



# AVERTISSEMENT/Warning

Cette présentation réalisée pour l'ANF CNRS du RdM-FA contient certaines figures qui ne sont pas la propriété du conférencier ; parfois l'auteur de l'article d'où la figure a été extraite est cité, mais pas systématiquement. En conséquence, il convient de considérer cette présentation comme interne (et donc comme non exportable) ne servant qu'à illustrer le sujet.

*Warning: this presentation made for the CNRS National Annual Training from the RdM-FA network contains some figures that are not the property of the lecturer; sometimes the author of the article from which the figure was extracted is quoted, but not systematically. Consequently, this presentation should be considered as internal (and thus as non-exportable outside the meeting) only proposed to illustrate the subject.*

J.C. André LRGP CNRS/UL and RdM-FA Member







7

# Problèmes

## Outsiders are best at solving problems (Nature)

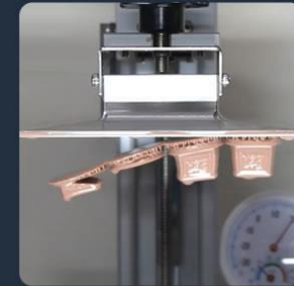


Quelques exemples :

- Fissures ;
- Déformations ;
- Tenue mécanique ; état de surface ;
- Tenue mécanique ; élimination des supports ;
- Multi-voxels
- Gradients de concentration ;
- HSE ;
- Etc.

EMBARRASSING SITUATION

Have you encountered any of these situations?



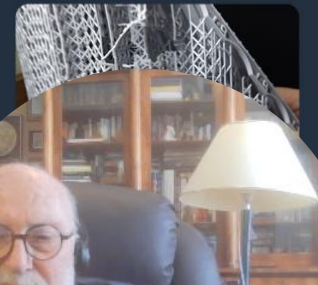
OFF PLATFORM



ONLY HALF



DEFORMATION



SUPER!  
FANTASTIQUE!  
GÉNIAL!!!

Invention de rupture ou innovation incrémentale



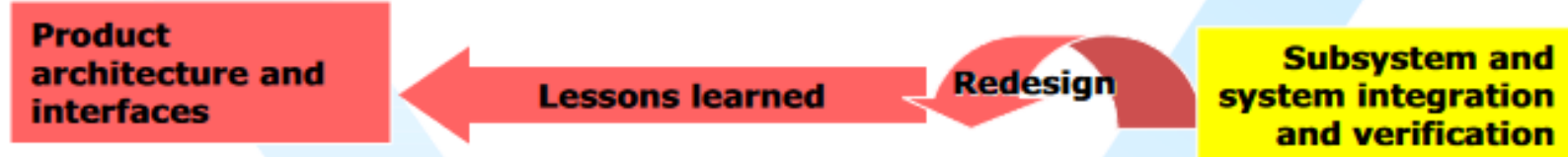
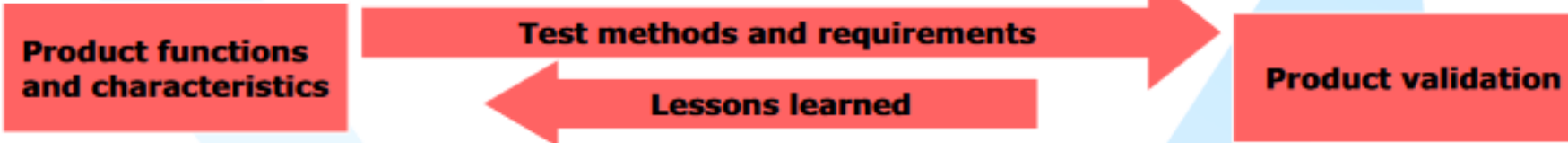
VERROUS TECHNOLOGIQUES





Customer Needs

Production



Requirements Cascade

Verification and Validation

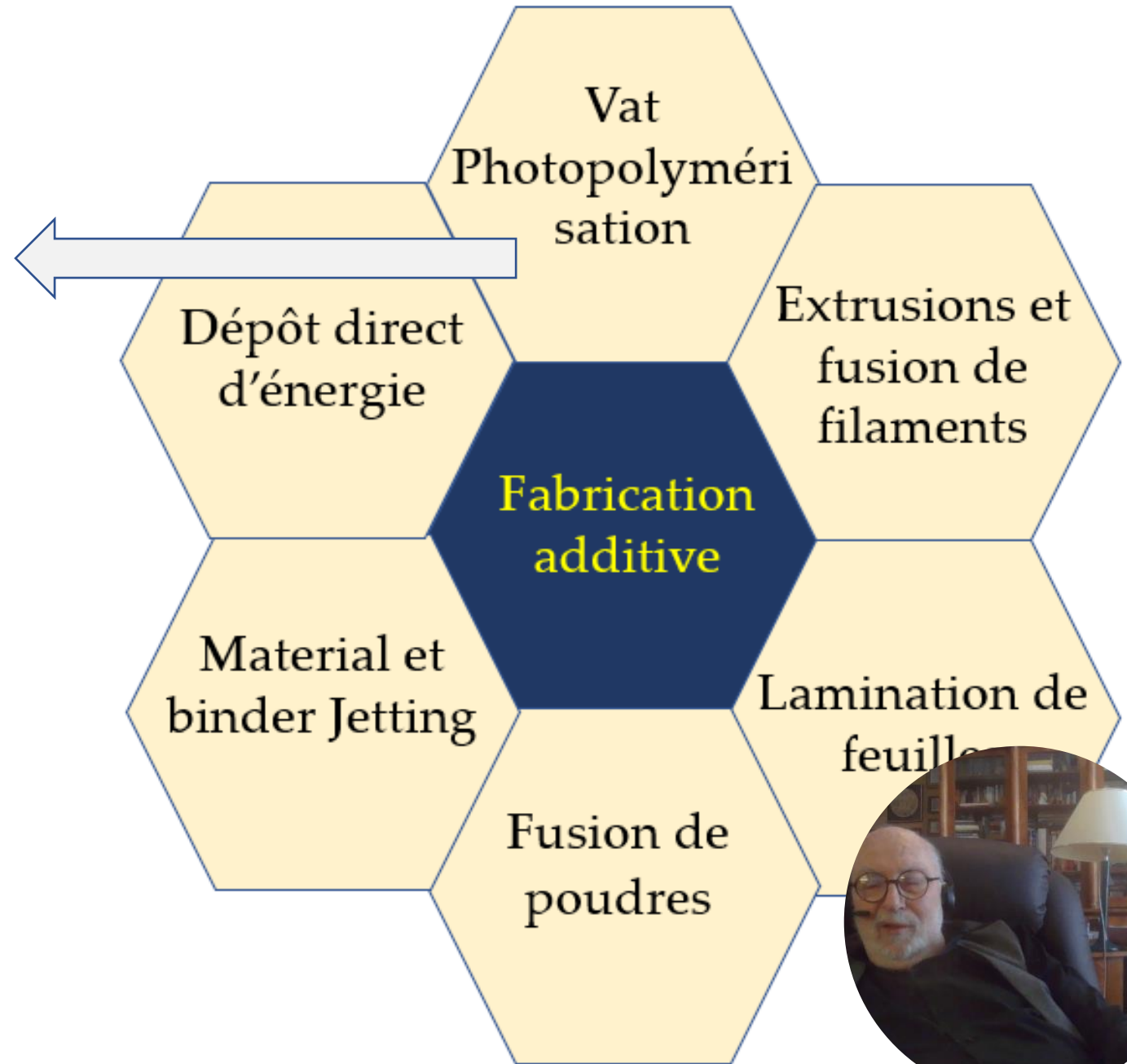
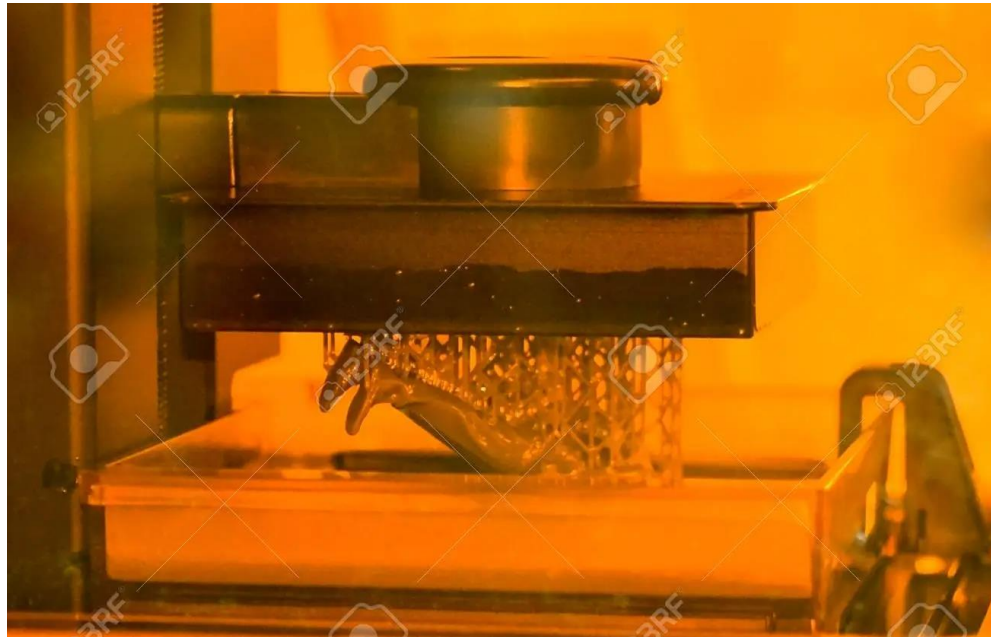


Éléments critiques	Commentaires
Imprimabilité	Réalisation en production directe ou indirecte ; choix du procédé ; transformation induite thermiquement concernée dans la matière ou dans le matériau
Constructibilité de l'objet	Des supports, leur emplacement, leur contact avec la pièce et leur structure dépendent de la complexité de la pièce
Matériaux et multi-matériaux	Optimisation : matière, présentation (par exemple, poudres, dispersité, etc.)
Métamatériaux	Modules d'Young améliorés
Anisotropie de la fabrication	Effets sur les propriétés mécaniques (choix du procédé)
Tensions internes	Relation matériau - procédés
Précision	Épaisseur des couches (ou équivalent)
Défauts, vieillissement et fatigue	Idem
État de surface	Idem
Adhérence entre voxels (multi-matériaux)	Compatibilité des matériaux et/ou procédés adaptés à l'épaisseur optique
Compatibilité biologique	Matériaux adaptés
Recyclage	Possible pour la résine, pas pour le polymère réticulé
Hygiène et sécurité	Relation matériau - procédés



