » Edt. Armand Colin, 1994

Voir aussi sur google : COQ = CNQ, coût d'obtention de la qualité, coût de la non-qualité...

# Problèmes compliqués :

**PASSER**

## **PROBLÈMES RENCONTRÉS DANS LES LOGICIELS TEMPS RÉEL EMBARQUÉS**

- Mission Vénus : Passage à 500 000 km au lieu de 5 000 km (remplacement d'une virgule par un point);
- avion F16 déclaré sur le "dos" au passage de l'Équateur;
- faux départ de la première navette spatiale (manque de synchro entre deux calculateurs);
- non-reconnaissance par la marine anglaise de l'Exocet dans la guerre des Malouines (Exocet non répertorié comme missile ennemi);
- fusée russe pointant Hambourg au lieu du Pôle Nord (erreur de signe, d'où erreur de 180° du système de navigation);
- 72 ballons détruits par un satellite météorologique.

## **PROBLÈMES RENCONTRÉS DANS LES LOGICIELS TEMPS RÉEL AU SOL**

- Fusée à l'eau (données communiquées avec une mauvaise unité);
- métro "Fantôme" à San Francisco (erreur non détectée à ce jour);
- décès de malades dans un hôpital (erreurs de programme monitoring);
- déclenchement du système de détection américain des missiles stratégiques (la Lune montant de l'horizon considérée comme un OVNI);
- inondation en 1983 de la vallée du Colorado River (mauvaise modélisation du temps d'ouverture du barrage).



# Problèmes compliqués :

## 23 septembre 1999 : la sonde Mars Orbiter s'écrase sur Mars

*Mars Climate Orbiter* doit effectuer sa manœuvre d'insertion en orbite autour de Mars. Peu avant que la sonde ne survole la planète, la propulsion principale doit fonctionner en continu un peu moins de 17 minutes afin de réduire suffisamment sa vitesse pour qu'elle soit capturée par le champ gravitationnel de Mars. La procédure est entièrement automatique. Peu après le début de la manœuvre, la liaison radio est coupée durant 20 minutes car la sonde passe derrière Mars. La mise à feu du propulseur principal et la réduction de la vitesse sont bien enregistrées par les ingénieurs sur Terre, puis la liaison radio est coupée comme prévu vers 11 h 06. Toutefois, aucun signal n'est reçu à l'heure où la sonde doit réapparaître (11 h 27). L'engin, n'ayant pas repris de contact radio par la suite, est considéré le lendemain comme perdu. Très rapidement, les ingénieurs de la NASA se rendent compte que la trajectoire suivie par la sonde la faisait passer à une altitude beaucoup trop faible au-dessus de la surface de Mars. Au lieu de survoler le pôle au moment de son freinage à 193 km de hauteur, elle est en fait passée à 57 km. À cette altitude, l'atmosphère est beaucoup trop dense pour que la sonde, qui circule à 5-6 km/s, survive. Celle-ci a dû se transformer en une boule de feu au fur et à mesure de son approche de Mars.

Une commission est constituée pour détecter l'origine de cette anomalie de trajectoire. Les enquêteurs fournissent leurs conclusions dès le 29 octobre (le rapport sera publié le 1<sup>er</sup> février 2000).

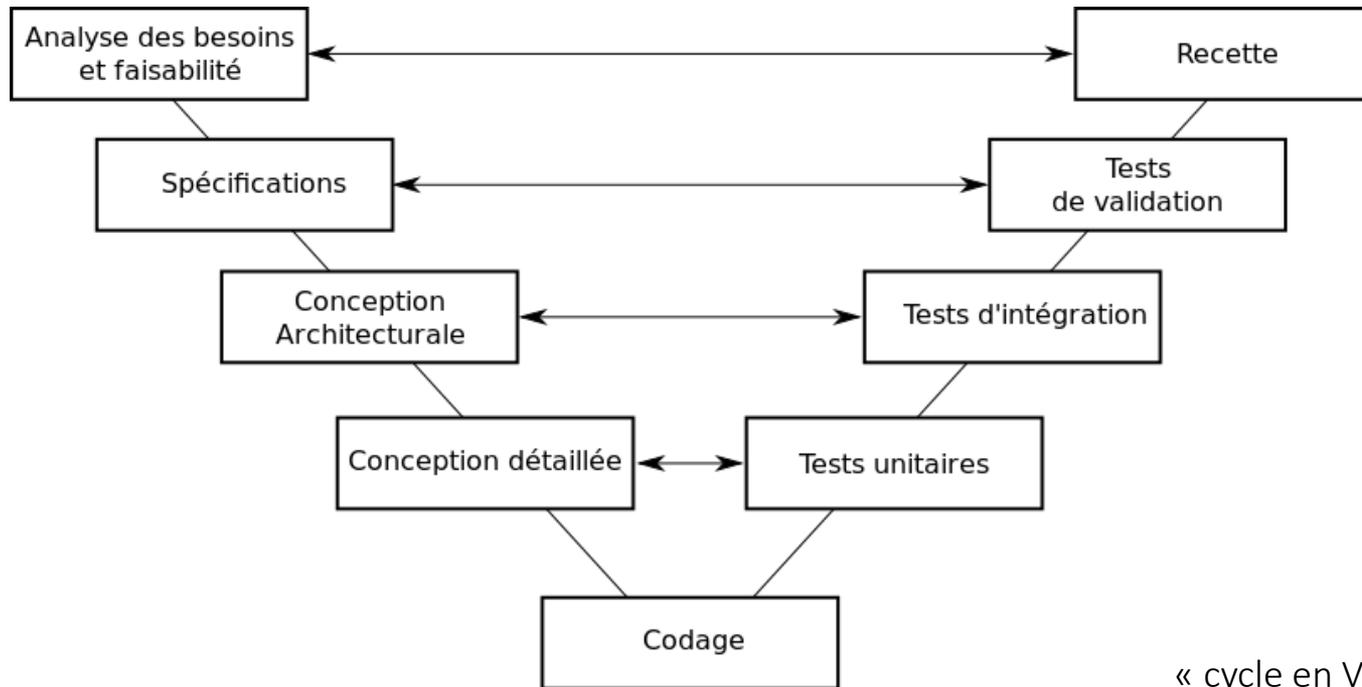
Un logiciel développé par les ingénieurs de Lockheed, concepteurs de la sonde, communiquait la poussée des micro propulseurs en unités de [mesure anglo-saxonnes](#) (livre-force / seconde), tandis que le logiciel de l'équipe de navigation du JPL qui recevait ces données pour les calculs des corrections de trajectoire attendait des données en unités du [système métrique](#) (Newton · seconde). Les petites corrections de trajectoire effectuées au cours du transit vers Mars effectuées sur la base des calculs erronés avaient à chaque fois rapproché un peu plus la sonde de la surface de Mars et entraîné finalement la destruction de la sonde.

Voir aussi [4 juin 1996](#), Vol 501 d'Ariane 5 (explosion suite à un dépassement d'entiers dans le système de guidage)

# Problèmes compliqués :

**PASSER**

→ Solution du Génie Logiciel : 'normaliser' le cycle de vie du système

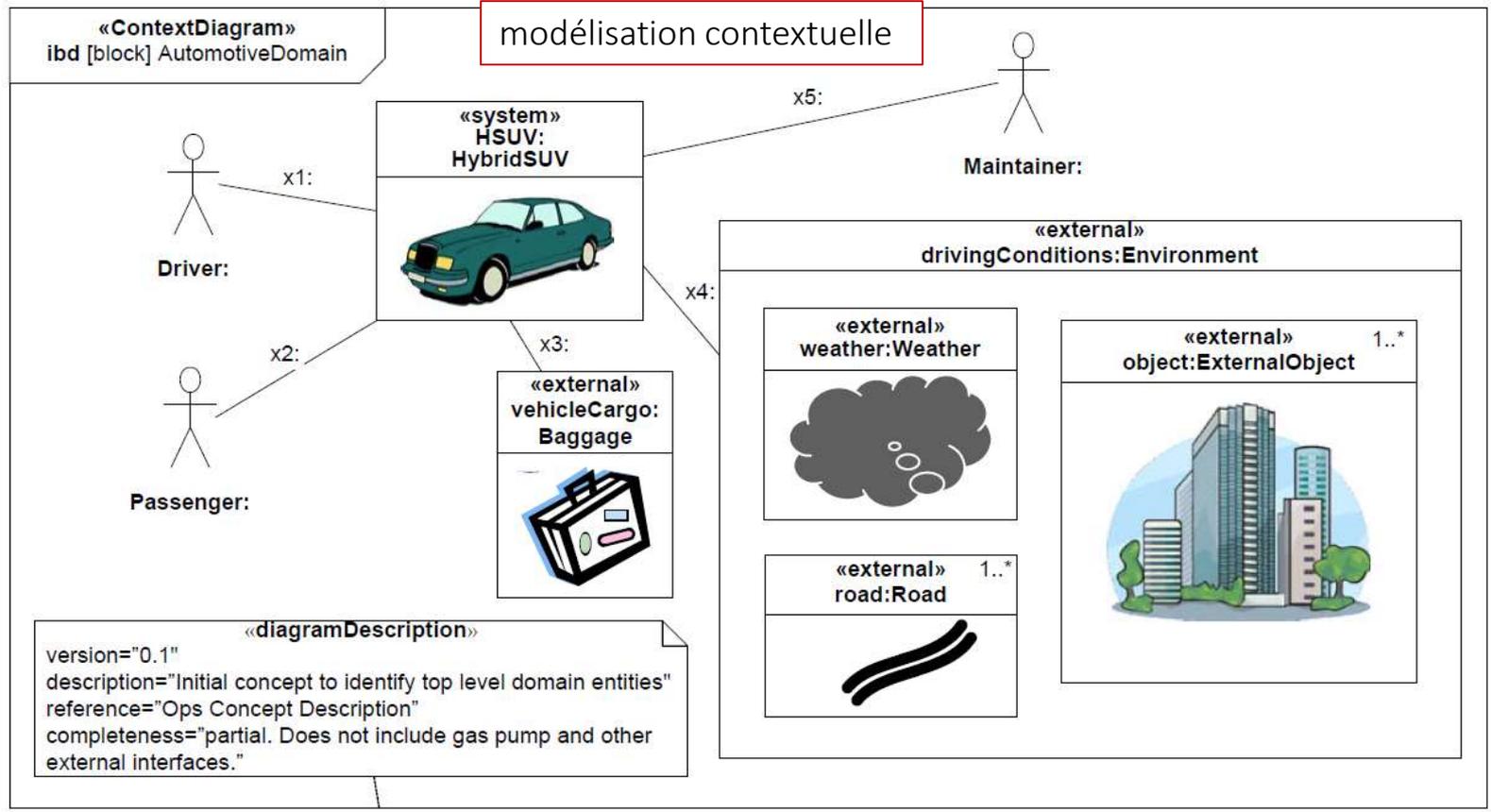


« cycle en V »