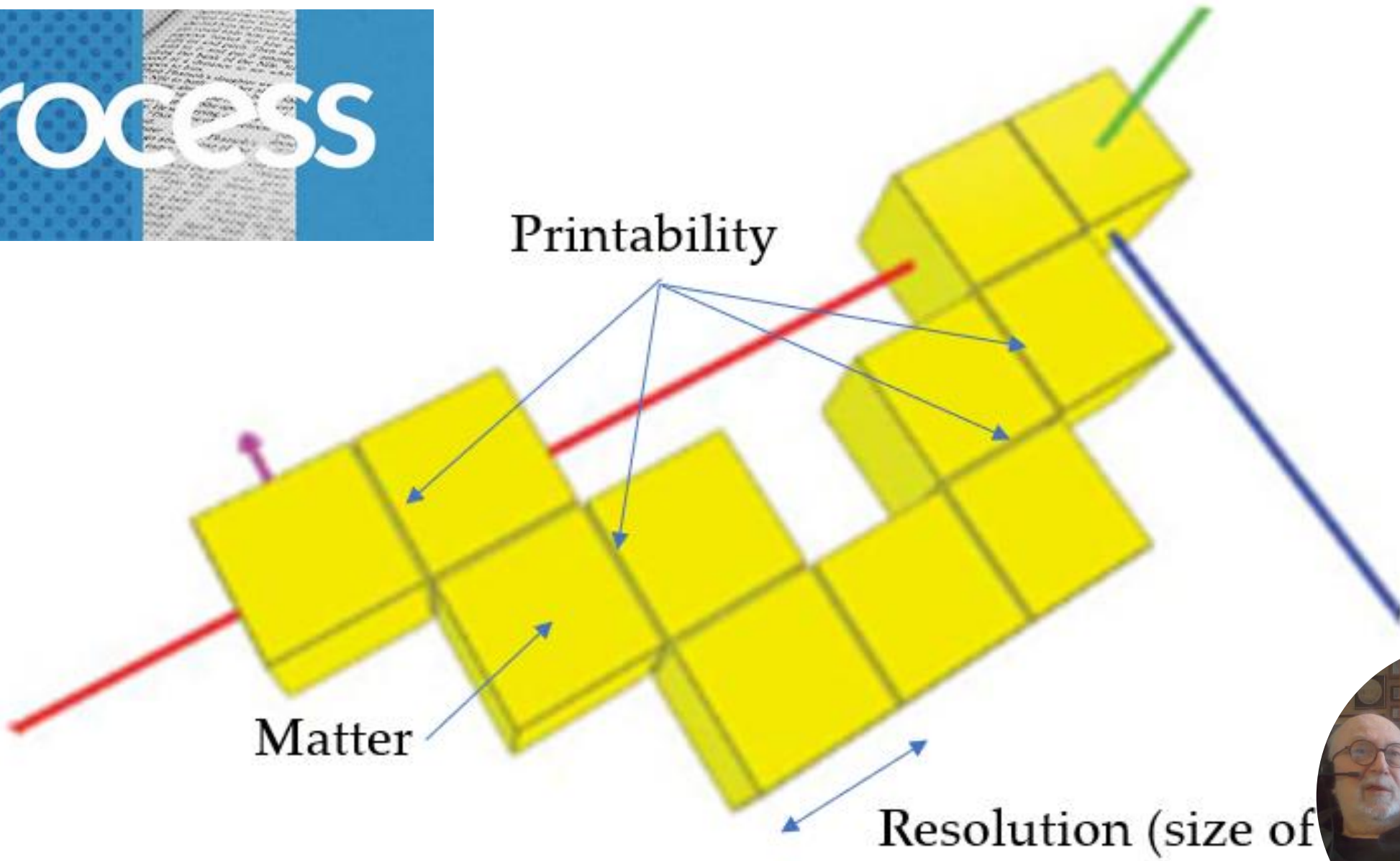
# Technologies 3D

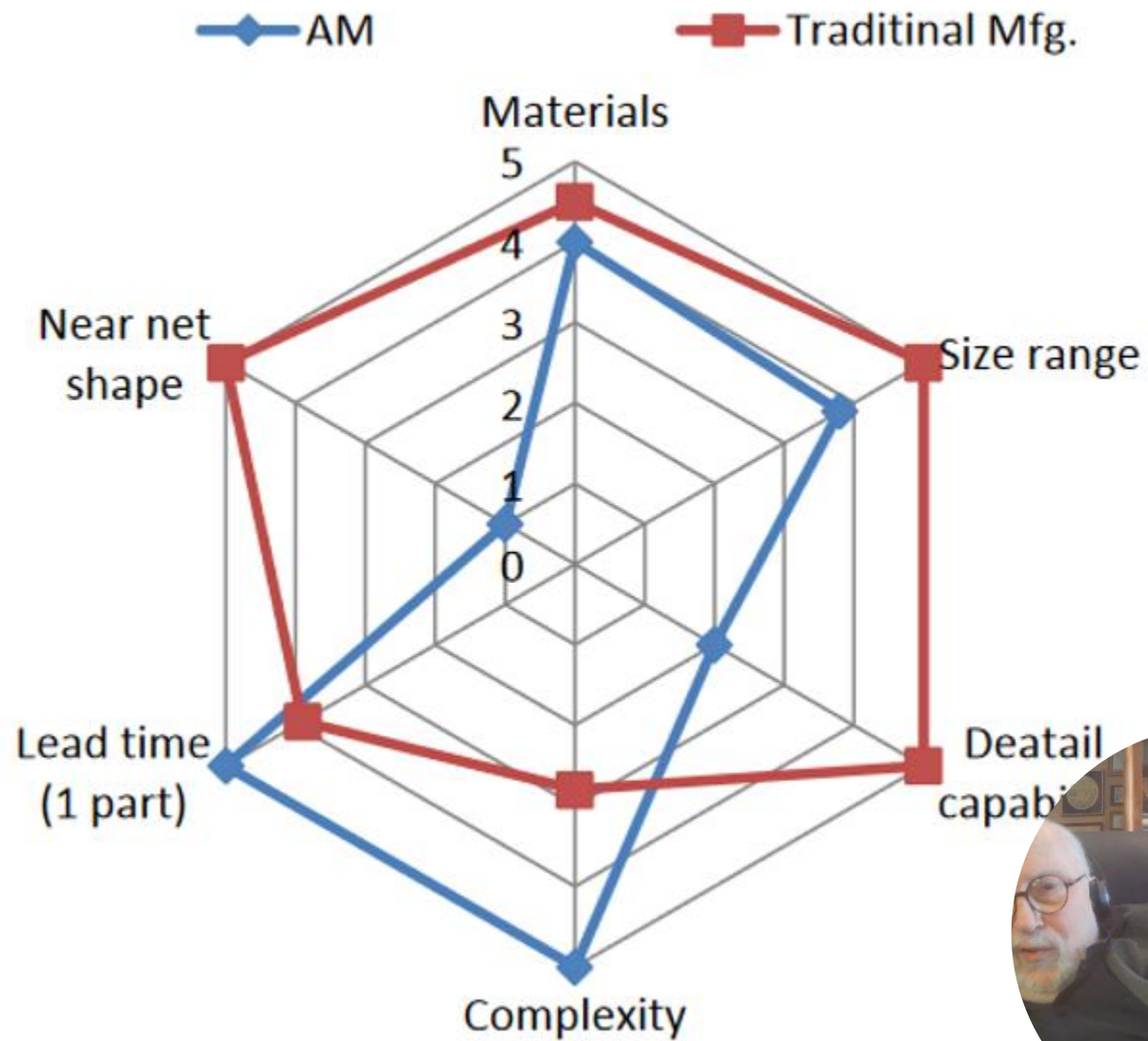
1 photon, surface, 2 photons  
simultanés, séquentiels,...



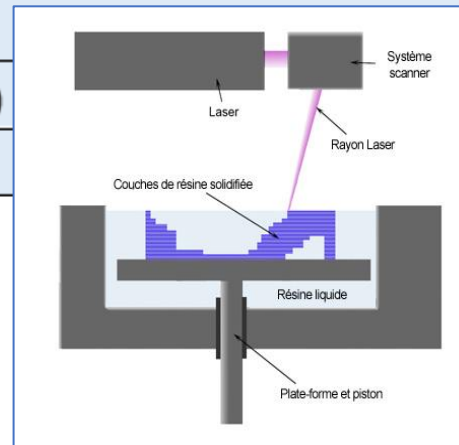


# process



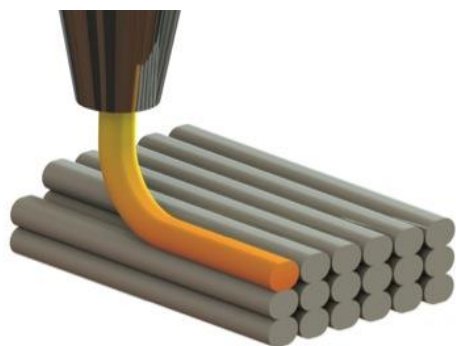
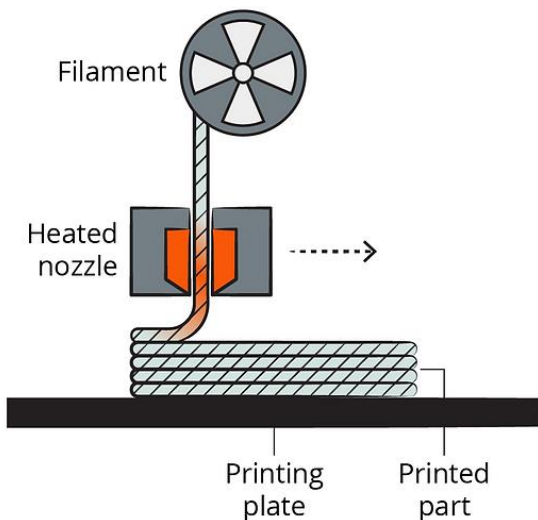


Critères de sélection d'une résine en SLA	Critères de sélection d'un matériau photopolymérisé
Imprimabilité ; multi-matière	Masse volumique ; viscosité ; adhérence (multi-matériaux)
Epaisseur optique $\mu$ et autres qualités optiques	Transparence ; extinction moléculaire
Retrait	Micro-fissures, fissures, vieillissement ; auto-réparation ; rapidité de production
Rendement photonique ; sensibilité	Etat de surface ; aspect général
Précision (liée à la réaction de photopolymérisation)	Elimination (aisée) des supports
Viscosité ou autres critères rhéologiques (effet des charges)	Module d'Young ; élasticité
Recyclage	Allongement à la rupture ; résistance à la flexion
Toxicité (HSE)	
Prix (machine 3D et matière)	Composites
Post-traitement (dont nettoyage)	Taux de déformation ; cohésion entre couches
Dégradation	Bio-dégradabilité



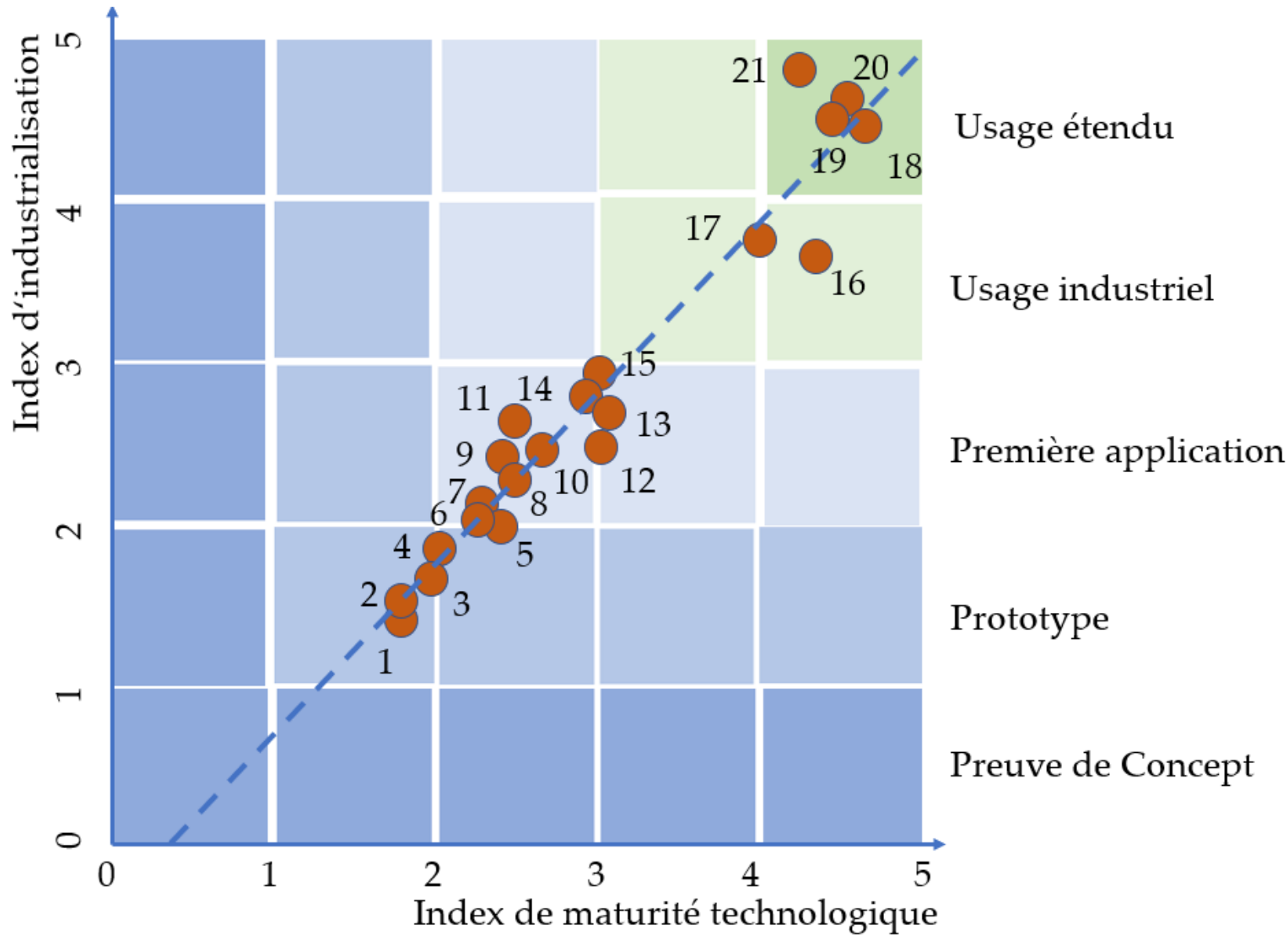


# FDM



Paramètre	Performance	Effet visuel	Autres commentaires
Matériaux	Doivent mouiller le solide	Dépend de la résolution	
Température d'extrusion (supérieure à $T_c$ )	Peu d'effet sur la tenue mécanique Résolution baisse quand la température augmente	Qualité baisse quand la température augmente	pyrolyse partielle du fil ?
Vitesse de déplacement/diamètre du polymère en sortie de filière	Tensions mécaniques longitudinales Ecart à la consigne Adhérence critique pour des faibles diamètres	Qualité décroît avec la vitesse de déplacement	
Polymère chargé en fibres	Tension spécifique dans l'orientation	Pas d'effet observé	Relaxation par chauffage
Orientation de fibres	Anisotropie et impression 4D	Pas d'effet observé	Relaxation par chauffage
Tenue mécanique	Resistance au choc		
Couleur	Pas d'effets observés	Pas d'effets observés	Tenue des colorants à la chaleur
Propreté des surfaces	Accrochage des ajouts Tenue mécanique	Accrochage	
Vieillessement	Besoin parfois de quelques jours pour stabilisation des contraintes (ou recuit), sinon bonne stabilité dans le temps	Pas d'effets observés	
Recyclage	Besoin d'un matériau plastique assez « propre »	Pas d'effet observé	de recyclage