# Problèmes compliqués :



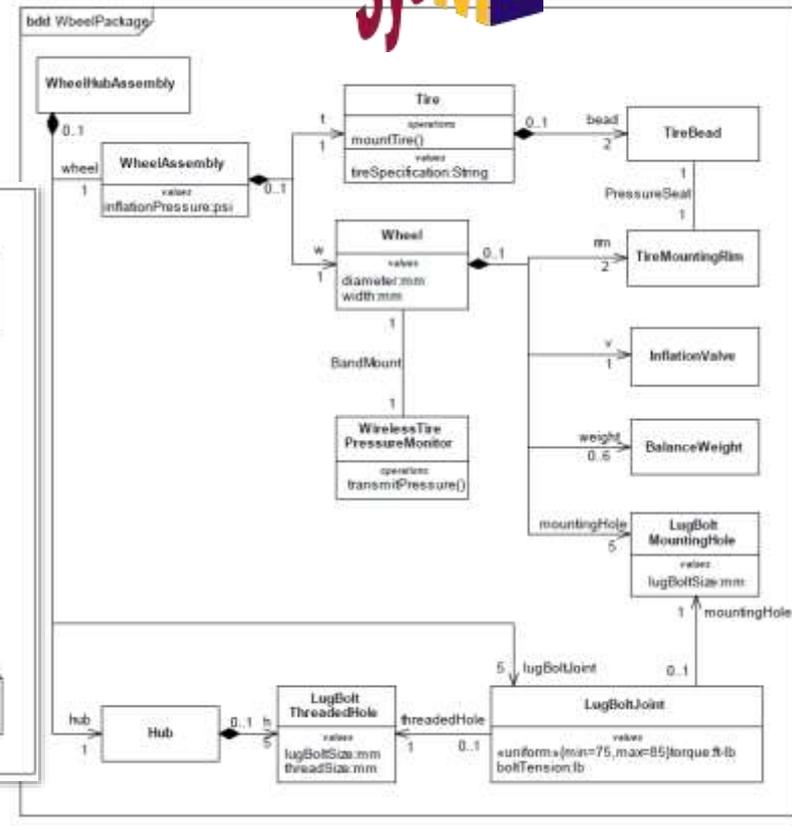
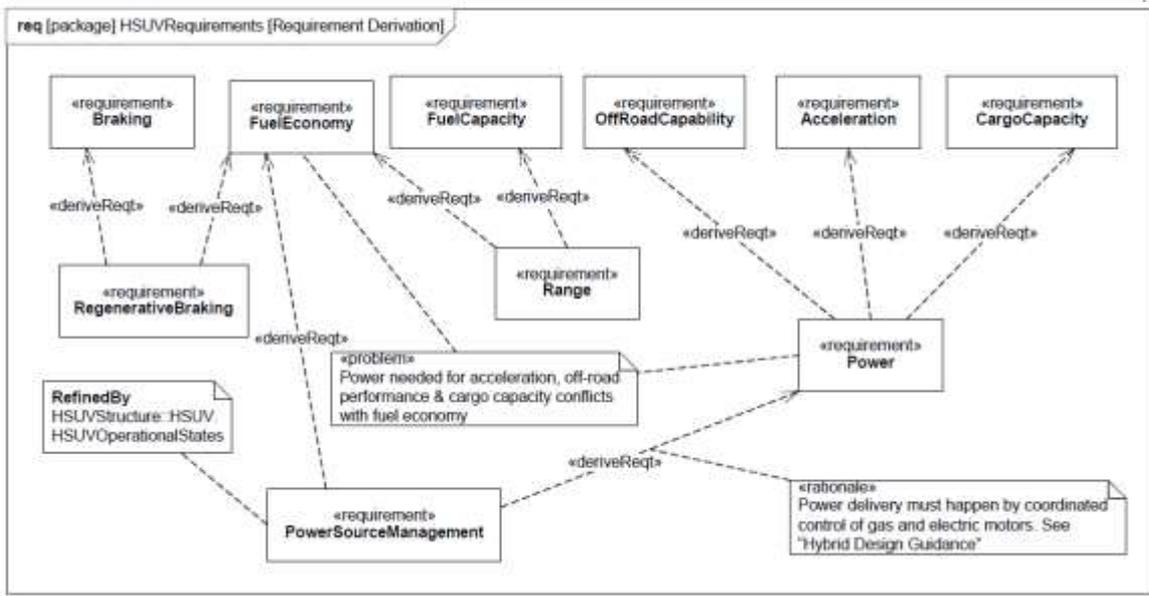
→ SysML (Systems Modeling Language)



# Problèmes compliqués :

→ SysML (Systems Modeling Language)

... puis modélisation par blocs



PASSER

## Problèmes compliqués :

« Ainsi, au lieu de ce grand nombre de préceptes dont la logique est composée, je crus que j'aurais assez des quatre suivants, pourvu que je prisse une ferme et constante résolution de ne manquer pas une seule fois à les observer.

- Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle, c'est-à-dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit que je n'eusse aucune occasion de la mettre en doute.
- Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.
- Le troisième, de conduire par ordre mes pensées en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant de même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement.
- Et le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre. »



PASSER

## Problèmes compliqués :

« Ainsi, au lieu de ce grand nombre de préceptes dont la logique est composée, je crus que j'aurais assez des quatre suivants, pourvu que je prisse une ferme et constante résolution de ne manquer pas une seule fois à les observer.

- Le premier était de ne recevoir jamais aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle, c'est-à-dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention, et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit que je n'eusse aucune occasion de la mettre en doute.
- Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.
- Le troisième, de conduire par ordre mes pensées en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant de même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement.
- Et le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre. »



*évidence*

*décomposition*

*recomposition*

*exhaustivité*

PASSER

## Problèmes compliqués :

« Ainsi, au lieu de ce grand nombre de préceptes dont la logique est composée, je crus que j'aurais assez des quatre suivants, pourvu que je prisse une ferme et constante résolution

- Le premier, de ne recevoir jamais aucune idée pour vraie que je ne la voye clairement et distinctement en moi-même.

Exercice: dessinez le principe de décomposition / recomposition...

que je ne la voye  
clairement et  
distinctement  
en moi-même.  
Les jugements  
sont si évidents  
que je n'aie  
rien de douteux  
dans mon esprit que je  
sois assuré de  
ne les point  
commettre.

- Le second, de diviser chacune des difficultés que j'examinerais en autant de parcelles qu'il se pourrait et qu'il serait requis pour les mieux résoudre.
- Le troisième, de conduire par ordre mes pensées en commençant par les objets les plus simples et les plus aisés à connaître, pour monter peu à peu comme par degrés jusques à la connaissance des plus composés, et supposant de même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement.
- Et le dernier, de faire partout des dénombrements si entiers et des revues si générales que je fusse assuré de ne rien omettre. »



*évidence*

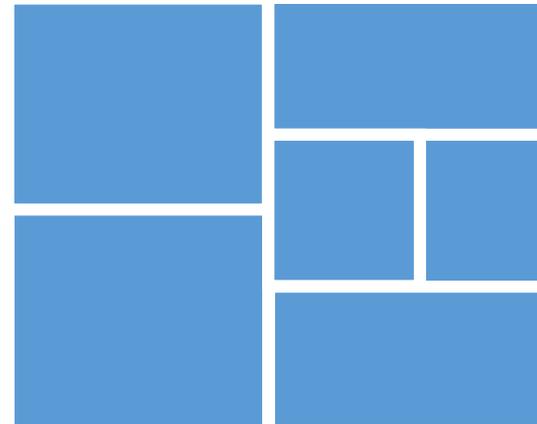
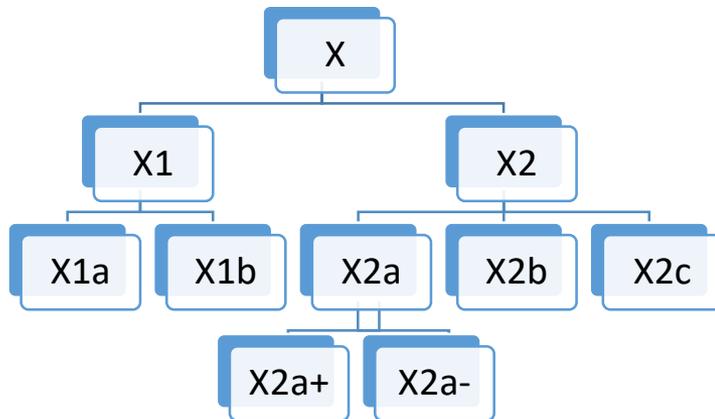
*décomposition*

*recomposition*

*exhaustivité*

PASSER

Problèmes compliqués :  
décomposition / recomposition...

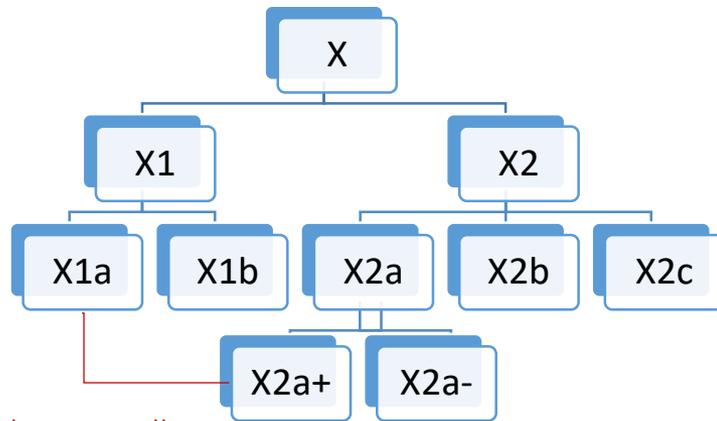


PASSER

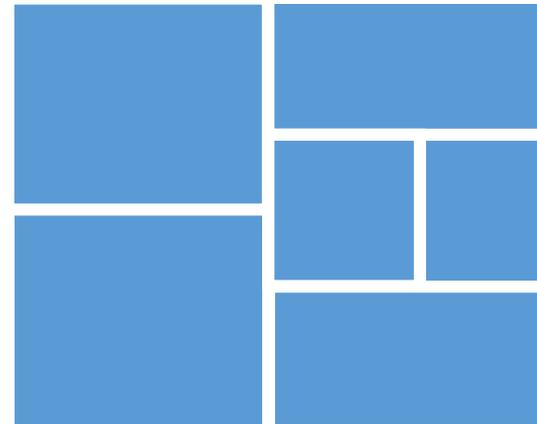
# Problèmes compliqués :

décomposition / recomposition...

« supposant de même de l'ordre entre ceux qui ne se précèdent point naturellement » ?



arbre → treillis



*NB : le tout est-il réductible à la somme de ses parties ?*

# Décomposition : les outils de « la » logique

3 axiomes d'Aristote :

- Identité : « ce qui est, est »  $a = a$
- Non-contradiction : « rien de peut être et ne pas être »  $a \cdot \bar{a} = 0$
- Tiers exclus : « tout doit être ou ne pas être »  $a + \bar{a} = 1$

→ *logique aristotélicienne*

→ *ou exclusif*  $a \oplus \bar{a} = 1$

→ *principe de Shannon et décomposition canonique*  $f(a, b, c \dots) = \bar{a}f(0, b, c \dots) \oplus af(1, b, c \dots)$

PASSER

## Une vision critique...

3 axiomes d'Aristote :

- Identité : « ce qui est, est »  $a = a$
- Non-contradiction : « rien de peut être et ne pas être »  $a.\bar{a} = 0$
- Tiers exclus : « tout doit être ou ne pas être »  $a + \bar{a} = 1$

PASSER

## Une vision critique...

3 axiomes d'Aristote :

- Identité : « ce qui est, est »  $a = a$
- Non-contradiction : « rien de peut être et ne pas être »  $a \cdot \bar{a} = 0$
- Tiers exclus : « tout doit être ou ne pas être »  $a + \bar{a} = 1$

*Identité :  $a = a$  pour toujours ? pour tout le monde ?*

*L'expression « il a changé » est en soi contradictoire. C'est plutôt que quelque chose de 'il', qui en est une propriété secondaire, a changé. Dans la philosophie grecque, il y a contradiction entre 'identité' et 'changement'. L'identique (le sujet de  $a = a$ ) est ce qui est sous le changement et qui ne change pas.*

*NB: le mot « identité » est très à la mode en politique, cf. Francois Jullien « Il n'y a pas d'identité culturelle » 2016, ou France Culture, la Conversation scientifique par Etienne Klein, 5 août 2017. Le propre de la culture est de se transformer, réfléchir en termes d'écart (qui maintient en regard) plutôt que de différence (qui isole)...*

PASSER

## Une vision critique...

3 axiomes d'Aristote :

- Identité : « ce qui est, est »  $a = a$
- Non-contradiction : « rien de peut être et ne pas être »  $a \cdot \bar{a} = 0$
- Tiers exclus : « tout doit être ou ne pas être »  $a + \bar{a} = 1$

*Non contradiction vs Tiers inclus => cf. théorie des ensembles (suite du cours)*

PASSER

## Problèmes compliqués :

Auguste Comte (1798-1857), « le compléteur de Descartes »

« Nous avons donc exactement déterminé dans cette leçon, non d'après de vaines spéculations arbitraires, mais en le regardant comme le sujet d'un véritable problème philosophique, le plan rationnel qui doit nous guider constamment dans l'étude de la philosophie positive. En résultat définitif, la mathématique, l'astronomie, la physique, la chimie, la physiologie et la physique sociale : telle est la formule encyclopédique qui, parmi le très grand nombre de classifications que comportent les six sciences fondamentales, est seule logiquement conforme à la hiérarchie naturelle et invariable des phénomènes. Je n'ai pas besoin de rappeler l'importance de ce résultat, que le lecteur doit se rendre éminemment familier, pour en faire dans toute l'étendue de ce cours une application continuelle.

La conséquence finale de cette leçon, exprimée sous la forme la plus simple, consiste donc dans l'application et la justification du grand tableau synoptique placé au commencement de cet ouvrage, et dans la construction duquel je me suis efforcé de suivre, aussi rigoureusement que possible, pour la distribution intérieure de chaque science fondamentale, le même principe de classification qui vient de nous fournir la série générale des sciences. »



# CLASSIFICATION DES CONNAISSANCES HUMAINES,

OU

## TABLEAUX SYNOPTIQUES DES SCIENCES ET DES ARTS.

**PASSER**

PREMIER TABLEAU.

Division de toutes nos connaissances en deux règnes, et de chaque règne en sous-règnes et en embranchemens.

PREMIER RÈGNE.			SECOND RÈGNE.		
RÈGNE.	SOUS-RÈGNES.	EMBRANCHEMENS.	RÈGNE.	SOUS-RÈGNES.	EMBRANCHEMENS.
A. SCIENCES COSMOLOGIQUES.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cosmologiques proprement dites.</li> <li>Physiologiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Mathématiques.</li> <li>II. Physiques.</li> <li>III. Naturelles.</li> <li>IV. Médicales.</li> </ul>	B. SCIENCES NOOLOGIQUES.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nologiques proprement dites.</li> <li>Sociales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>I. Philosophiques.</li> <li>II. Dialectiques.</li> <li>III. Ethnologiques.</li> <li>IV. Politiques.</li> </ul>

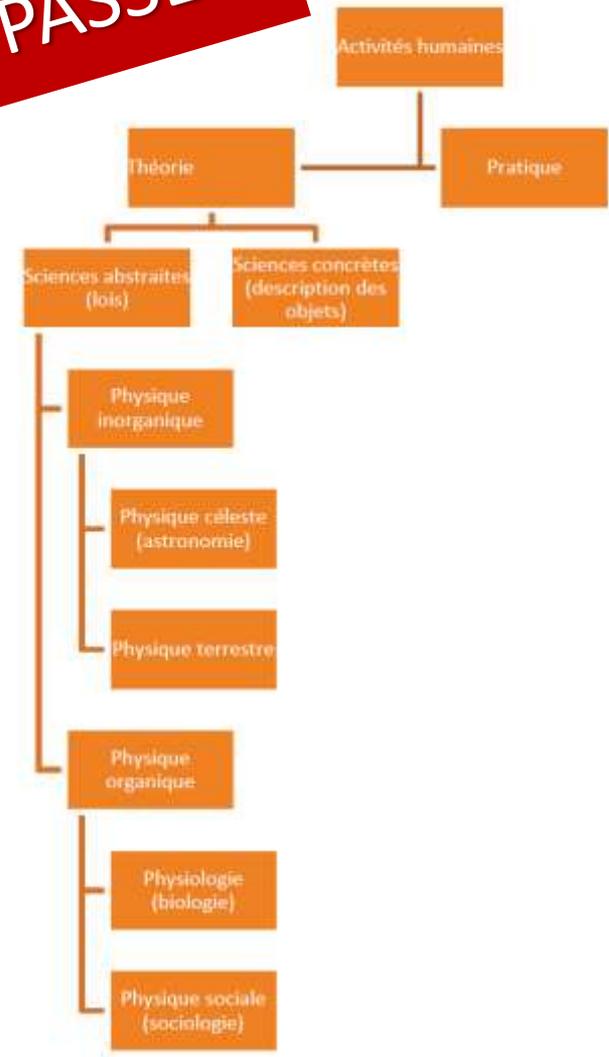
SECOND TABLEAU.

Division de chaque embranchement en sous-embranchemens et en sciences du premier ordre.

PREMIER RÈGNE.			SECOND RÈGNE.				
EMBRANCHEMENS.	SOUS-EMBRANCHEMENS.	SCIENCES DU PREMIER ORDRE.	EMBRANCHEMENS.	SOUS-EMBRANCHEMENS.	SCIENCES DU PREMIER ORDRE.		
A	I. SCIENCES MATHÉMATIQUES.	Mathématiques proprement dites.	1. Arithmologie.	I. SCIENCES PHILOSOPHIQUES.	Philosophiques proprement dites.	1. Psychologie.	
		Physico-mathématiques.	2. Géométrie.		Morales.	2. Métaphysique.	
	II. SCIENCES PHYSIQUES.	Physiques proprement dites.	3. Mécanique.	II. SCIENCES DIALECTIQUES.	Dialectiques.	3. Éloque.	3. Histoire.
		Géologiques.	4. Uranologie.		Diagmatiques proprement dites.	4. Théologie.	4. Géologie.
III. SCIENCES PHYSIOLOGIQUES.	Phylogiques.	1. Physique générale.	III. SCIENCES ETHNOLOGIQUES.	Ethnologiques proprement dites.	1. Ethnologie.	1. Ethnologie.	
	Zoologiques.	2. Technologie.		Historiques.	2. Écosomie politique.	2. Écosomie politique.	2. Écosomie politique.
IV. SCIENCES MÉDICALES.	Physico-médicales.	3. Géologie.	IV. SCIENCES POLITIQUES.	Cybernetiques.	3. Littérature.	3. Art militaire.	
	Nologiques.	4. Oryctotechnie.		4. Technesthétique.	4. Politique.	4. Politique.	4. Politique.

TROISIÈME TABLEAU.

Division de chaque science du premier ordre en sciences du second et du troisième ordre.



« mais, c'est une méprise de M. Comte de ne jamais laisser de questions ouvertes. »  
John Stuart Mill (1806-1873)

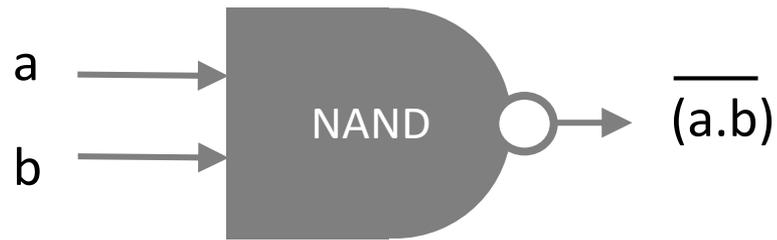
Or, cet esprit consiste toujours dans cette inévitable subordination naturelle de la femme envers l'homme, dont tous les âges de la civilisation reproduisent, sous des formes variées, l'ineffaçable caractère, et que la nouvelle philosophie politique saura définitivement préserver de toute grave tentative anarchique,

A.C., CPP Vol. 4, p. 405

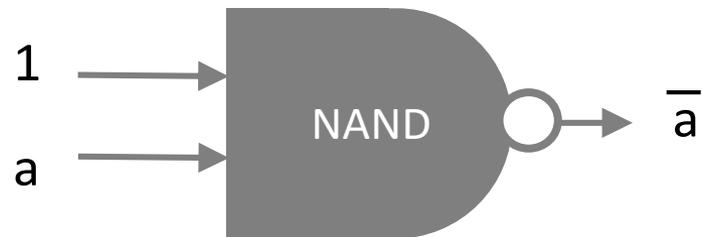
« philosophie positive », 1830-1842.

compliqué, *complexe* ?

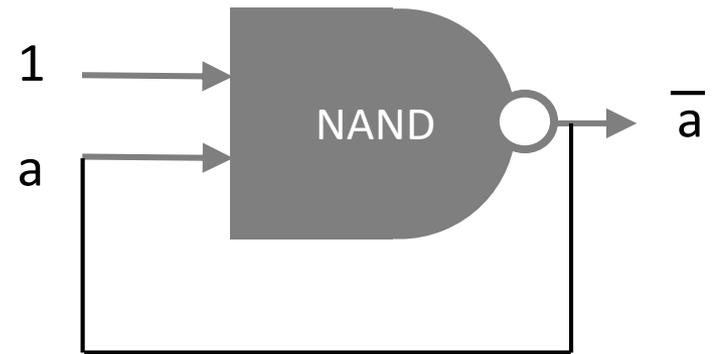
# Problème compliqué ?



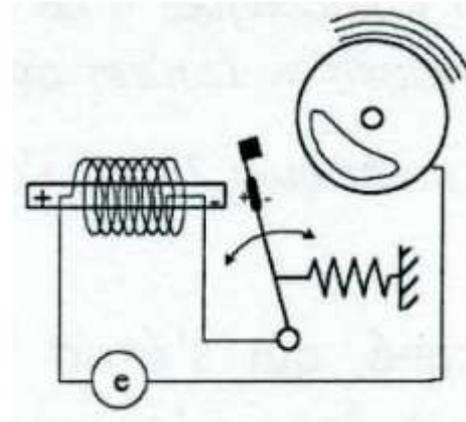
pas « compliqué ».