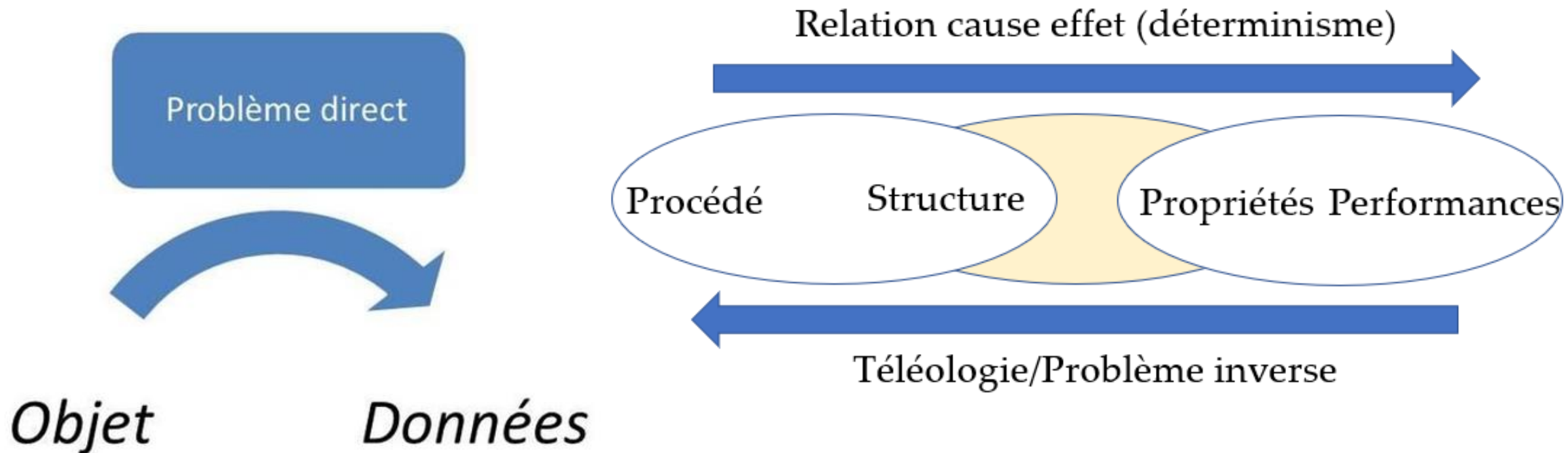




## Emergence des technologies de fabrication additive

(1 : SLA 2 photons ; 2 : Volumétrique (Xolo) ; 3 : Dépôt d'élastomère ; 4 : Polymérisation de film ; 5 : Volumétrique (Readily) ; 6 : Dépôt de filament thermodurcissable ; 7 : Vulcanisation 3D ; 8 : Lamination par électrophotographie ; 9 : Dépôt de thermoplastique ; 10 : Lamination continue de fibres ; 11 : Cubicure ; 12 : Extrusion de filaments ; 13 : Extrusion de pellets ; 14 : Dépôt thermodurcissable ; 15 : Material Jetting (INKBIT) ; 16 : Fusion de poudres ; 17 : Material Jetting ; 18 : Vat-Polymérisation à l'espace ; 19 : Vat-Poly ; 20 : Fusion de poudres ; 21 : Filaments (FDM))





Indices concernant la fusion laser de polymères



Matériaux polymères	Indice
Polyamide 11	
Polyamide 12	
Polyuréthane thermoplastique	
PEEK	
Polyéthylène	
Polystyrène	

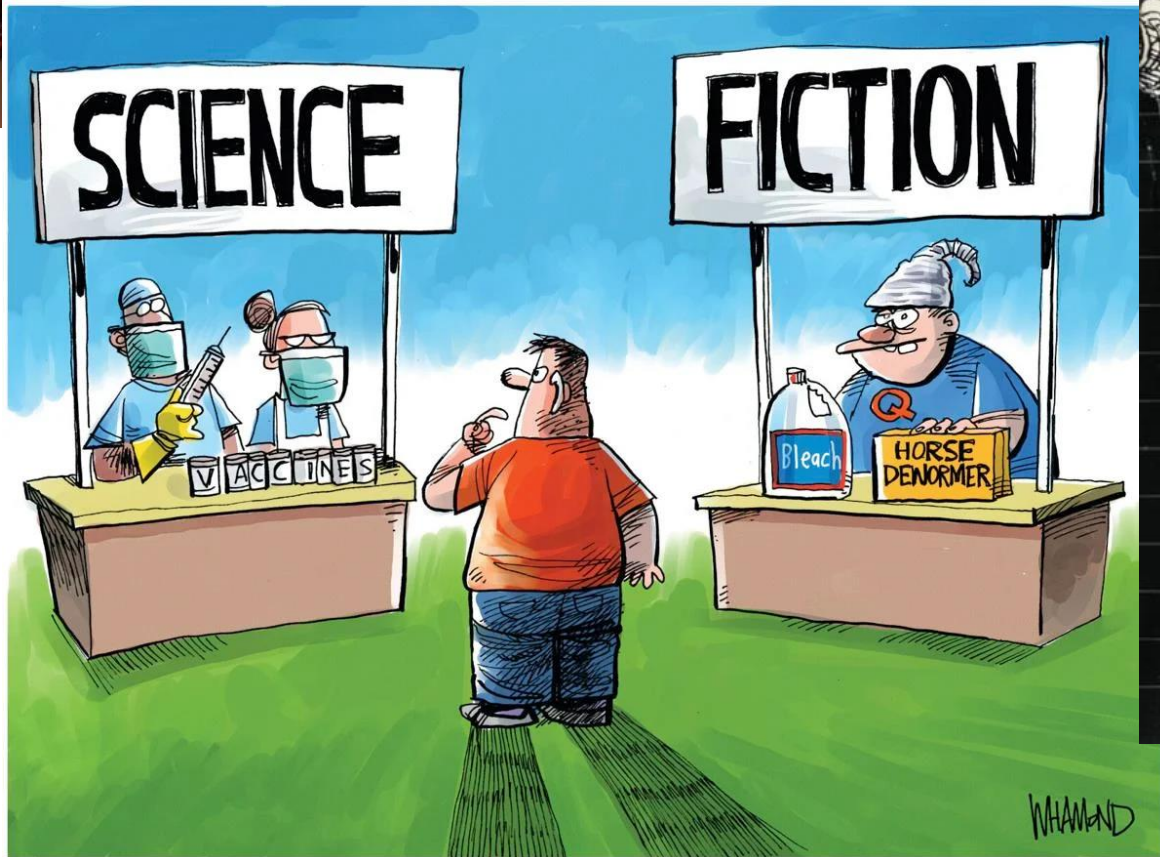




# Prospective, anticipation, vision





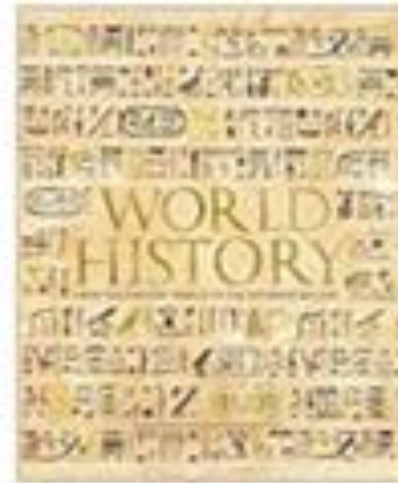




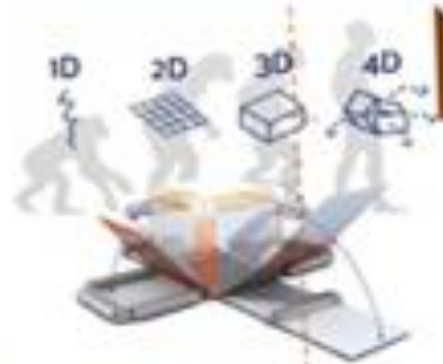
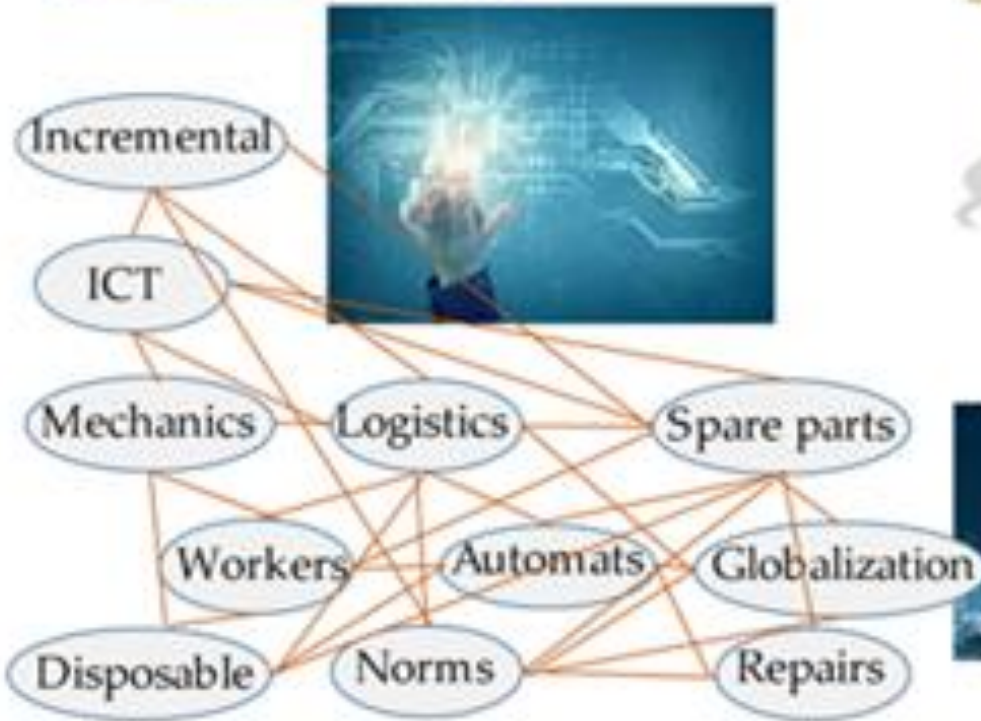
# World of the past



# The future world



We are just here!

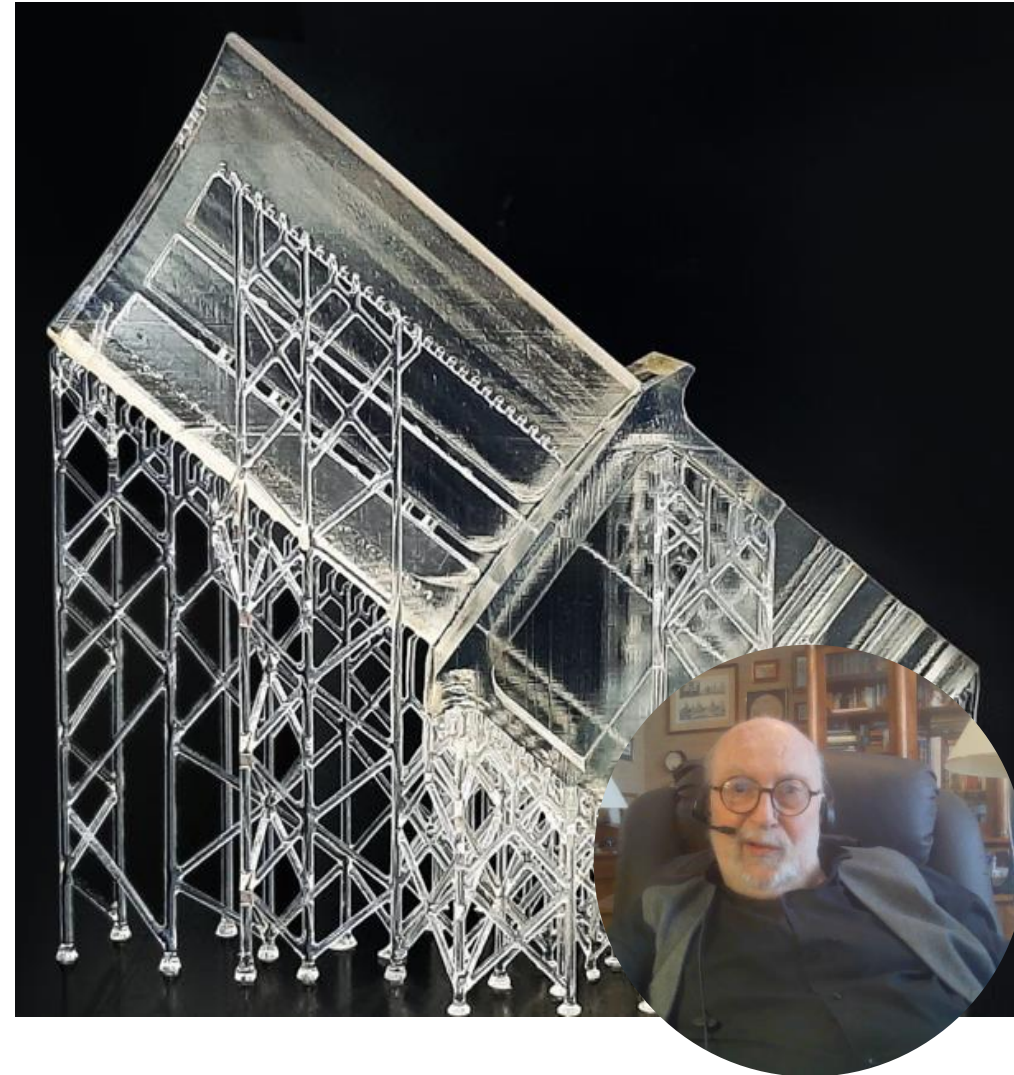


From (old) quantic manufacturing to "liquid" robotics: the place of 4D P

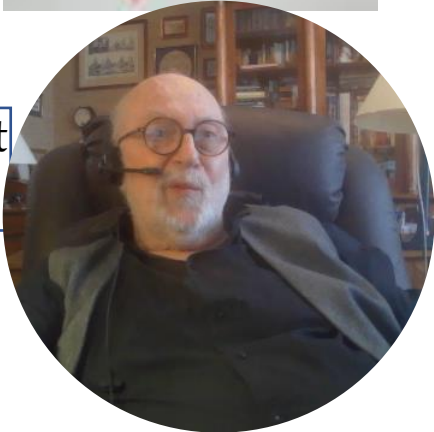
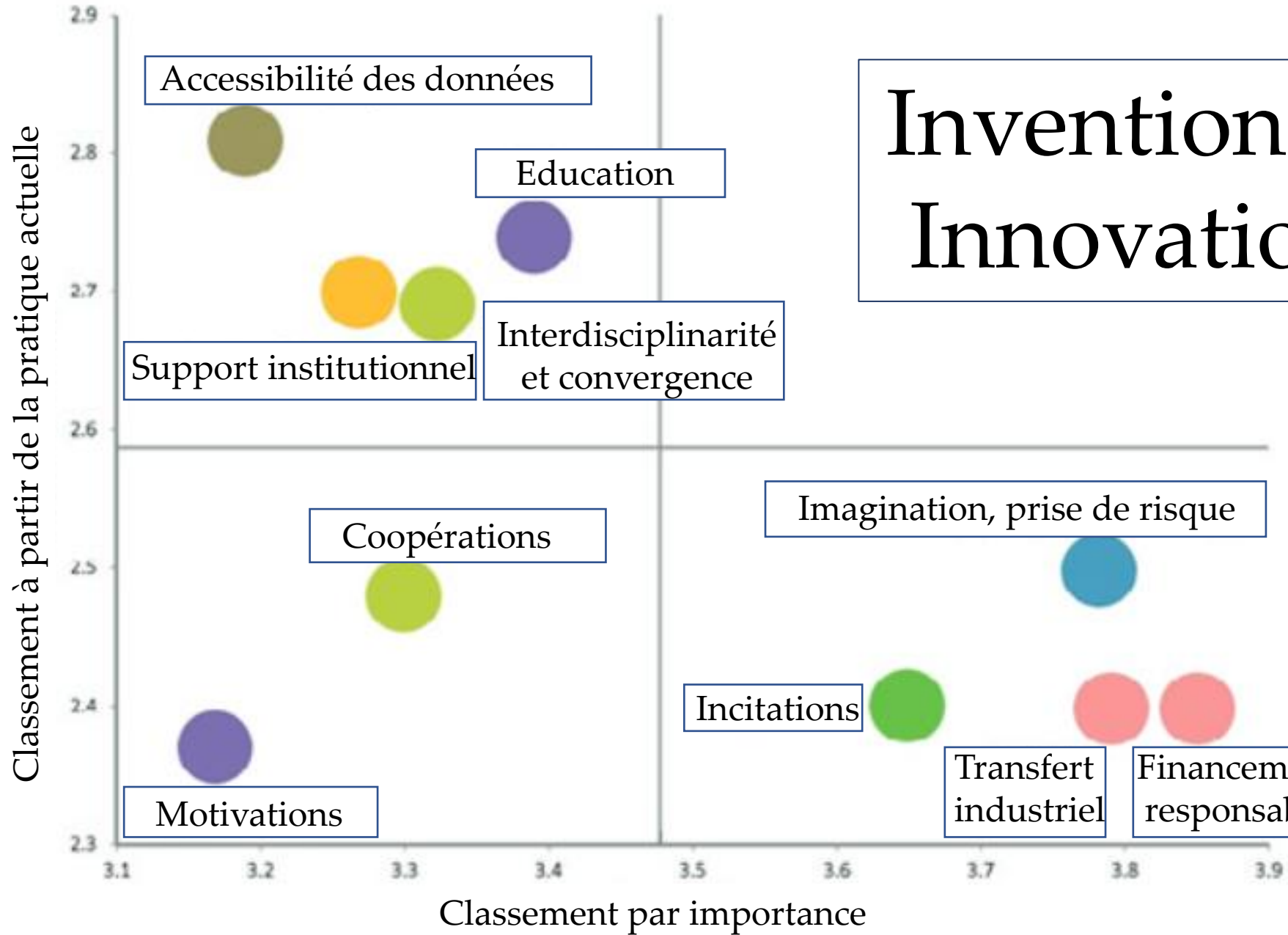


# Conditions nécessaires pour inventer

Une idée peut être considérée comme une sorte de portail qui ouvre sur une nouvelle façon de penser à quelque chose d'inaccessible. Elle représente une façon transformée de comprendre, d'interpréter ou de voir quelque chose sans laquelle on ne progresserait pas. Cette transformation peut être soudaine (rupture) ou être incrémentale. Pour s'épanouir elle a besoin de soutiens, si possible de tous les soutiens !



# Invention et Innovation





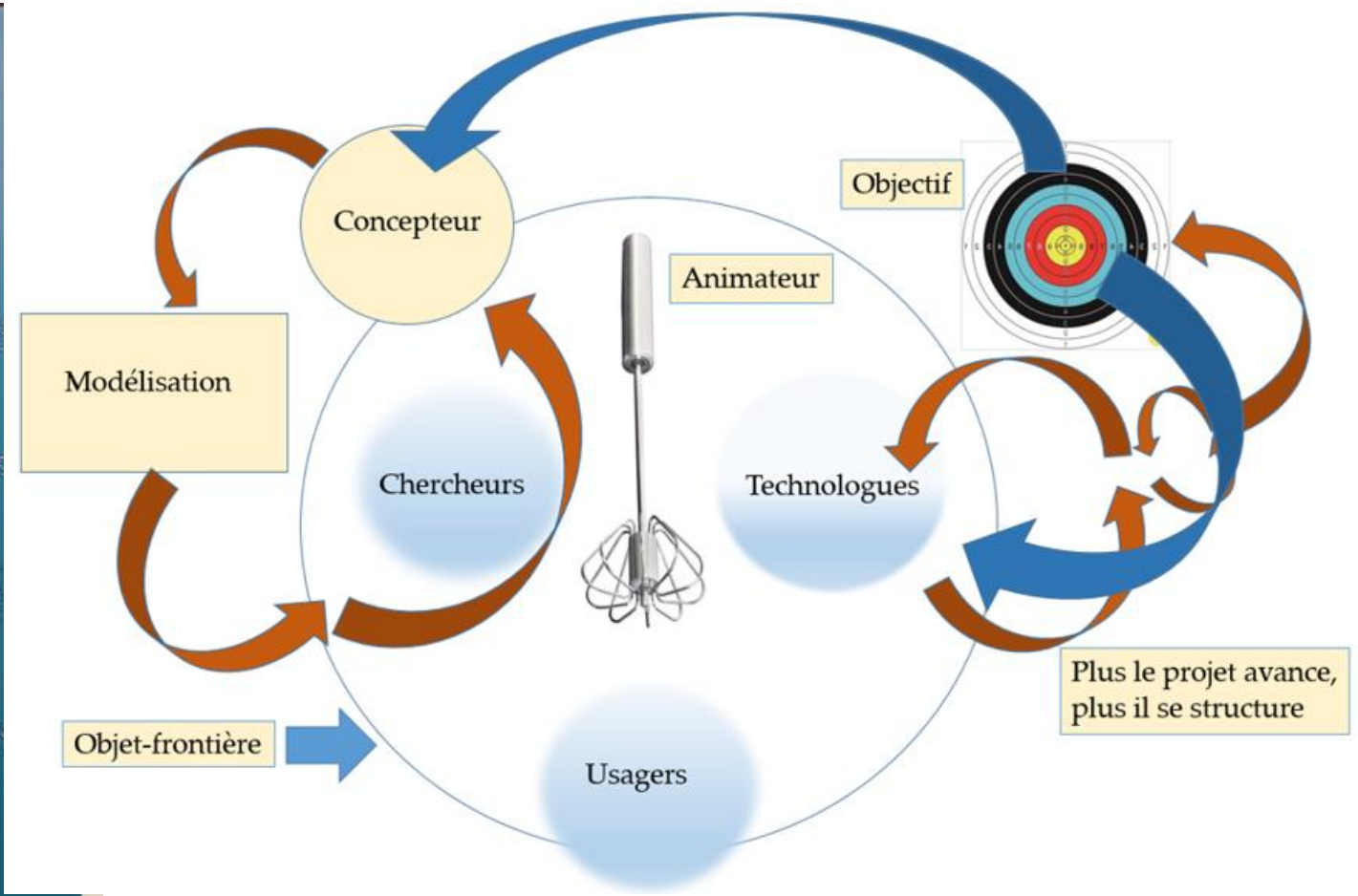


Sous la direction de  
STÉPHANE BLANC  
MOKRANE BOUZEGHOUB  
MARTINA KNOOP

# L'Interdisciplinarité

Voyages au-delà des disciplines

CNRS ÉDITIONS

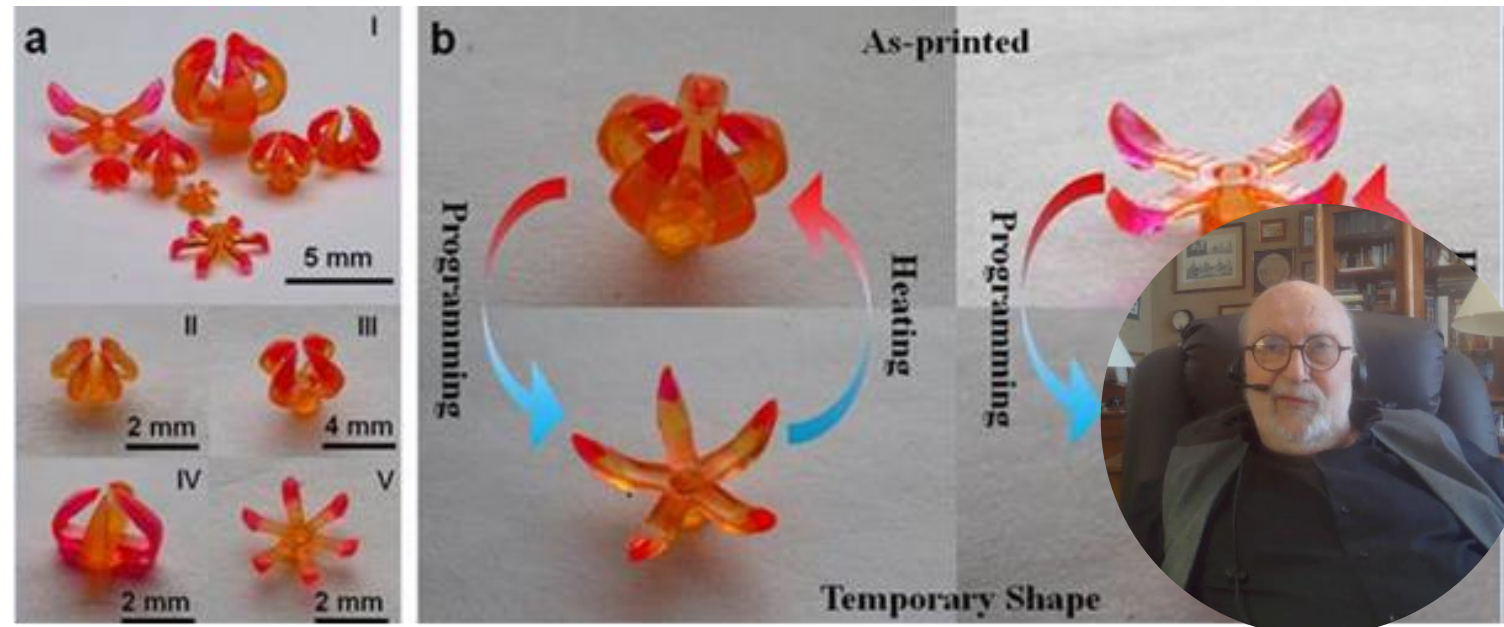
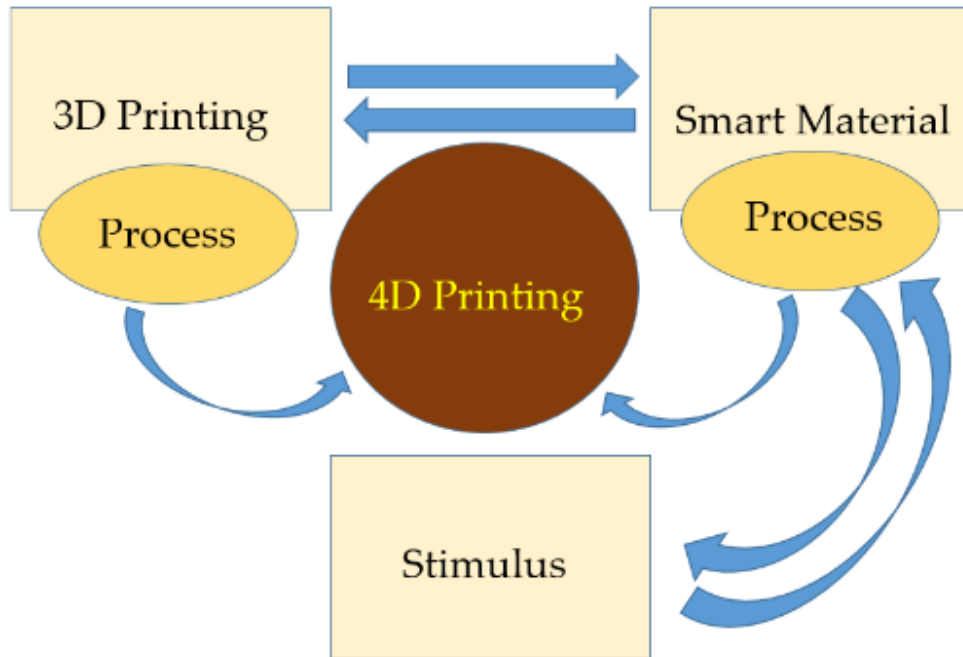