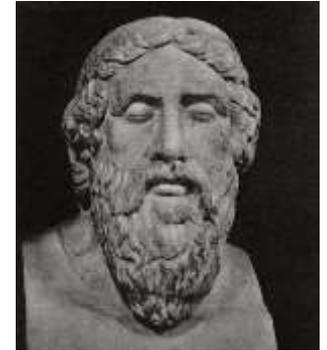
$a = a$  versus  $a := a$  (cf. axiome d'identité)



toujours pas « compliqué »... mais difficile quand même



# Problème pas compliqué ?



« Cette phrase est fausse. »

*Paradoxe d'Épiménide le Crétois*

« Quelqu'un d'entre eux [les Crétois], leur propre prophète [Épiménide le Crétois], a dit : « Les Crétois sont toujours menteurs, de méchantes bêtes, des ventres paresseux ». »

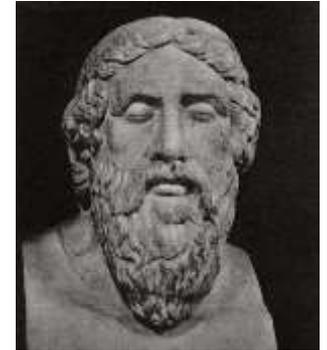
*Paul de Tarse, Épître à Tite, 1 – 12*

« Celui qui dit qu'il ment est-il menteur ? Si vous répondez affirmativement, on en conclut qu'il ne ment pas, puisqu'il était dans le vrai en disant qu'il mentait. »

*Eubulide, IV<sup>e</sup> s. av. J.-C.*

# Problème pas compliqué ?

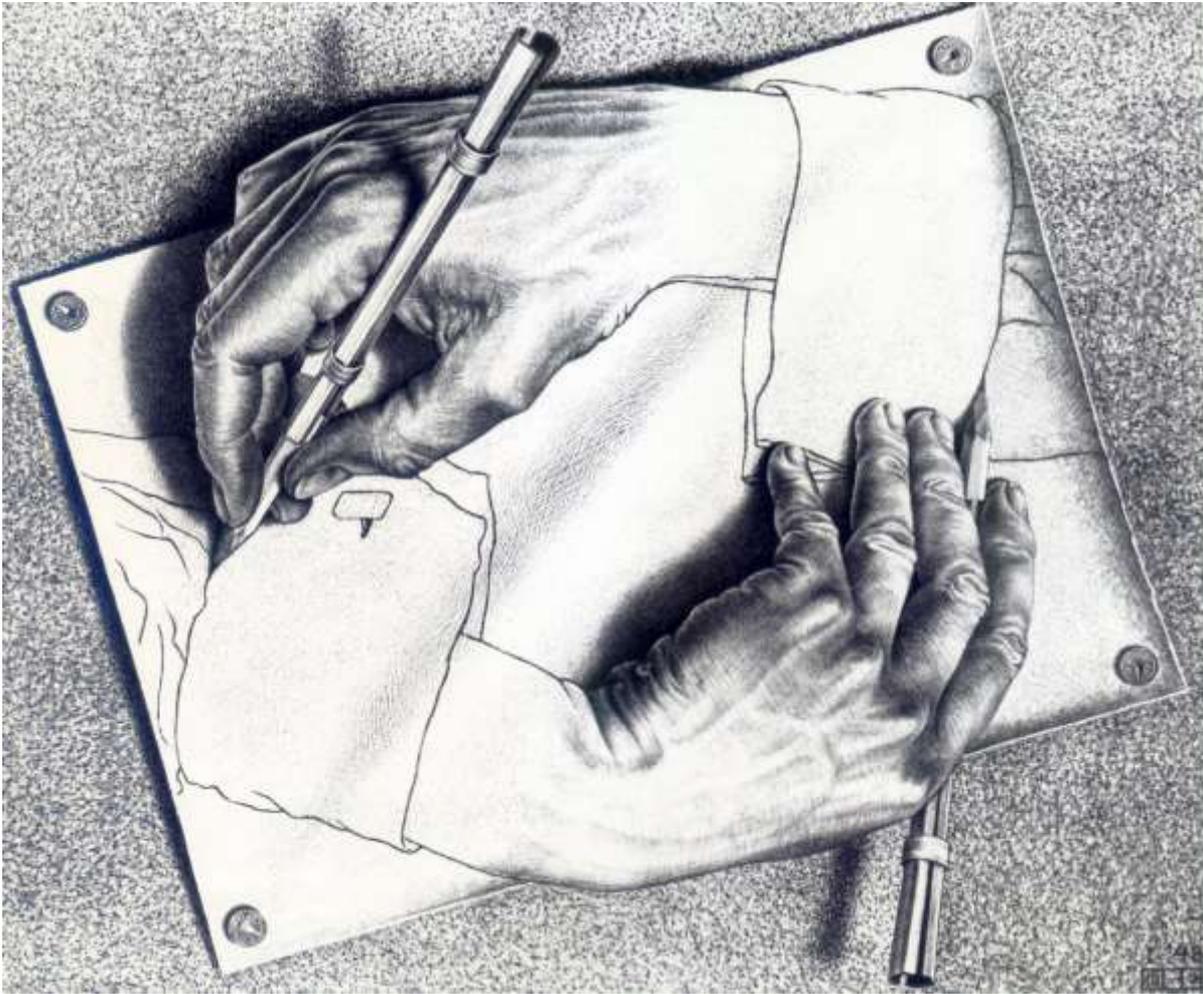
- (1) « Cette phrase contient cinq mots. »
- (2) « Cette phrase est sans signification car auto-référentielle. »
- (3) « Cette phrase pas de verbe. »
- (4) « Cette phrase est fausse. »
- (5) « La phrase que je suis en train d'écrire est celle que vous êtes en train de lire. »



# Complexité :

« La complexité est reconnue comme une notion négative : elle exprime qu'on ne connaît pas, ou qu'on ne comprend pas un système, malgré un fond de connaissance global qui nous fait reconnaître et nommer ce système.

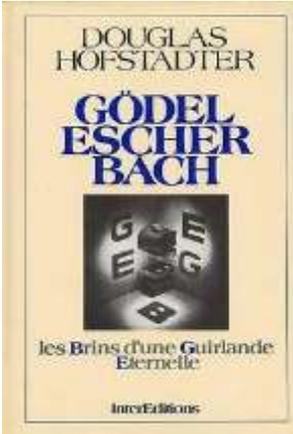
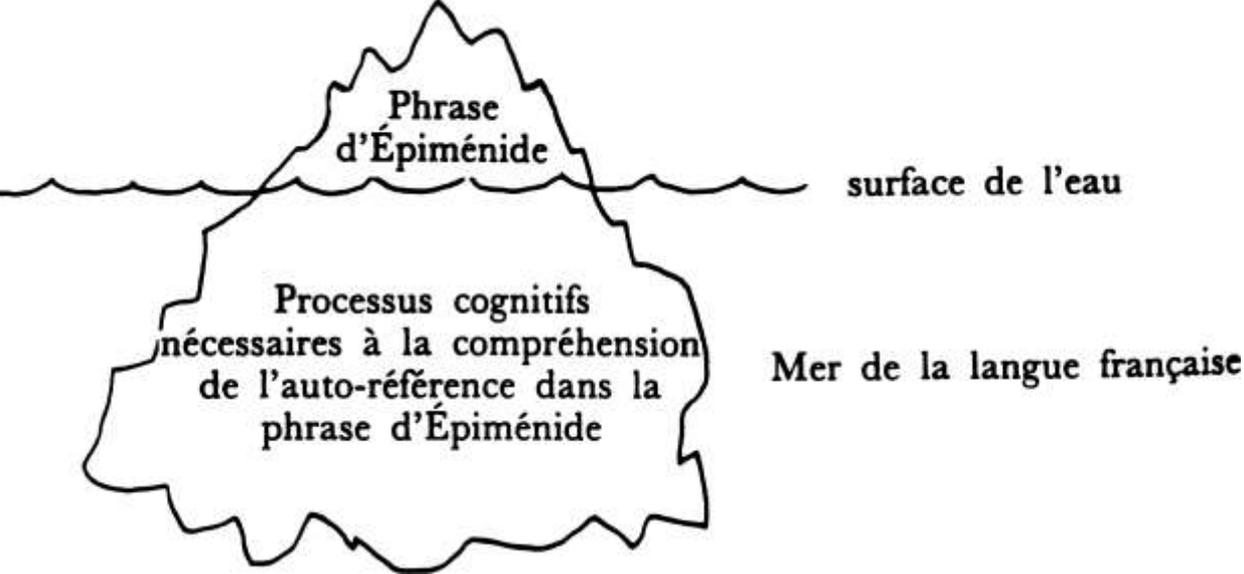
Un système qu'on peut spécifier explicitement, dont on connaît la structure détaillée, n'est pas vraiment complexe. Disons qu'il peut être plus ou moins compliqué. La complexité implique qu'il y ait une perception globale, avec en même temps la perception qu'on ne la maîtrise pas dans ses détails. C'est pourquoi on la mesure par l'information qu'on ne possède pas et dont on aurait besoin pour spécifier le système en ses détails. »



*Maurits Cornelis Escher (1898-1972)*

CASSINIA  
EST  
STEPH  
A

PASSER



Douglas R. Hofstadter : Gödel, Escher, Bach : Les Brins d'une Guirlande Eternelle (1979).

PASSER

DOUGLAS  
HOFSTADTER

GÖDEL  
ESCHER  
BACH



les Brins d'une Guirlande  
Eternelle

InterEditions

DOUGLAS HOFSTADTER

GÖDEL ESCHER BACH

les Brins d'une Guirlande Eternelle





# complexité

*cum-plexus*

*plectere* = entrelacer, tisser, enchevêtrer

perplexité

*cum-plicare*

*plicare* = plier

explication



Bertrand Russell

C'est d'ailleurs pour éviter l'apparition de tels paradoxes dans les mathématiques que Russell et Whitehead ont bâti les *Principia Mathematica*, ouvrage que Douglas Hofstadter (dans son « Gödel, Escher et Bach, les brins d'une Guirlande Eternelle ») qualifie de « gigantesque entreprise d'éradication des boucles étranges de la logique, de la théorie des ensembles et de la théorie des nombres ».

Tout cela était parti de la théorie des ensembles, fondée par Cantor en 1880<sup>iii</sup>.

En 1903, cette théorie ensembliste commençait à rencontrer un certain succès, lorsque Bertrand Russell lui opposa son fameux paradoxe, dans lequel l'autoréférence se trouvait confrontée à la non-contradiction et au tiers exclus (encore ces deux là, me direz-vous !):

- *Un ensemble auto-inclusif (on devrait plutôt dire : auto-appartenant) est un ensemble qui est aussi un de ses éléments (on pourrait aussi écrire  $E \in E$ , ce qui est assez différent de  $E \subset E$ , non?). Par exemple, l'ensemble des ensembles est un ensemble. L'ensemble « tout sauf Jeanne d'Arc » est auto-inclusif : il n'est pas Jeanne d'Arc (sauf erreur de ma part).*
- *La plupart des ensembles ne sont pas « auto-inclusifs ». Ils sont « non-auto-inclusifs », ou encore... quelconques (et c'est plus simple). Exemple : l'ensemble des baleines n'est pas une baleine. L'ensemble des baleines est quelconque.*
- *Notre amie la Non-contradiction nous affirme : « aucun ensemble ne peut être à la fois auto-inclusif et quelconque ».*
- *Son compère le Tiers exclus ajoute : « soit un ensemble est un élément de lui même, soit il ne l'est pas ».*
- *Donc tout ensemble doit être auto-inclusif ou quelconque. Voilà donc un beau « xor ».*

# Tout ça c'est pas du bla bla.

- *Soit  $Q$  l'ensemble des ensembles quelconques.  $Q$  est-il quelconque ou auto-inclusif ? Eh bien, cher correspondant, il n'est ni l'un ni l'autre.*
- *En effet, s'il est auto-inclusif, cela signifie que « l'ensemble des ensembles quelconques est quelconque ». Il n'est donc pas auto-inclusif.*
- *S'il est quelconque, il ne se contient pas lui-même, et « l'ensemble des ensembles quelconques est auto-inclusif ». Il n'est donc pas quelconque.*
- *Alors, il est quoi ? Pathologique ?*

Henri Poincaré, qui s'était fait jusque-là le promoteur de la théorie des ensembles, jugea qu'elle devait être mise au placard (bien qu'il ne le dît pas aussi crûment que je le fais...). L'algébriste Richard Dedekind (grand ami de Georg Cantor) arrêta de publier ses travaux sur la théorie des nombres. Le paradoxe de Russell fit ainsi une irruption remarquée dans le monde des mathématiciens, remarquée de façon souvent fort déplaisante : Gottlob Frege, un Allemand qui terminait de rédiger un livre sur la fondation de l'arithmétique par la théorie ensembliste, en témoigne dans sa postface :

*« Un scientifique peut difficilement être confronté à une situation plus désagréable que celle de voir les bases de son travail disparaître au moment précis où ce travail est achevé. J'ai été mis dans cette situation par une lettre de Bertrand Russell, alors que le livre était quasiment sous presse. »*

# Tout ça c'est pos du bla bla.



FIGURE 9. Kurt Gödel avec un paysan non identifié.

*Il n'existe aucune axiomatisation  
de l'arithmétique*

*à la fois*

*consistante*

$$a. \bar{a} = 0$$

*et*

*complète.*

$$a + \bar{a} = 1$$

1931 : 1<sup>er</sup> théorème d'incomplétude.

*Dans n'importe quelle théorie récursivement axiomatisable, cohérente et capable de « formaliser l'arithmétique », on peut construire un énoncé arithmétique qui ne peut être ni démontré ni réfuté dans cette théorie.*

1931 (même article) : 2<sup>e</sup> théorème d'incomplétude.

*Si  $T$  est une théorie cohérente qui satisfait des hypothèses analogues, la cohérence de  $T$ , qui peut s'exprimer dans la théorie  $T$ , n'est pas démontrable dans  $T$ .*

## Des ingrédients de la complexité :

- imprévisibilité, incertain
- émergence du nouveau
- paradoxe
- inséparabilité / indécomposabilité
- irremontabilité
- Thanks Giving pour la dinde statisticienne, bifurcation/chaos
- auto-organisation du vivant, émergence de fonction (ou de sens)
- l'ensemble de tous les ensembles est-il un ensemble ?
- autoréférence, mots à la fois opérateur et opérande (« jeu »)
- le tout n'est pas toujours la somme des parties (creuser puis reboucher le trou)

*et en général : systèmes vivants*

càd un point de vue différent de ...

MODULARITE

5 critères

Décomposabilité

Composabilité

Compréhensibilité

Continuité

Protection

AA-12 UML (Unified Modeling Language) Copyright - MANTOLA CONSULTANTS LTD - 1998



PASSER

## complexité vs intelligence :

« Les caractéristiques essentielles de l'intelligence sont certainement les capacités :

- de réagir avec souplesse aux situations qui se présentent
- de tirer profit de circonstances fortuites
- de discerner le sens de messages ambigus ou contradictoires
- de juger de l'importance relative de différents éléments d'une situation
- de trouver des similitudes entre des situations malgré les différences qui peuvent les séparer
- d'établir des distinctions entre des situations malgré les similitudes qui les rapprochent
- de synthétiser de nouveaux concepts à partir d'anciens concepts assemblés différemment
- de trouver des idées nouvelles »

Un phénomène est-il compliqué ou complexe ?  
Comment le savoir ?



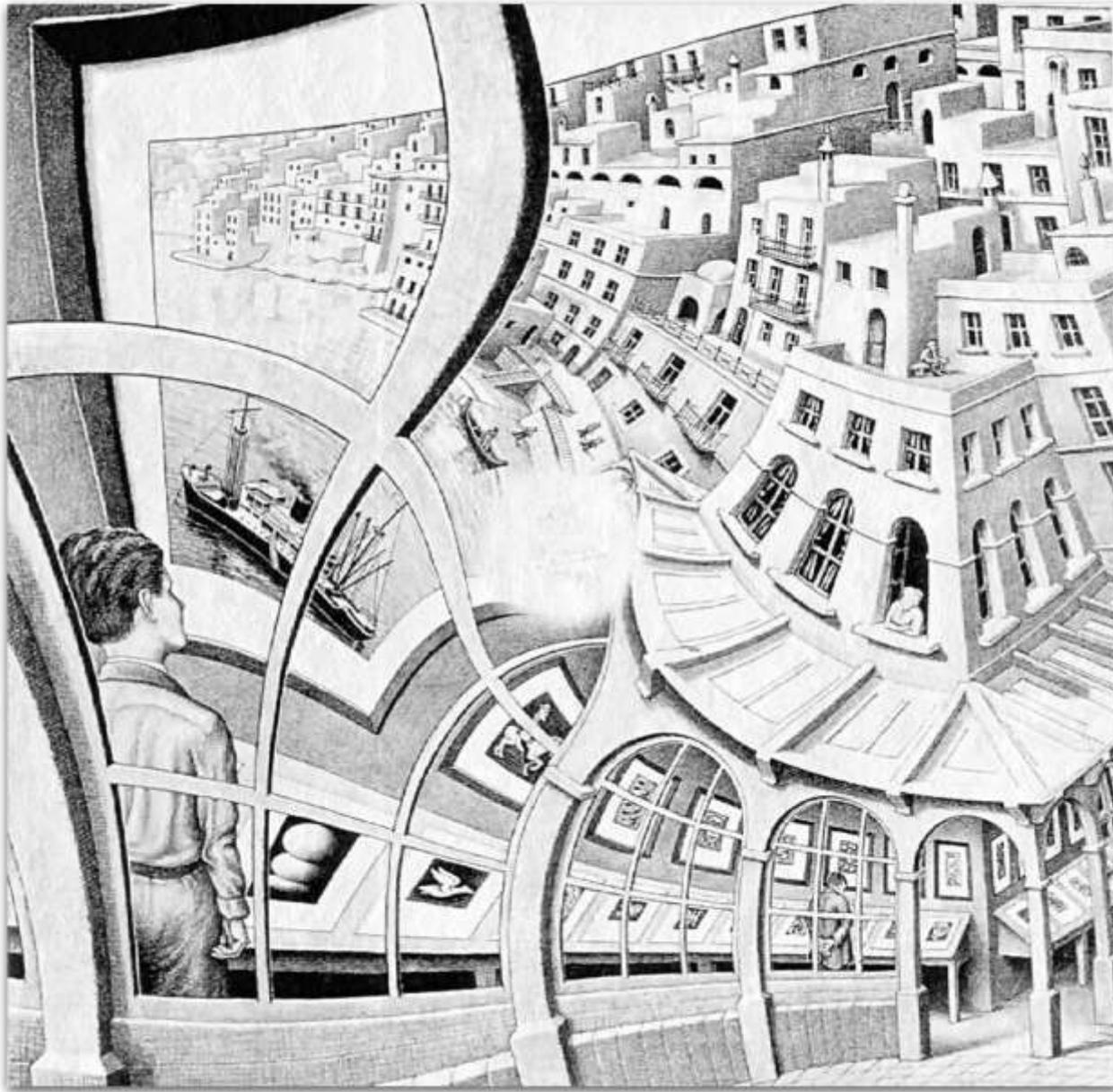
*exemple du caillou*



Modéliser un phénomène perçu complexe ?

*complexité <-> perplexité*

*modéliser un système complexe  
pour construire sa compréhension*

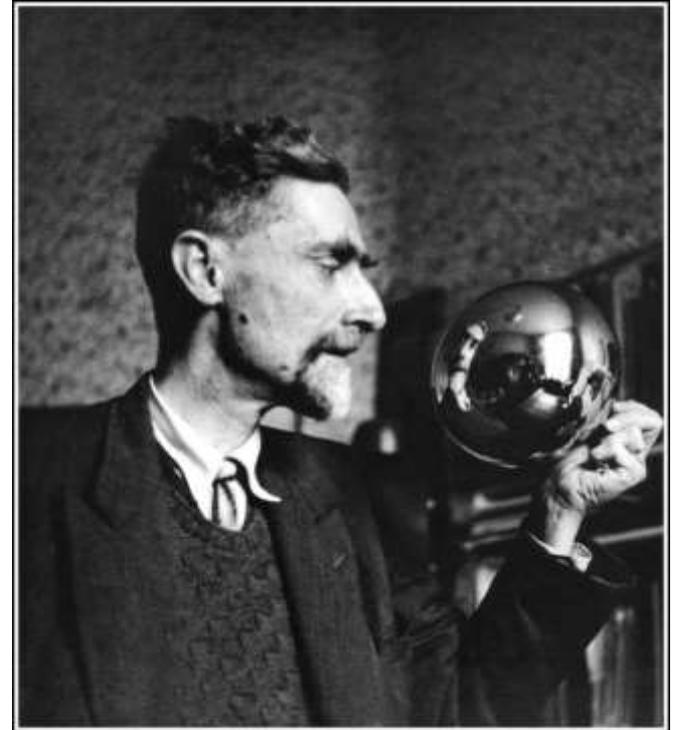


... observer ?

... modéliser ?