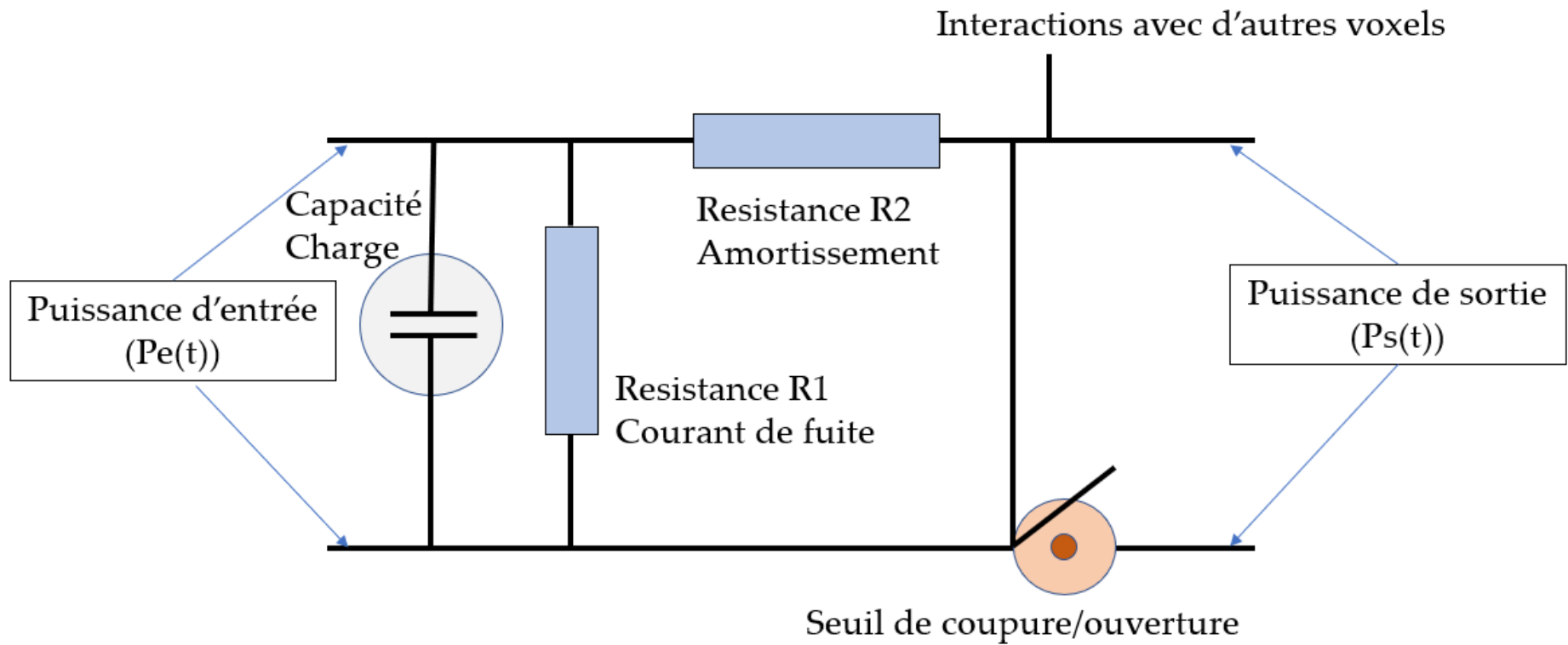
*c'est pas d'la tarte*



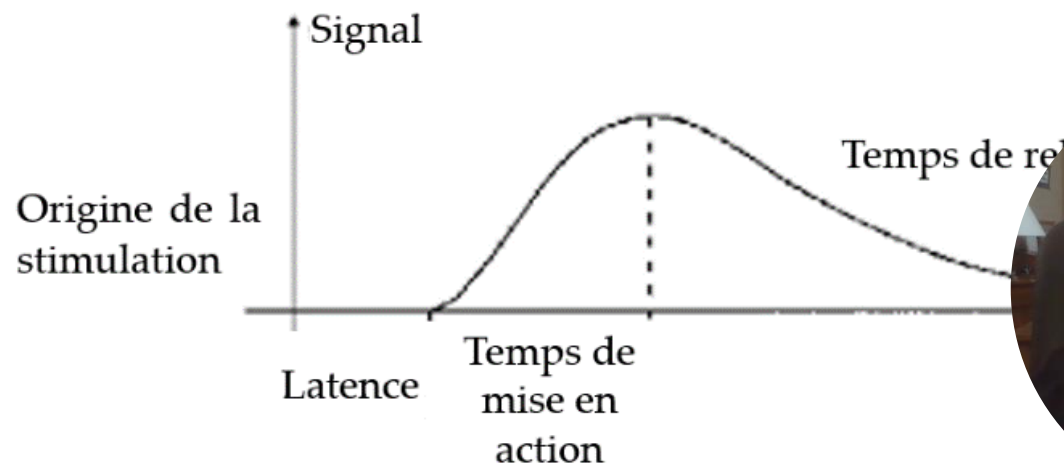


# Le passage du déterminisme à la complexité : L'impression 4D





$$\text{Rendement} = \int Ps(t).dt / \int Pe(t).dt$$



### Courbure



### Pliage



### Torsion



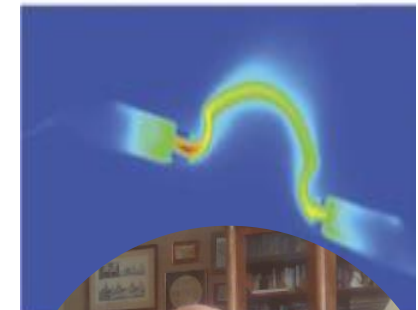
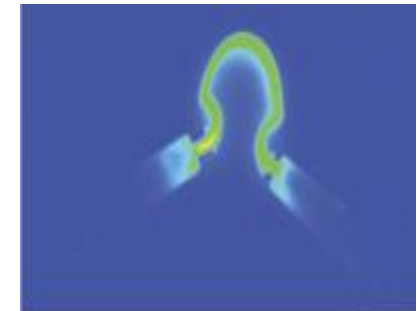
### Expansion/Contraction



### Changement des propriétés chimiques

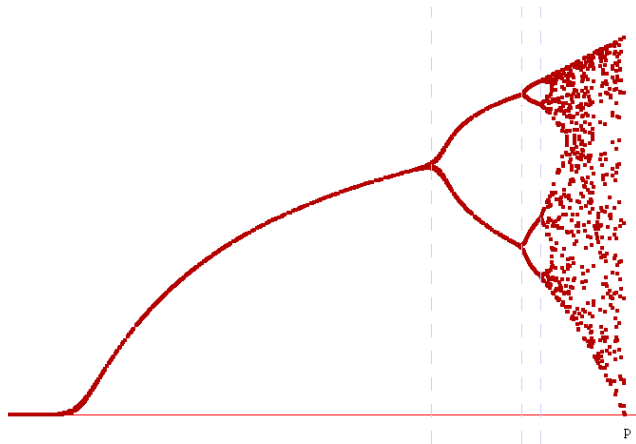


### Changement d'état

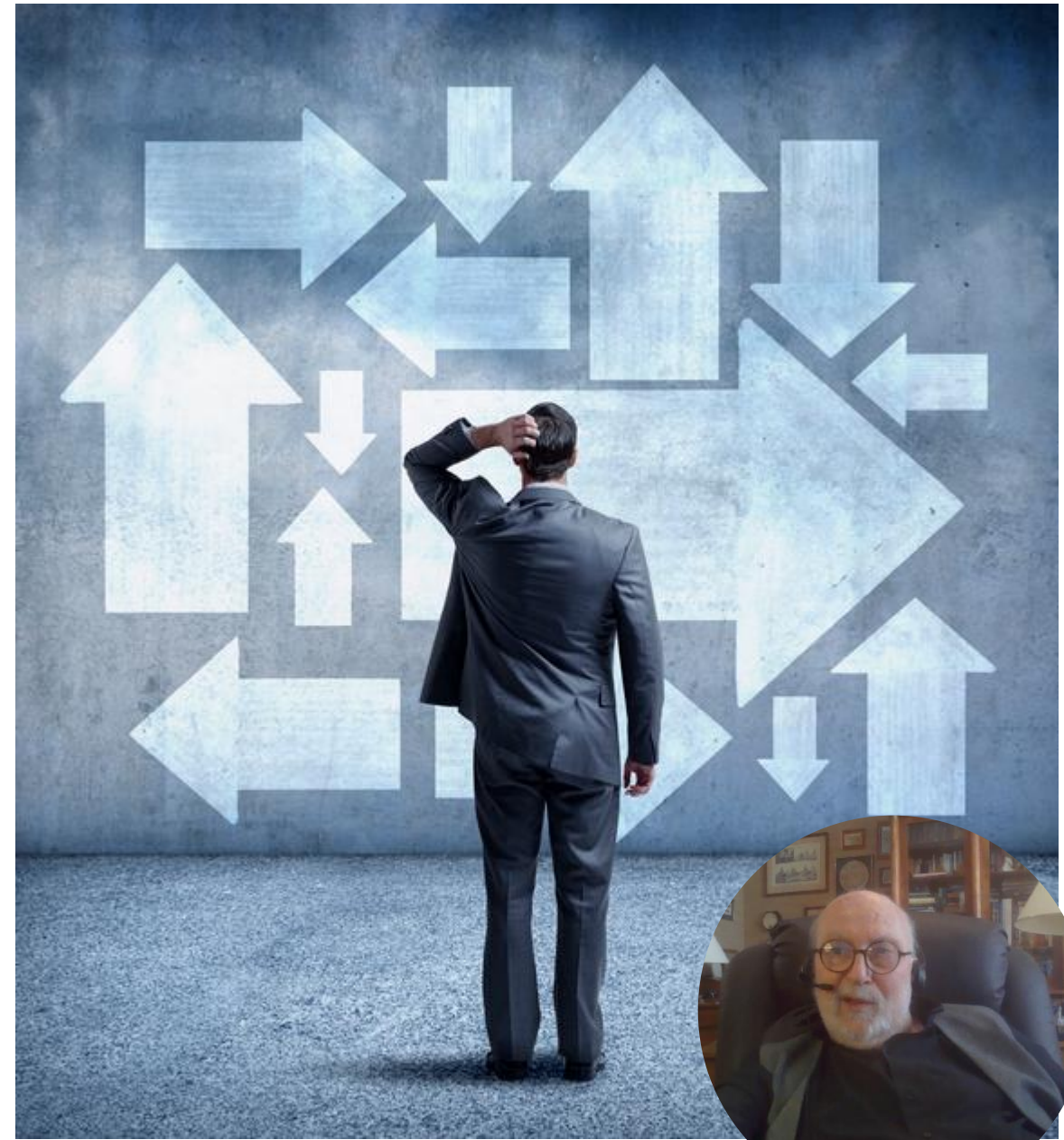
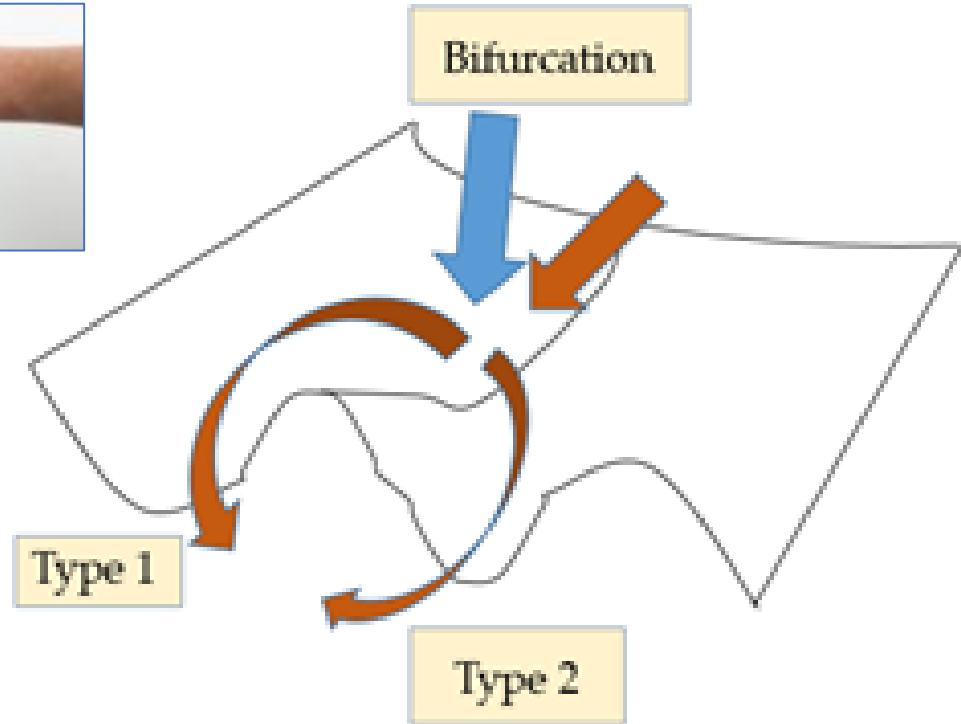








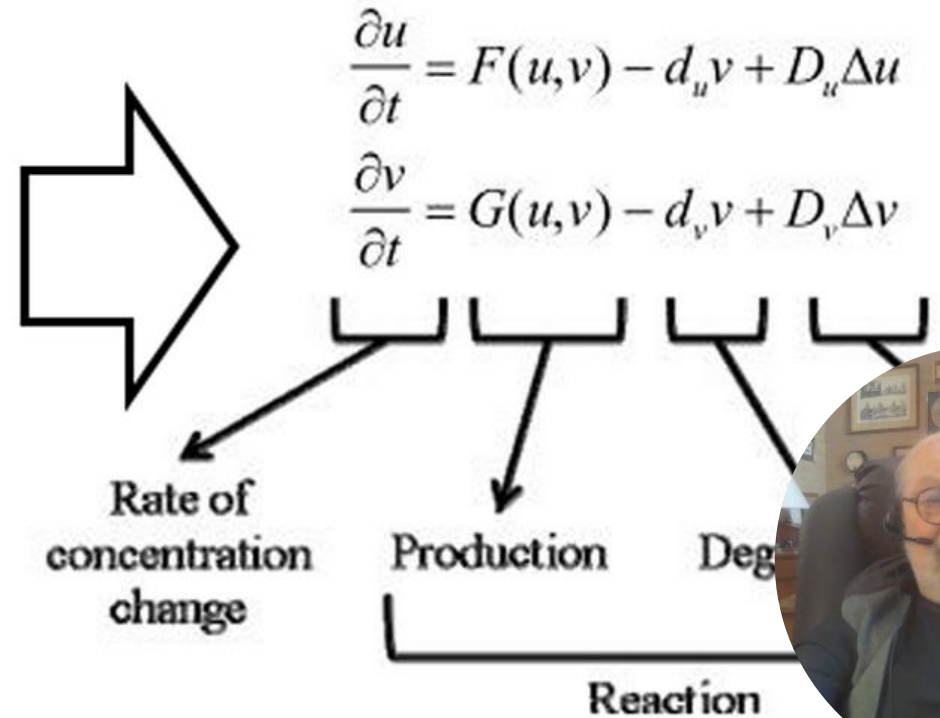
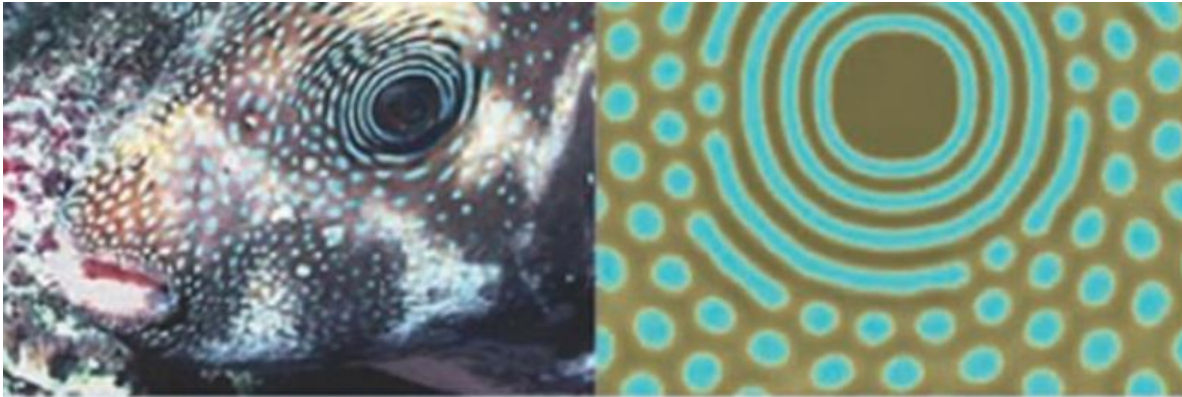
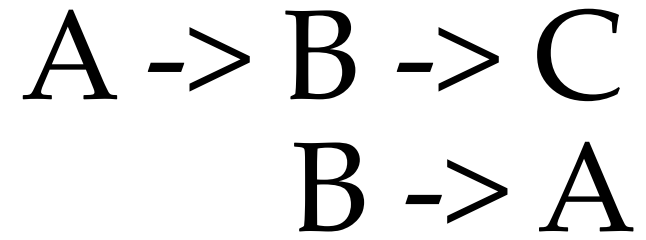
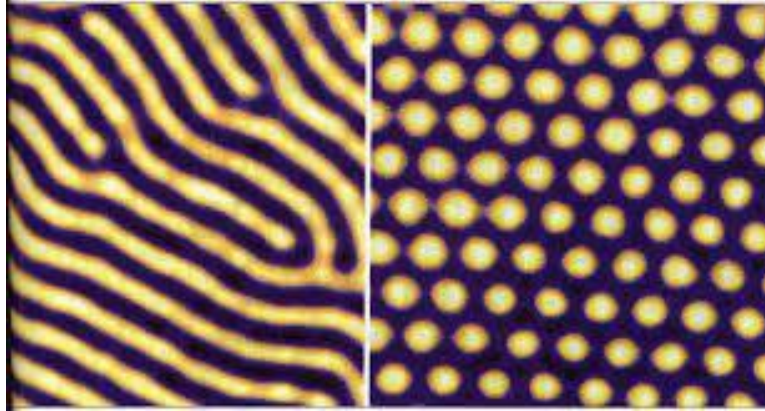
Complexité,  
chaos,  
bifurcations,  
etc.





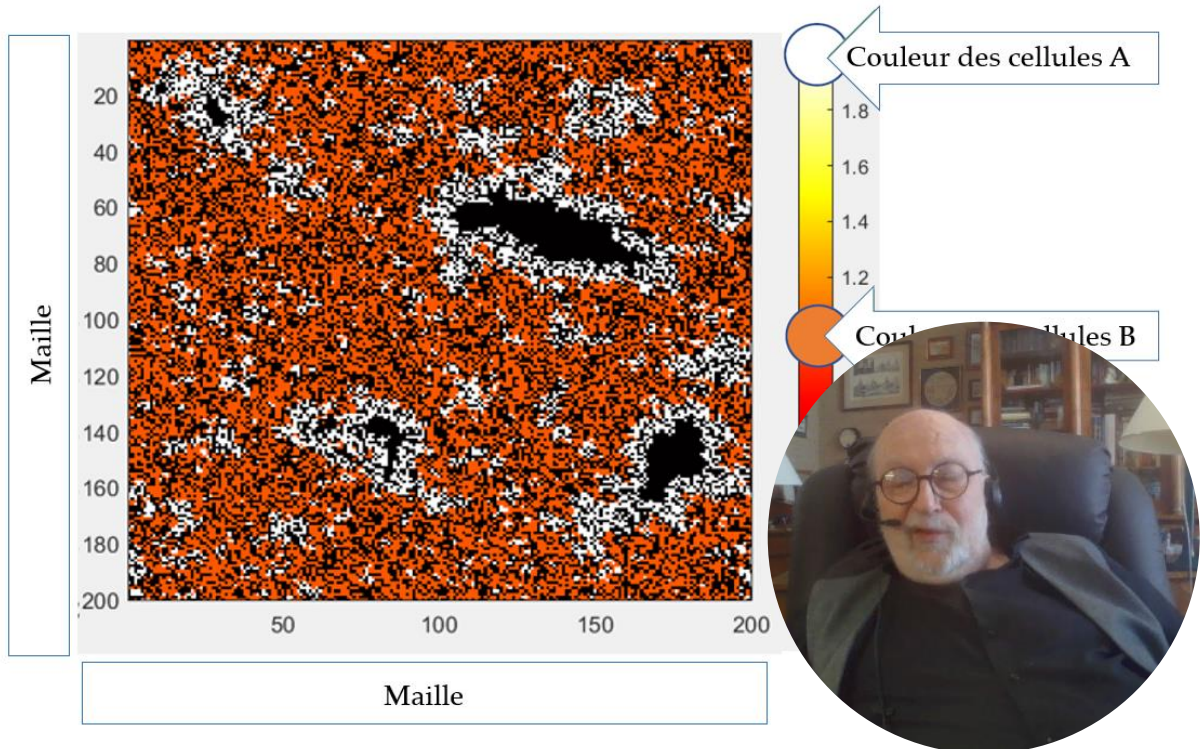
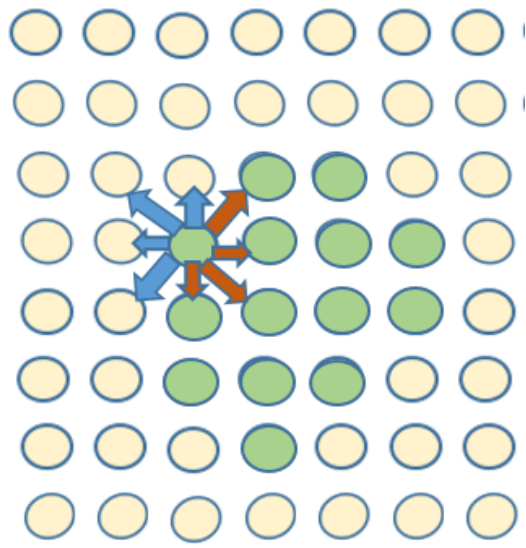
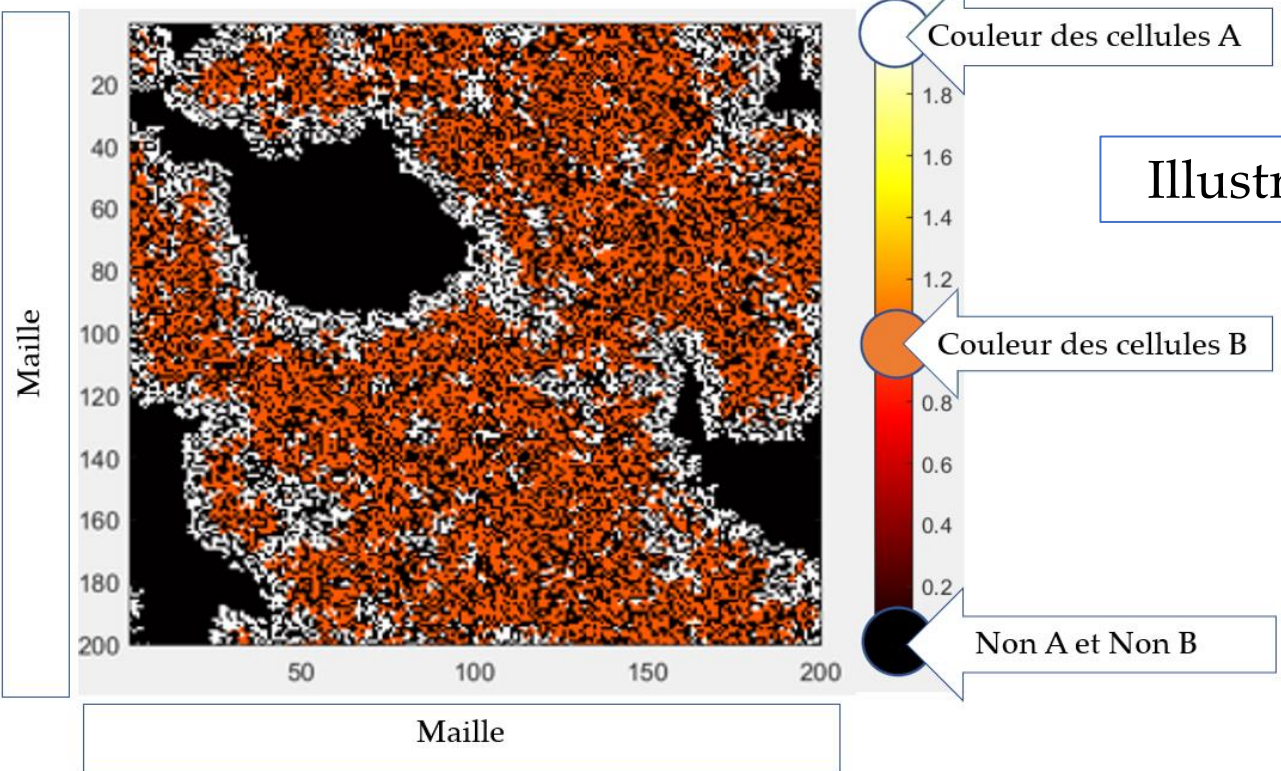


Alan Turing





# Illustration des effets des bifurcations en bio-printing



« Nous devons nous débarrasser de l'idée que l'étude minutieuse d'un problème basé sur un éventail étroit de questions est le seul type de travail à prendre au sérieux, tandis que la pensée intégrative doit être reléguée au rang de conversation de cocktail » (Murray Gell-Mann, prix Nobel de physique)...

# INTER DÉPENDANCES

Coût

Temps de réalisation

Effet(s) 4D souhaité(s)



Le Graal !

Procédé 3D

Imprimabilité

Mono/multi-matériaux

Forme des voxels

Métamatériaux, amplifications diverses



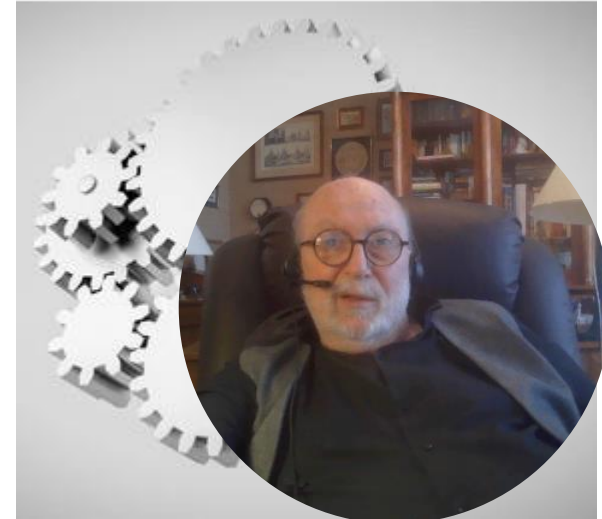
Conceptions (3D et 4D)

Stimulations :  
Résolues dans le temps,  
dans l'espace

Réversibilité

Fatigue

Complexité

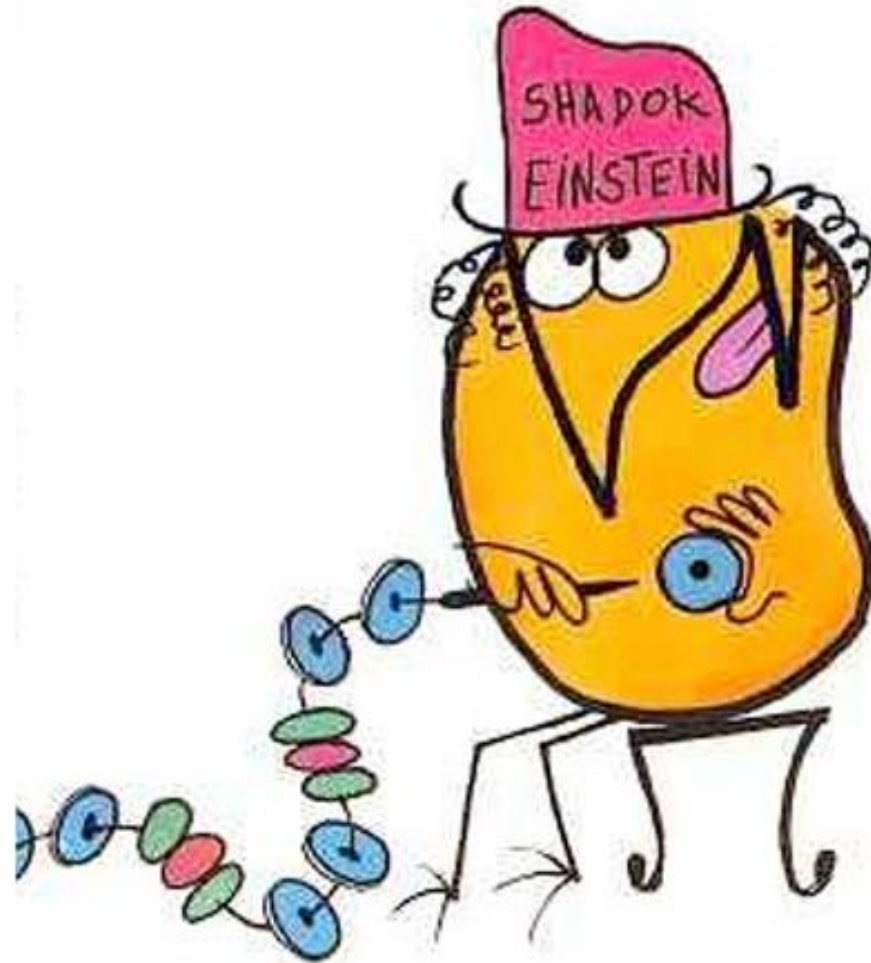




Les devises Shadok



LA PLUS GRAVE MALADIE  
DU CERVEAU C'EST DE  
RÉFLÉCHIR.