*Maurits Cornelis Escher (1898-1972)*

PASSER



*Maurits Cornelis Escher (1898-1972)*

# Modéliser ?



*Autoportrait, René Magritte (1965)*

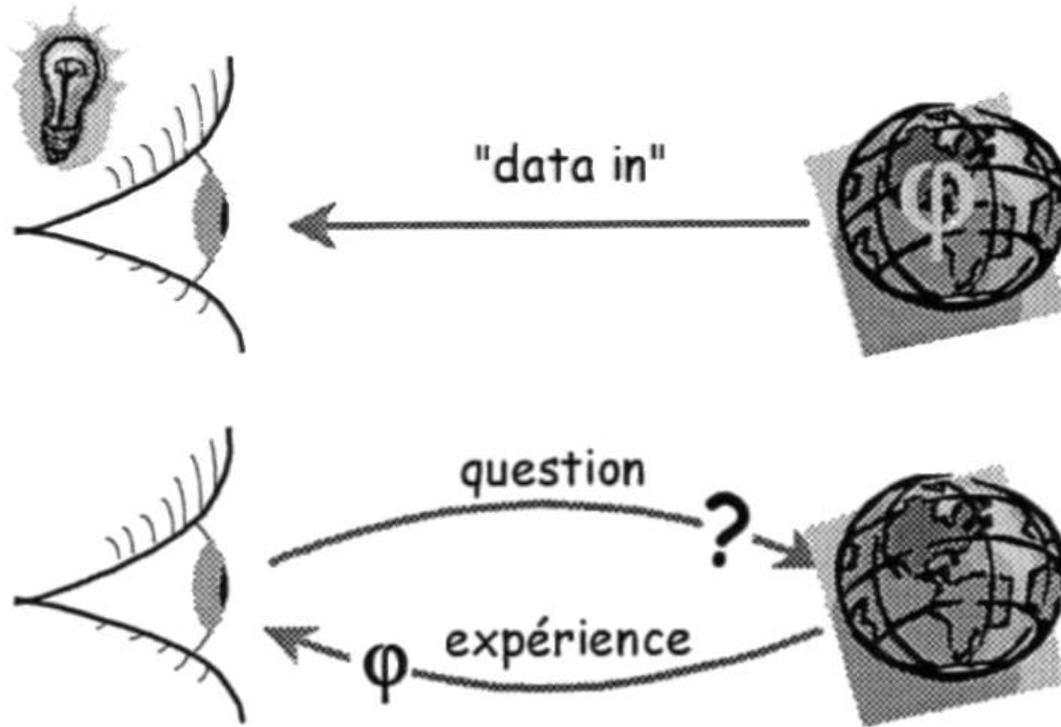


# Modéliser ?

« Data » ...

« Données »

*vraiment données?*



## Modéliser ?

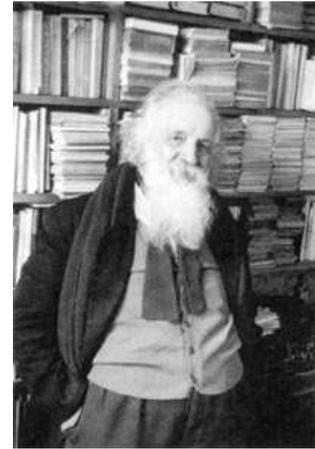
« Et quoi qu'on en dise, dans la vie scientifique, les problèmes ne se posent pas d'eux-mêmes. C'est précisément ce sens du problème qui donne la marque du véritable esprit scientifique. Pour un esprit scientifique, toute connaissance est une réponse à une question. S'il n'y a pas eu de question, il ne peut y avoir connaissance scientifique. Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit. »



## Modéliser ?

« Notre esprit, dit justement M. Bergson, a une irrésistible tendance à considérer comme plus claire l'idée qui lui sert le plus souvent. (...) Un épistémologue irrévérencieux disait, il y a quelque vingt ans, que les grands hommes sont utiles à la science dans la première moitié de leur vie, nuisibles dans la seconde moitié. L'instinct *formatif* est si persistant chez certains hommes de pensée qu'on ne doit pas s'alarmer de cette boutade. Mais enfin, l'instinct *formatif* finit par céder devant l'instinct *conservatif*. Il vient un temps où l'esprit aime mieux ce qui confirme son savoir que ce qui le contredit, où il aime mieux les réponses que les questions. Alors l'instinct *conservatif* domine, la croissance spirituelle s'arrête. » (...)

**« En résumé, l'homme animé par l'esprit scientifique désire sans doute savoir, mais c'est aussitôt pour mieux interroger. »**



Modéliser ?

PASSER



*« La connaissance ne saurait être conçue comme prédéterminée, ni dans les structures internes du sujet, puisqu'elles résultent d'une construction effective et continue, ni dans les caractères préexistants de l'objet, puisqu'ils ne sont connus que grâce à la médiation nécessaire de ces structures. »*

# Modéliser ?

Si on n'a qu'un marteau, on voit des clous partout.

(autrement dit, attention aux biais cognitifs)



« I suppose it is tempting, if the only tool you have is a hammer, to treat everything as if it were a nail »

*Abraham Maslow (The Psychology of Science, 1966).*

*systeme ?*

# Systeme ?

*Ludwig von Bertalanfy (General System Theory, 1968)*

« Ensemble d'éléments en inter-relation. »

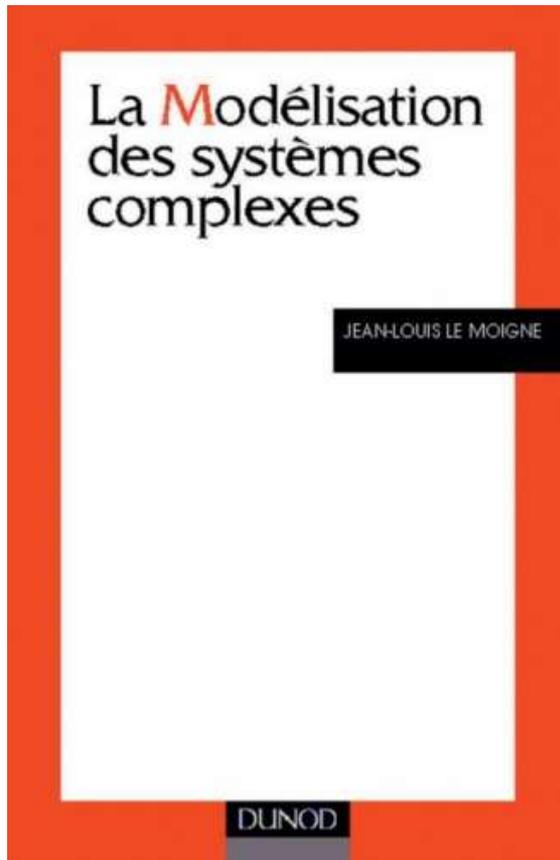
[Jean-Louis Le Moigne](#) (*La modélisation des systèmes complexes, 1990 - Dunod*)

« Ensemble d'éléments en interaction, doté d'une structure, qui réalise des fonctions, qui évolue dans le temps, dans un environnement, selon une finalité. »

[Gordon Pask](#) (1960, cité par Le Moigne)

« Toute pattern (forme agencée) d'activités dans un réseau tenu pour consistant par quelque observateur. »

*Le concept de système comme aide pour la  
modélisation ?*



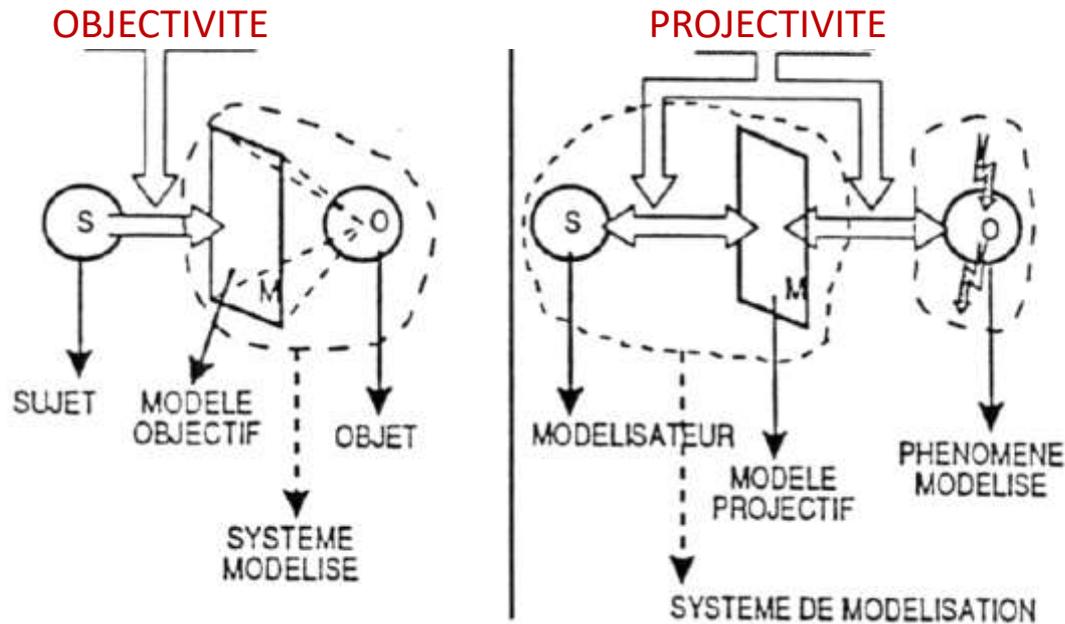
Jean-Louis Lemoigne  
Edt. Dunod, 1999

« Écrit pour tous ceux qui ont à gérer des “situations complexes”, ce livre montre que la résolution des problèmes d'organisation passe davantage par le respect de la complexité du réel que par une simplification réductrice. »

# Le concept de système comme aide pour la modélisation ?

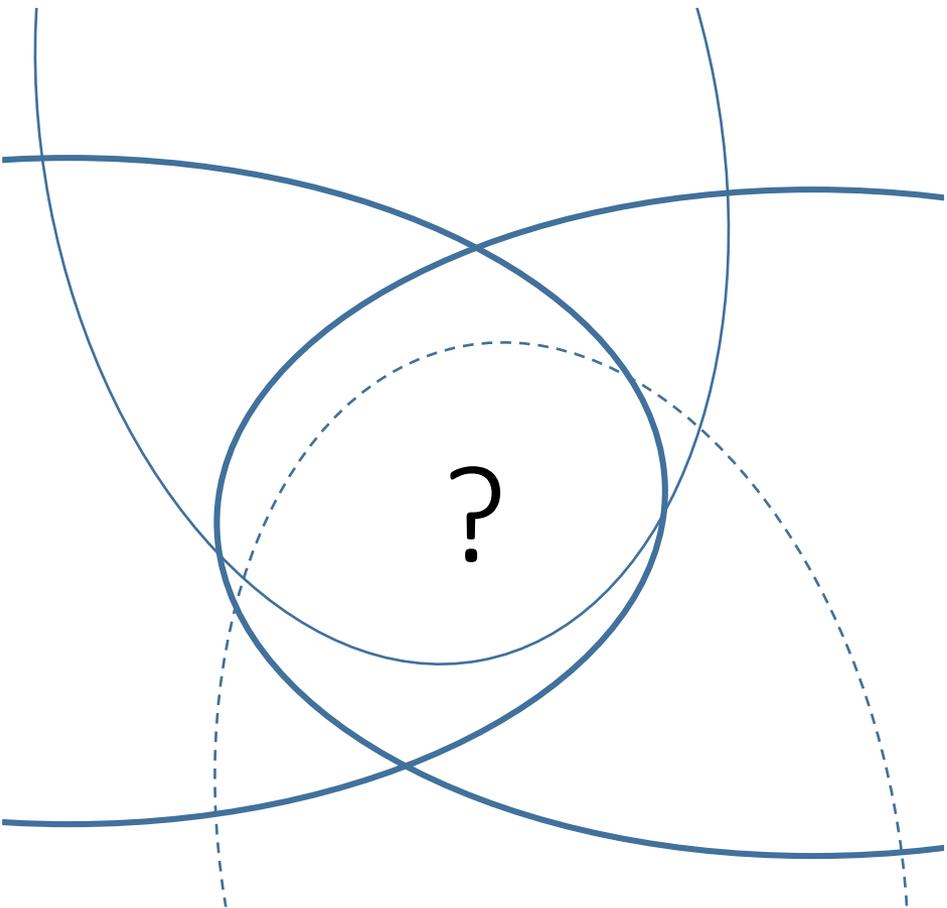
**PASSER**

(Lemoigne): modélisation analytique (objective?), modélisation systémique (**projective**)

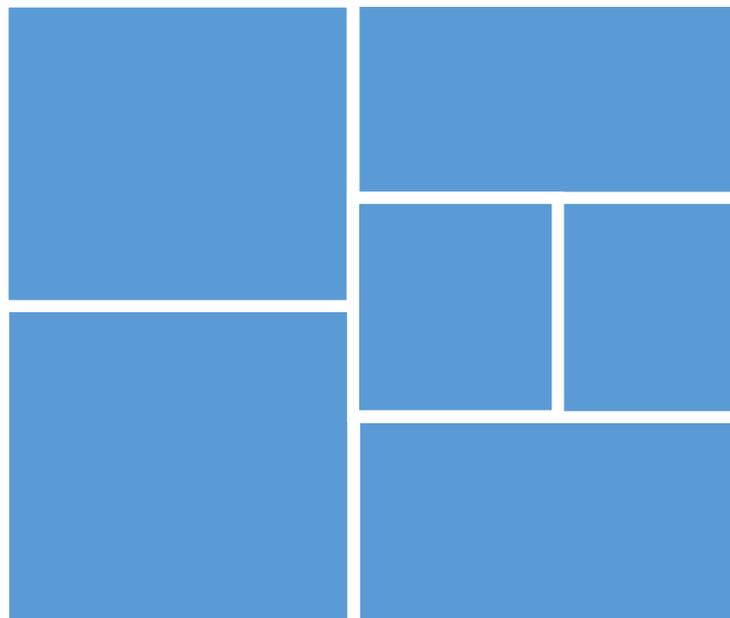


*Modélisation CONJONCTIVE versus DISJONCTIVE*

**PASSER**



*et*

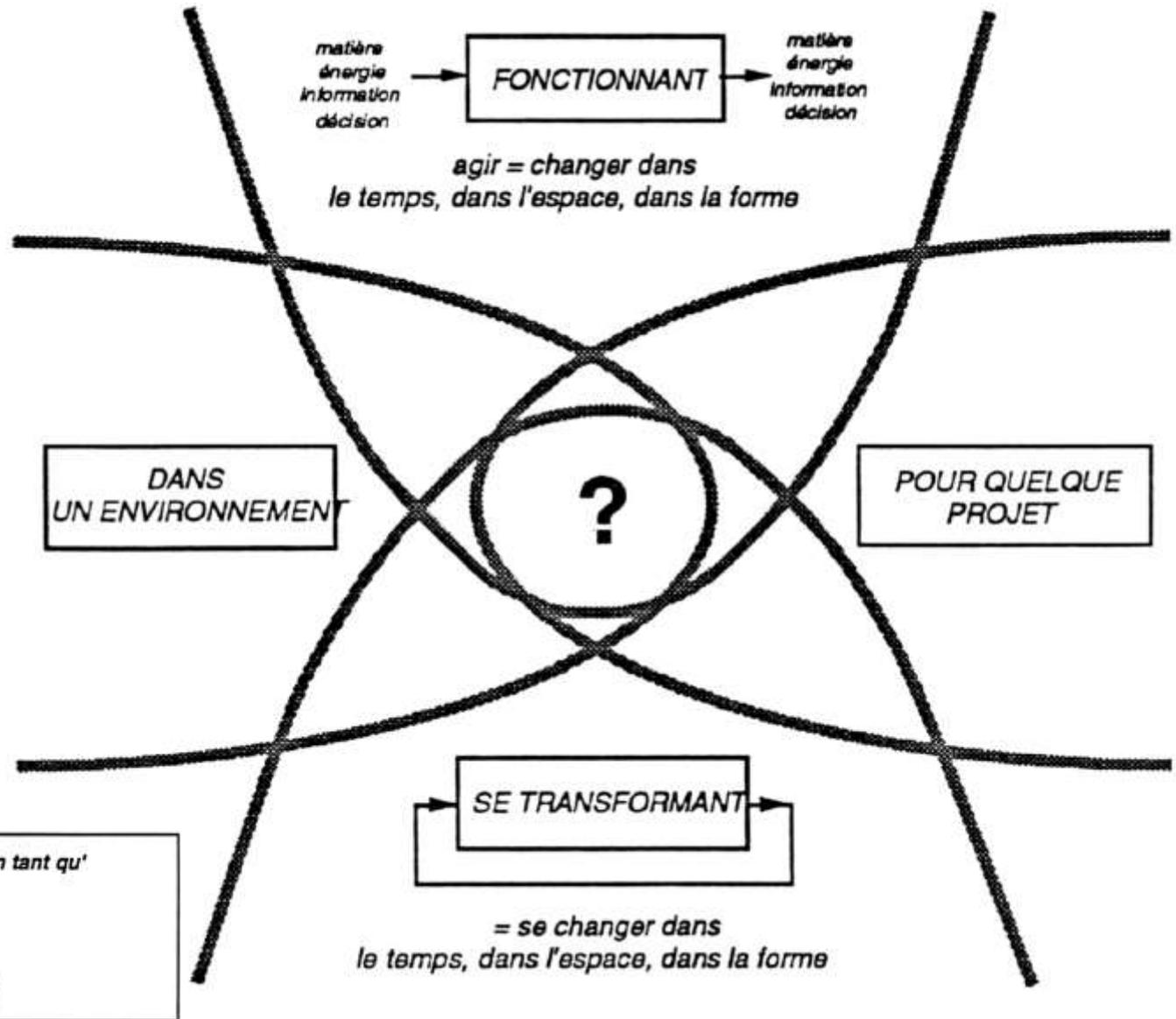


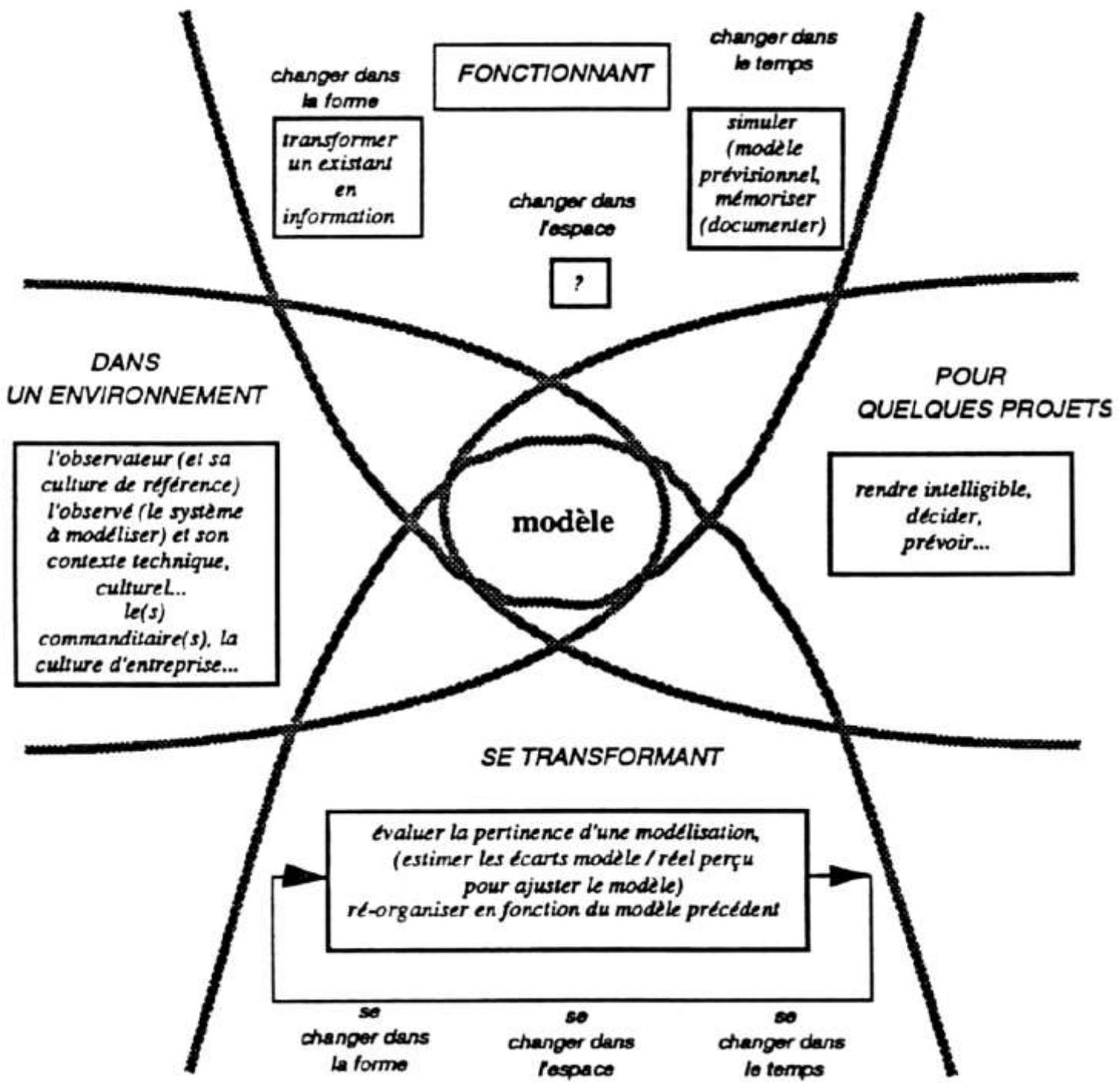
*ou*

*Le concept de système comme aide pour la modélisation ?*

***un phénomène modélisable est perçu en tant qu'  
action  
dans un environnement,  
pour quelques projets,  
faisant (fonctionnant),  
et se faisant (se transformant)***

# Le concept de système comme aide pour la modélisation ?





# Modèle ?

*le modèle est perçu en tant qu'action  
dans un environnement :  
l'observateur (et sa culture de référence)  
l'observé (le système à modéliser) et son contexte technique, culturel...  
le(s) commanditaire(s), la culture d'entreprise...*

*pour quelques projets:  
rendre intelligible, décider, prévoir...*

*faisant:  
transformer un existant en information  
identifier des objectifs,  
proposer des variables "descriptives" pertinentes,  
décrire leurs interactions, l'organisation,  
simuler, documenter, informer...*

*et se faisant (se transformant) :  
évaluer la pertinence d'une modélisation,  
(estimer les écarts modèle / réel perçu pour ajuster le modèle)  
ré-organiser en fonction du modèle précédent*

MERRIE MELODIES  
REG. U.S. PAT. OFF.