IL VAUT MIEUX MOBILISER  
SON INTELLIGENCE SUR DES  
BETISES QUE MOBILISER  
SA BETISE SUR DES CHOSES  
INTELLIGENTES.

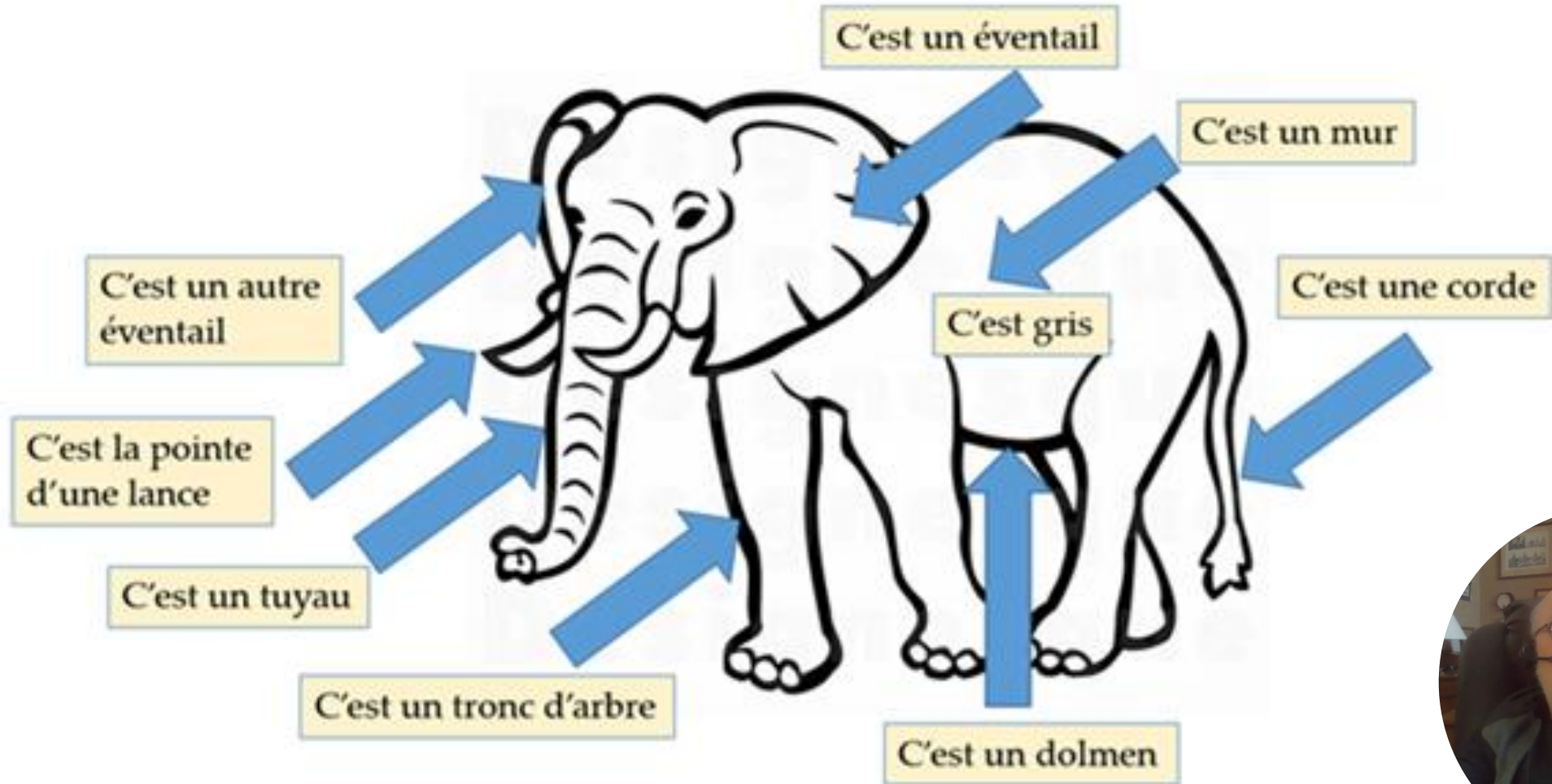




Questions	Fabrication additive	Impression 4D
Peut-on restituer l'idée, son traitement depuis sa complexité grâce à une forme synthétique de formulation utilitaire ?	La fabrication dépend des matériaux adaptés à une technologies 3D	Les performances dépendent d'autres facteurs souvent mal maîtrisés
Comment conceptualiser cette formulation ? Et comment représente-t-on ce qu'on a conçu ?	Une approche de type ISO peut être utilisée	Le devenir sous stimulation de l'objet 4D reste qualitatif
La représentation du projet interdisciplinaire influence-t-elle le groupe projet impliqué dans la réalisation d'objets complexes 3 ou 4D ?	Association de savoirs pluridisciplinaires pour construire un objet 3D	Abord de la complexité avec une interdisciplinarité spécifique
Effet des représentations en conception incrémentale ou de rupture sur les échanges entre les acteurs : réductionnisme, standardisation ?	Recherches sur les matériaux sont plutôt incrémentales	L'entreprise a besoin d'un modèle déterministe pour produire
Existence d'outils pour une meilleure compréhension des intentions de conception ?	Les méthodes de conception existent	Ces outils pour des preuves d
Définition d'un modèle de l'activité de conception ? Et si oui, comment ?	Modèle déterministe classique	Publications restant au stade

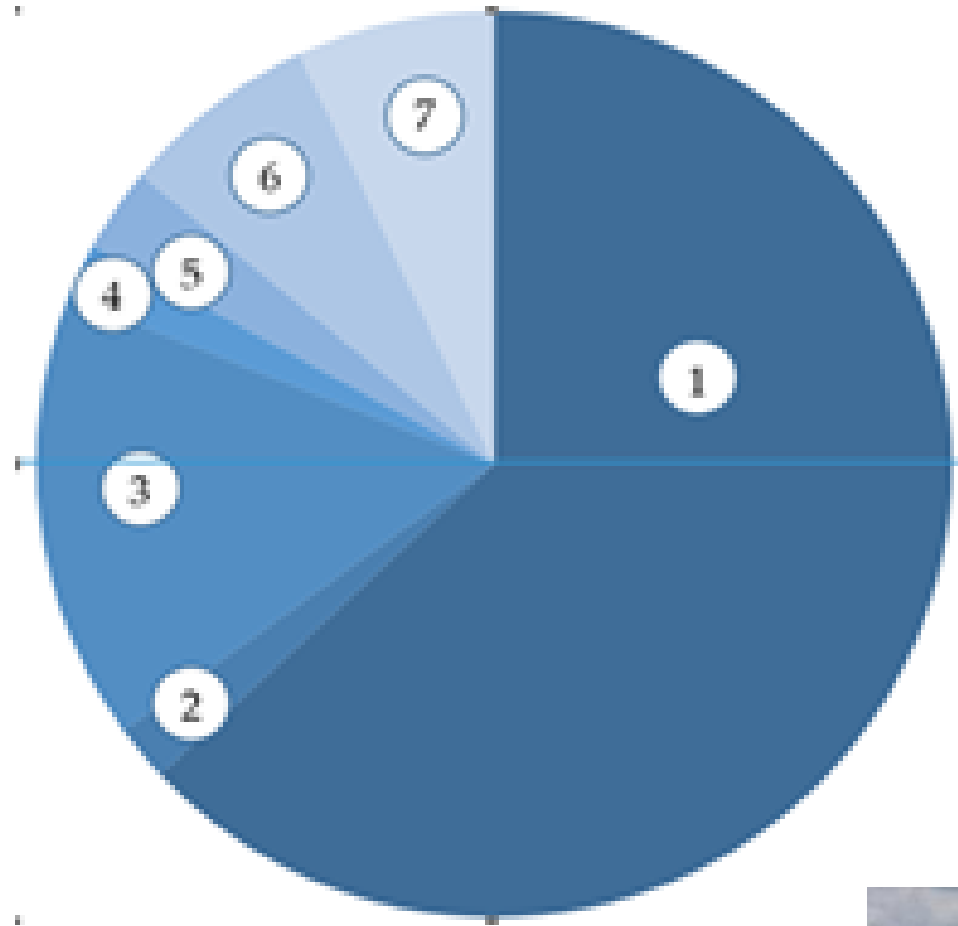


# Interdisciplinarité





1- Matériaux organiques et leurs stimulations ; 2- Matériaux inorganiques et leurs stimulations ; 3- Articles de synthèse ; 4- Modélisations ; 5- Divers ; 6- Applications et 7 : Procédés (dont les origamis 4D).

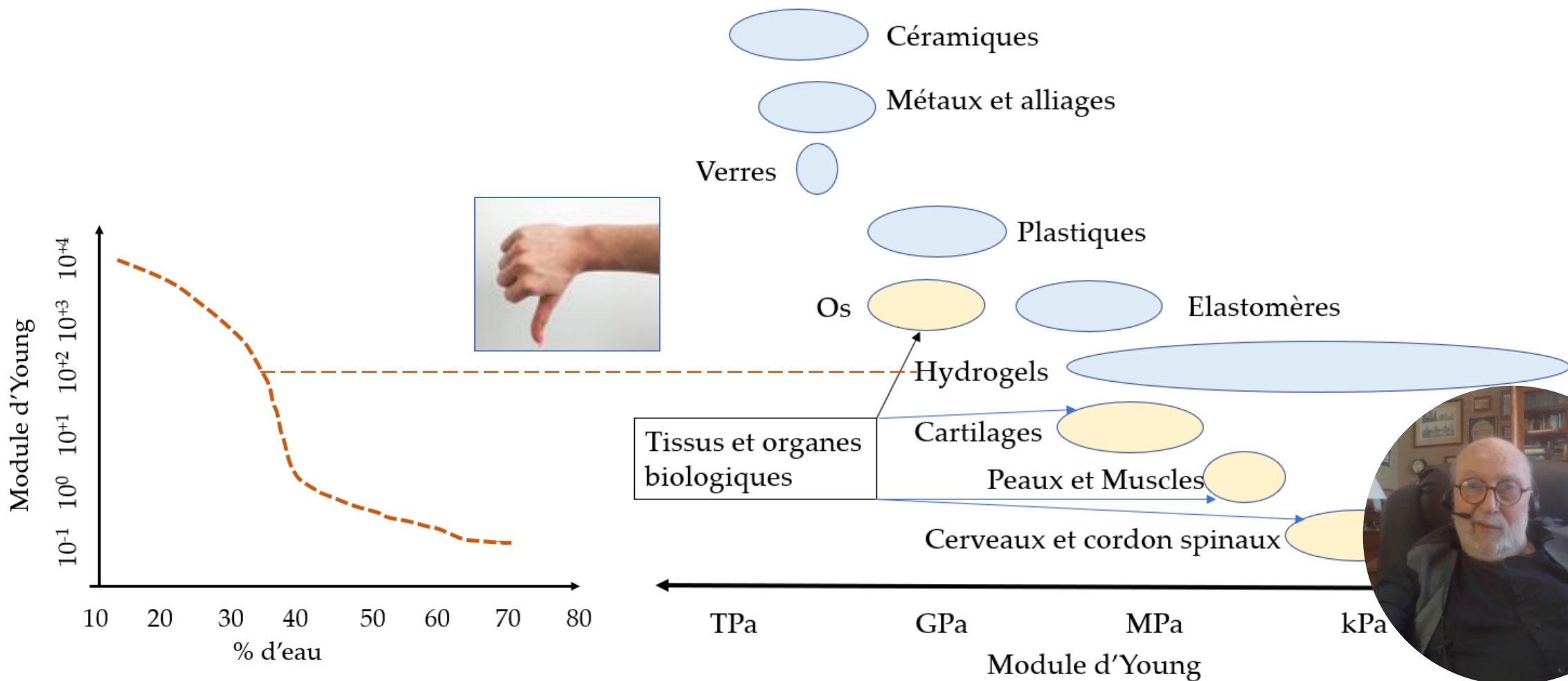


(1 : 63% ; 2 : 2% ; 3 : 16% ;  
4 : 2% ; 5 : 3% ; 6 : 7% ; 7 :  
7%)

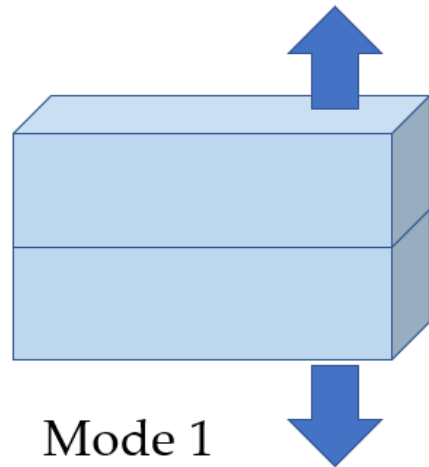




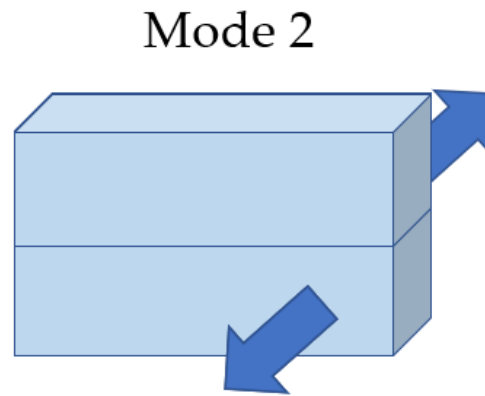
# Module d'Young



# Imprimabilité



Mode 1



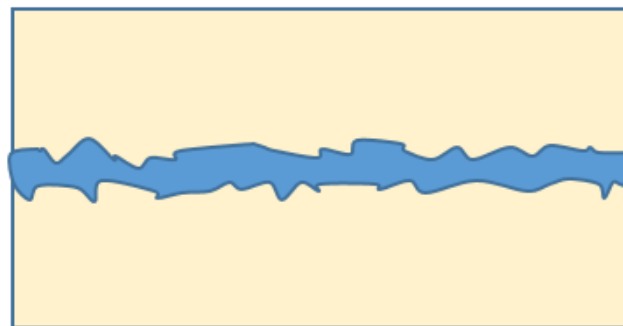
Mode 2



Mode 3



Surface lisse : pas d'ancrage

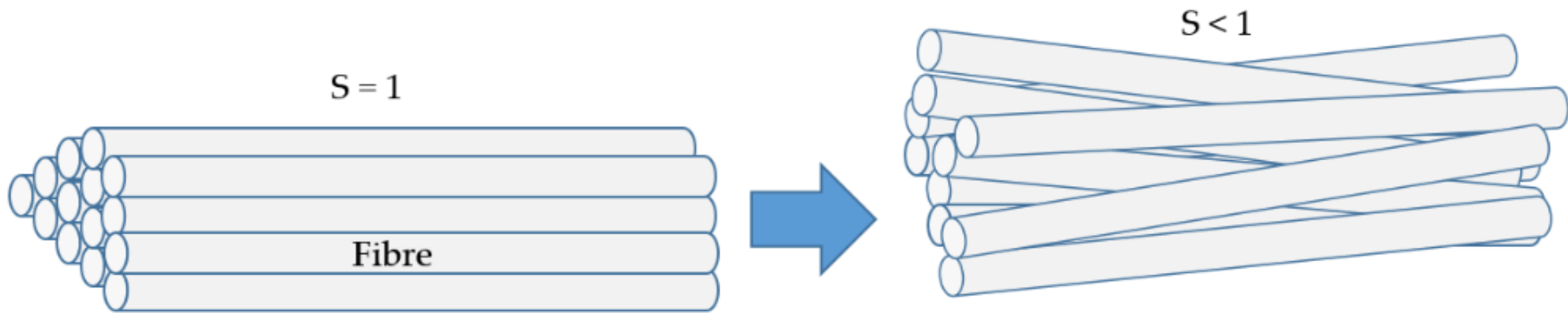


Rugosité optimale : Ancrage



Rugosité élevée : C  
dans les cavités rest

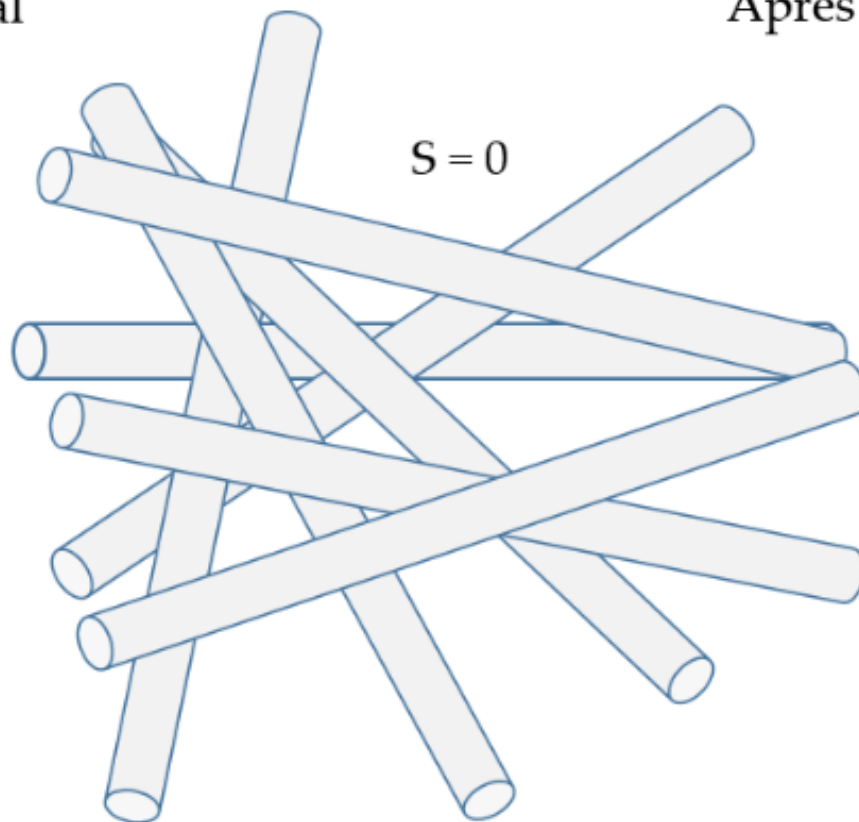




Ordre maximal

Après une stimulation

Perte d'efficacité

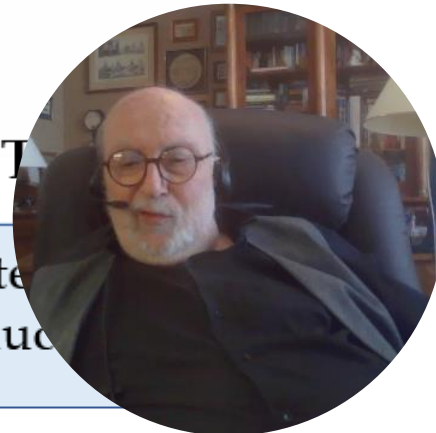
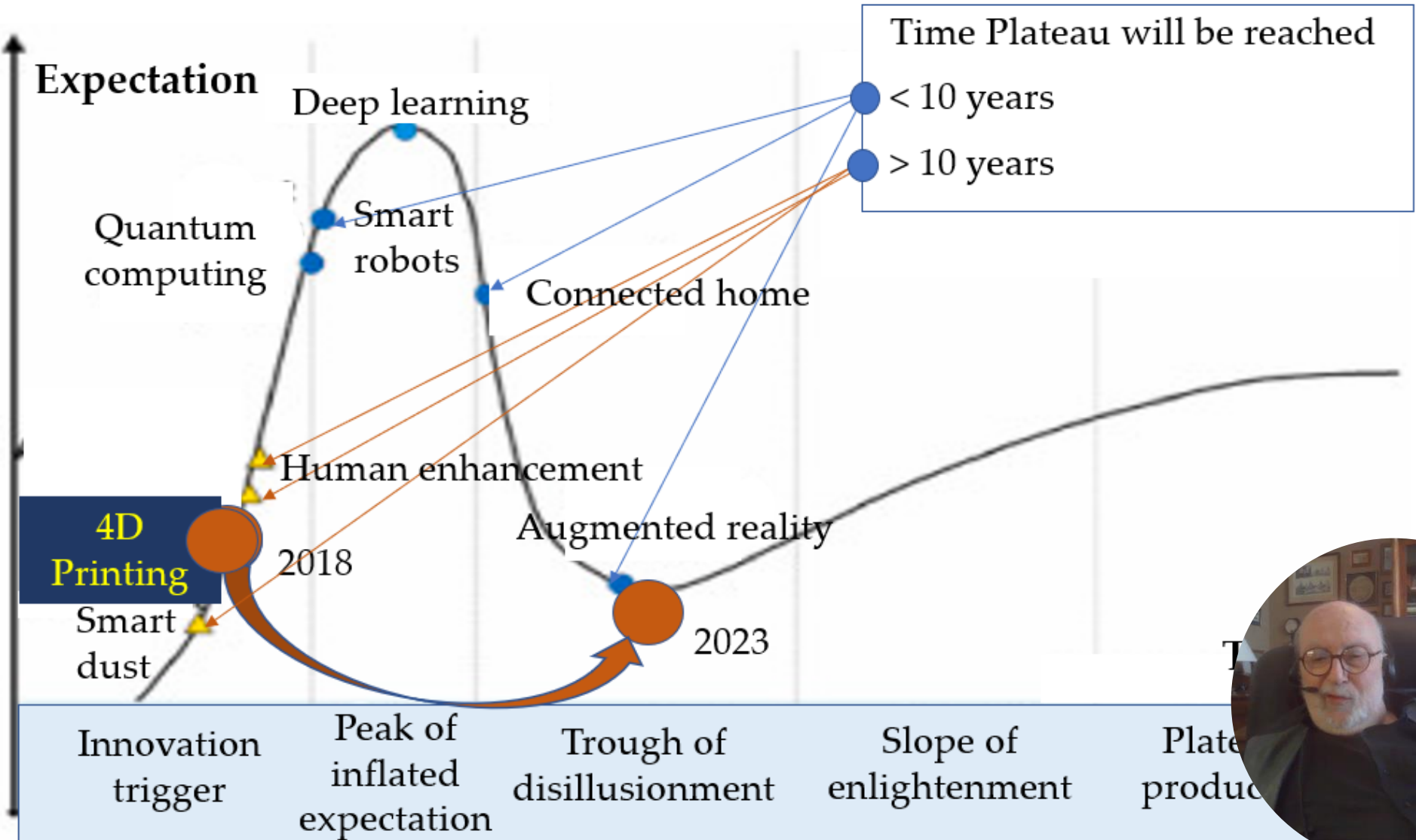
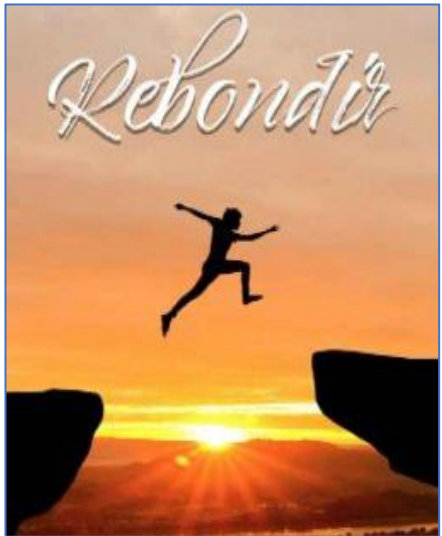


Désordre induit par de nombreuses stimulations

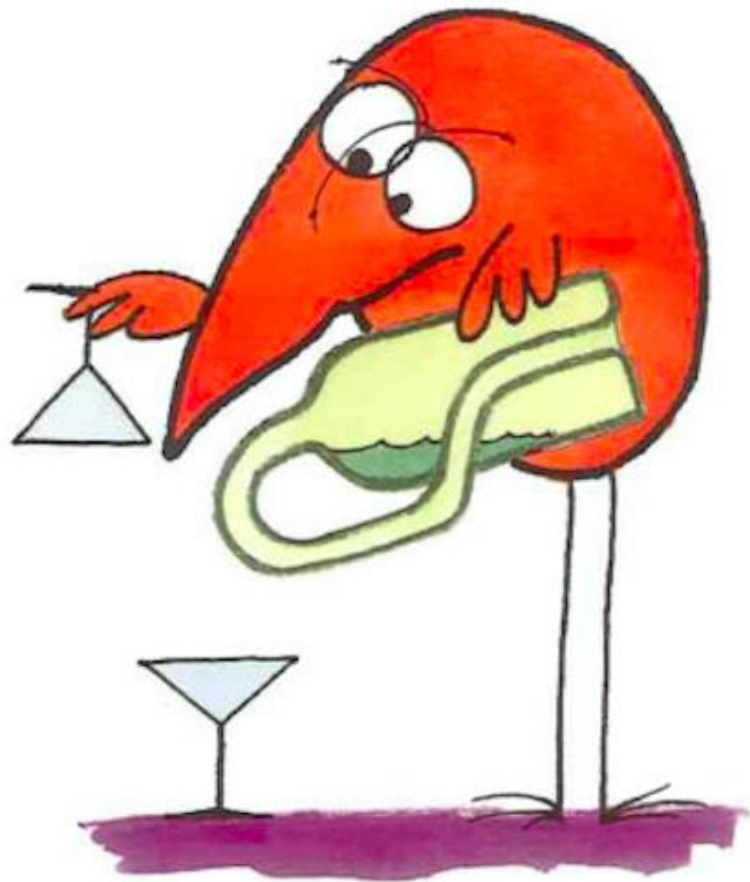




# Hype



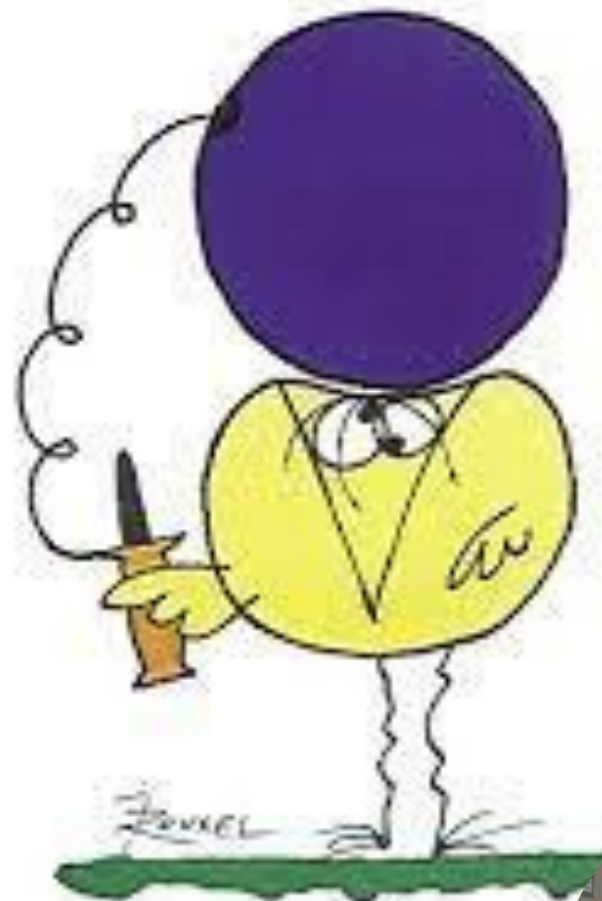
# La devise Shadok de la semaine



S'IL N'Y A PAS DE SOLUTION  
C'EST QU'IL N'Y A PAS DE PROBLÈME.

4D

# Les devises Shadok



EN ESSAYANT CONTINUEL  
ON FINIT PAR RÉUSSIR  
PLUS ÇA RATE, PLUS ÇA  
DE CHANCES QUE ÇA MA





C'EST  
TOUT  
POUR  
AUJOURD'  
HUI.



That's all Folks!