*"That's all Folks!"*

A WARNER BROS. CARTOON



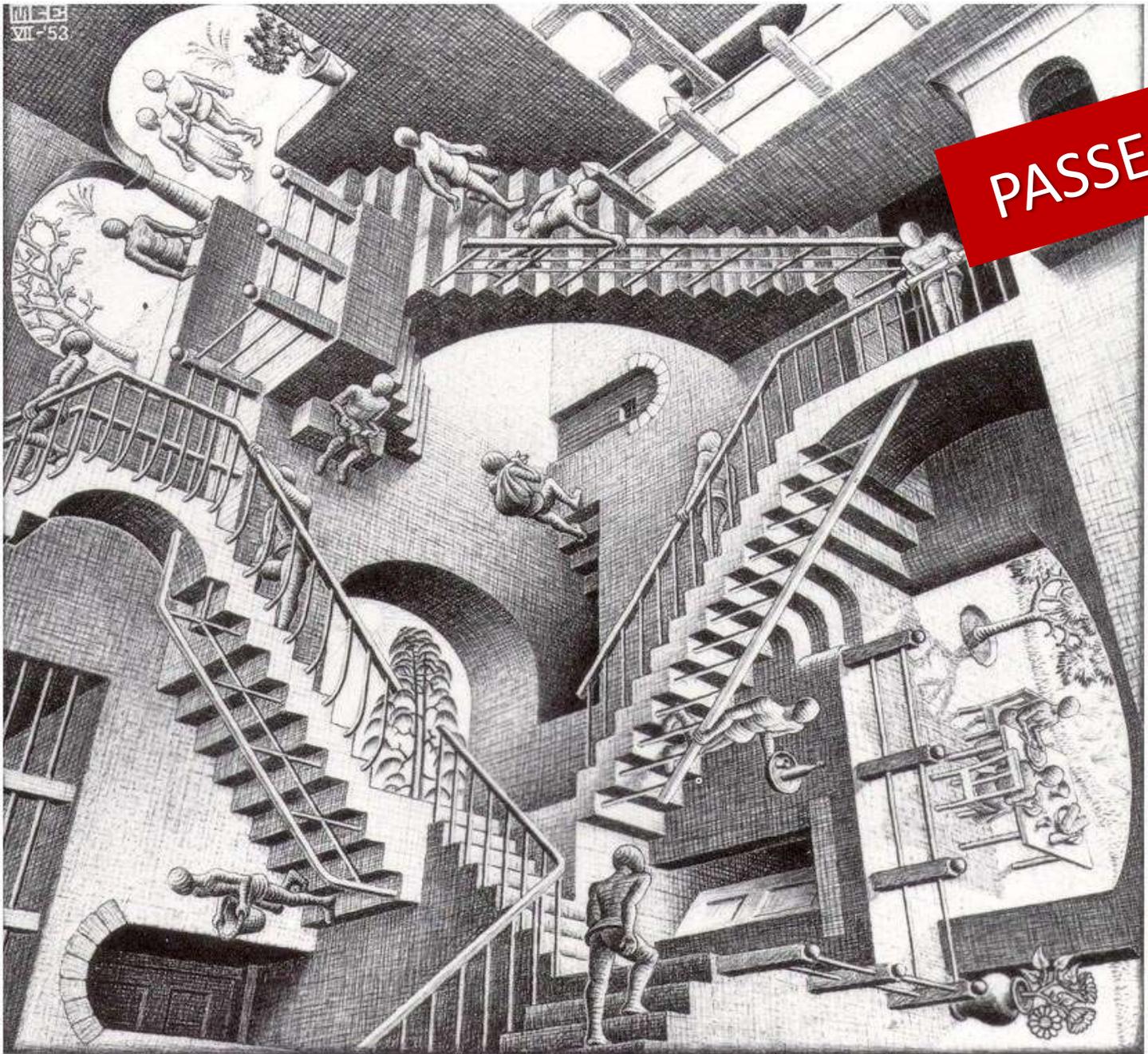
*Je ne vois pas la femme cachée dans la forêt, René Magritte (1929)*

*ici avec: Maxime Alexandre, Louis Aragon, André Breton, Luis Bunuel, Jean Caupenne, Paul Éluard, Marcel Fourrier, René Magritte, Albert Valentin, André Thirion, Yves Tanguy, Georges Sadoul, Paul Nougé, Camille Goemans, Max Ernst, Salvador Dalí.*



PASSER

Maurits Cornelis Escher (1898-1972)



Maurits Cornelis Escher (1898-1972)



PASSER

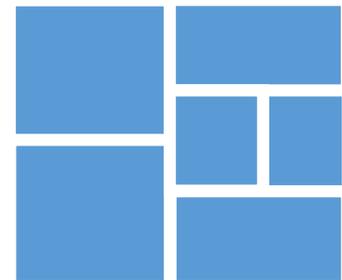
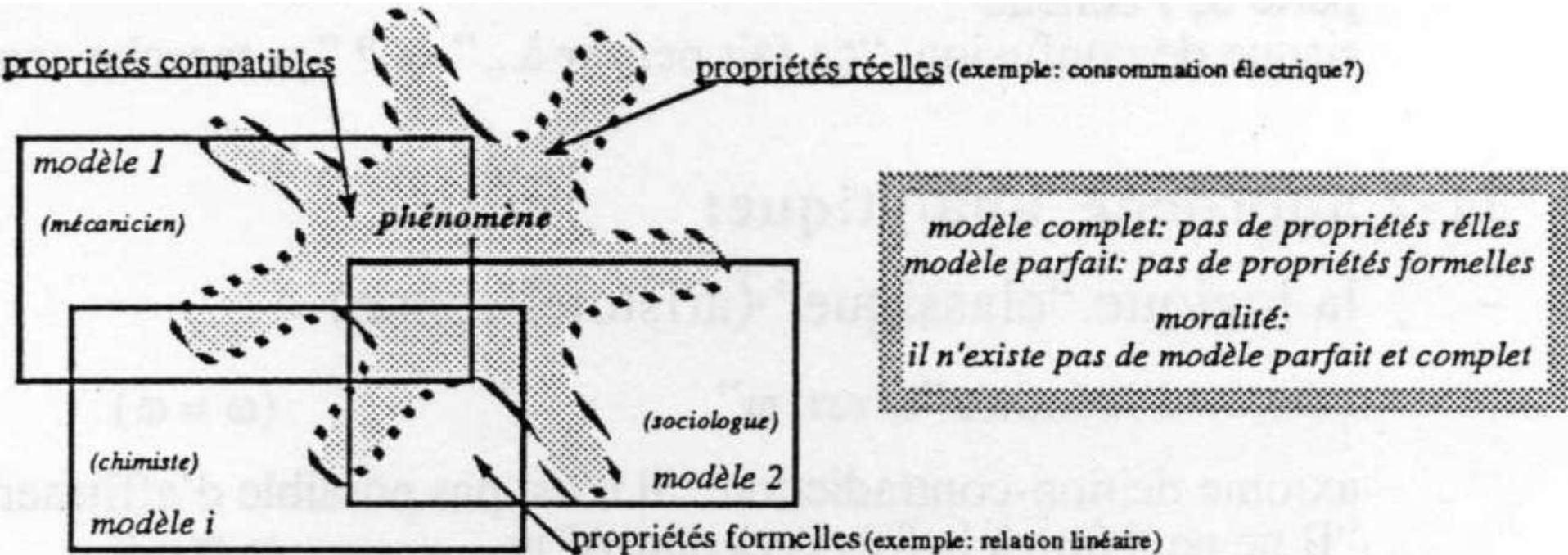
Maurits Cornelis Escher (1898-1972)



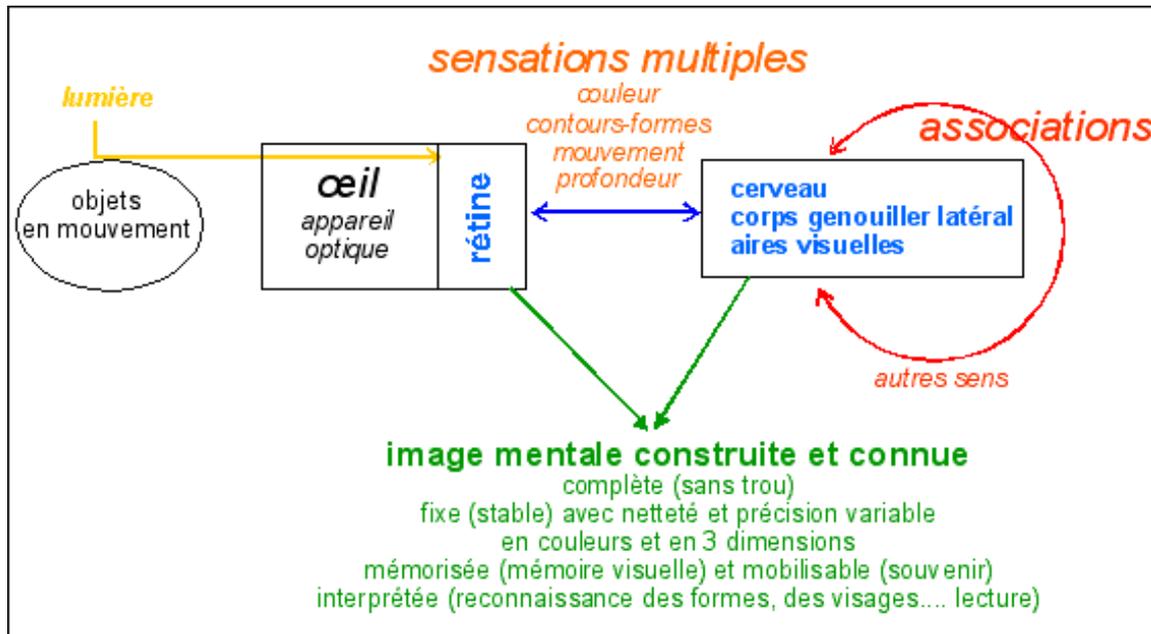
*Persistence rétinienne:  
fixer les 4 point noirs du milieu  
pendant minimum 20 sec, puis  
fermer les yeux...*

Exhaustivité: modèle parfait, modèle complet ?  
ou encore: Complétude vs Cohérence

PASSER



<https://www.youtube.com/watch?v=-IWk5NkxQF8>



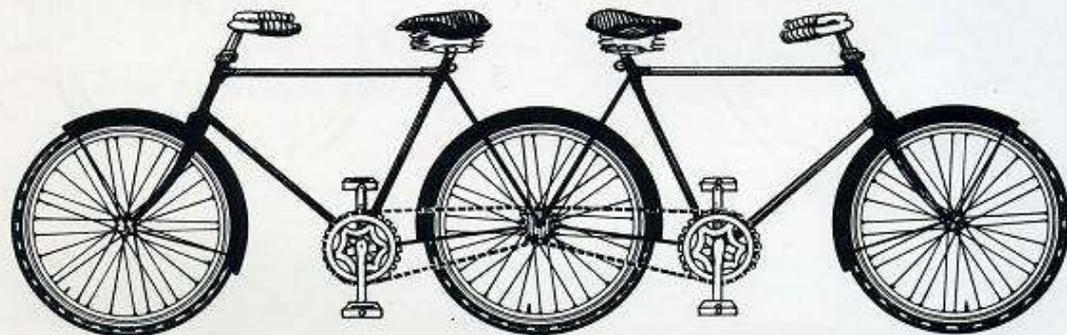


*Optical illusions*





TANDEM CONVERGENT. Modèle pour fiancés.



TANDEM DIVERGENT. Modèle pour couple en instance de divorce.