

Quels futurs pour la fabrication de pièces métalliques ?



Dr. Pierre Delvenne
Chercheur qualifié FNRS



Dr. Catherine Elsen
Chargée de cours



Dr. Anne Marie Habraken
Directrice de Recherches FNRS

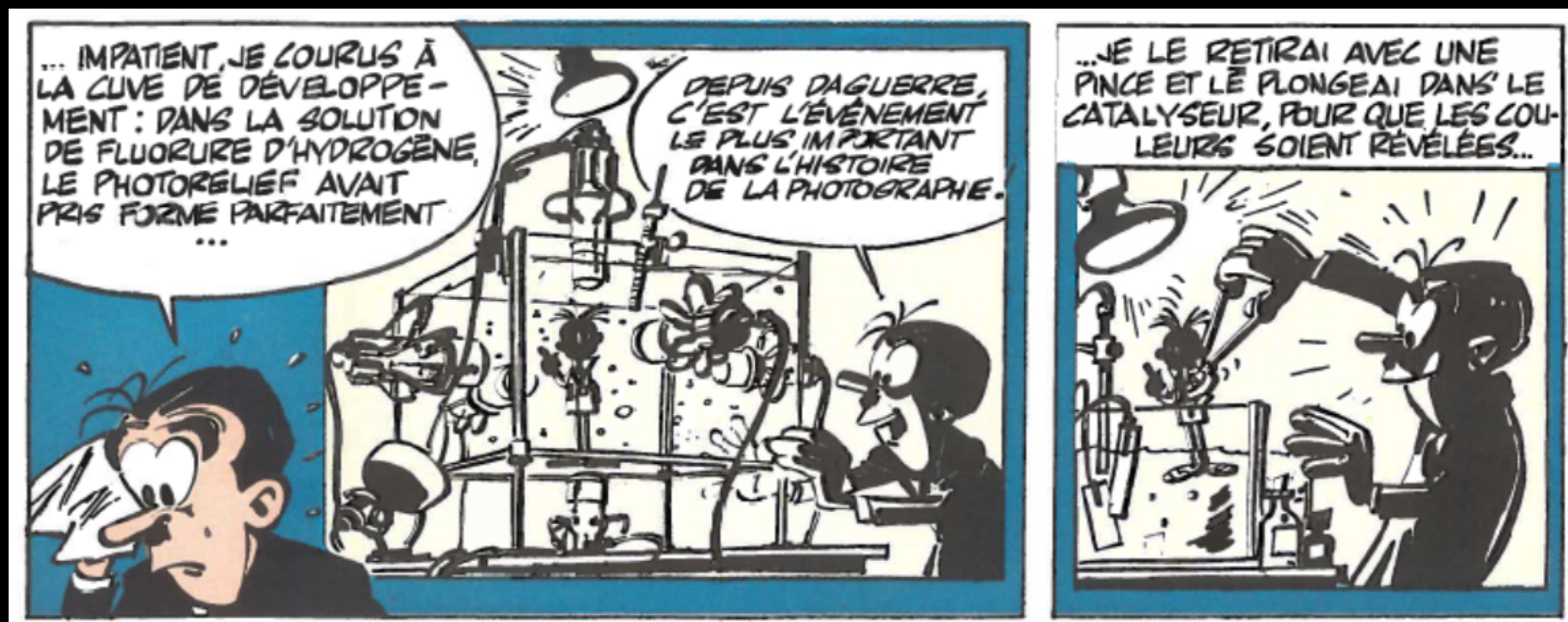
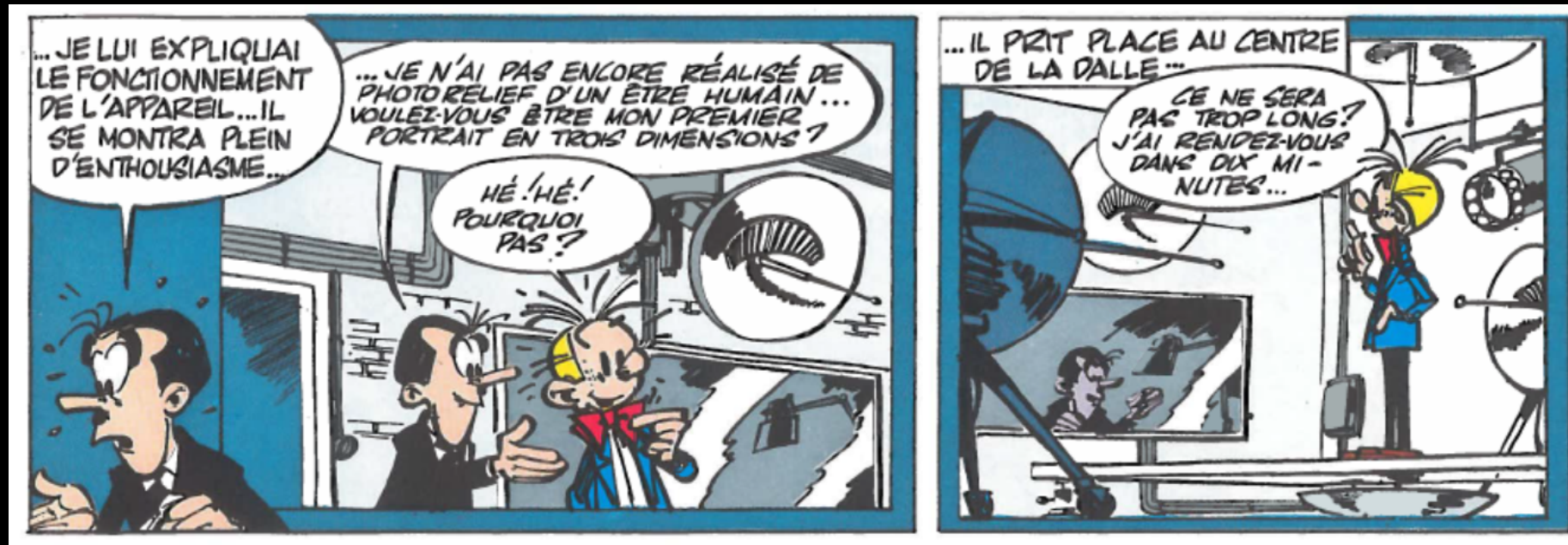
Le futur des processus de fabrication

Plongée dans l'imaginaire révolutionnaire de l'impression 3D

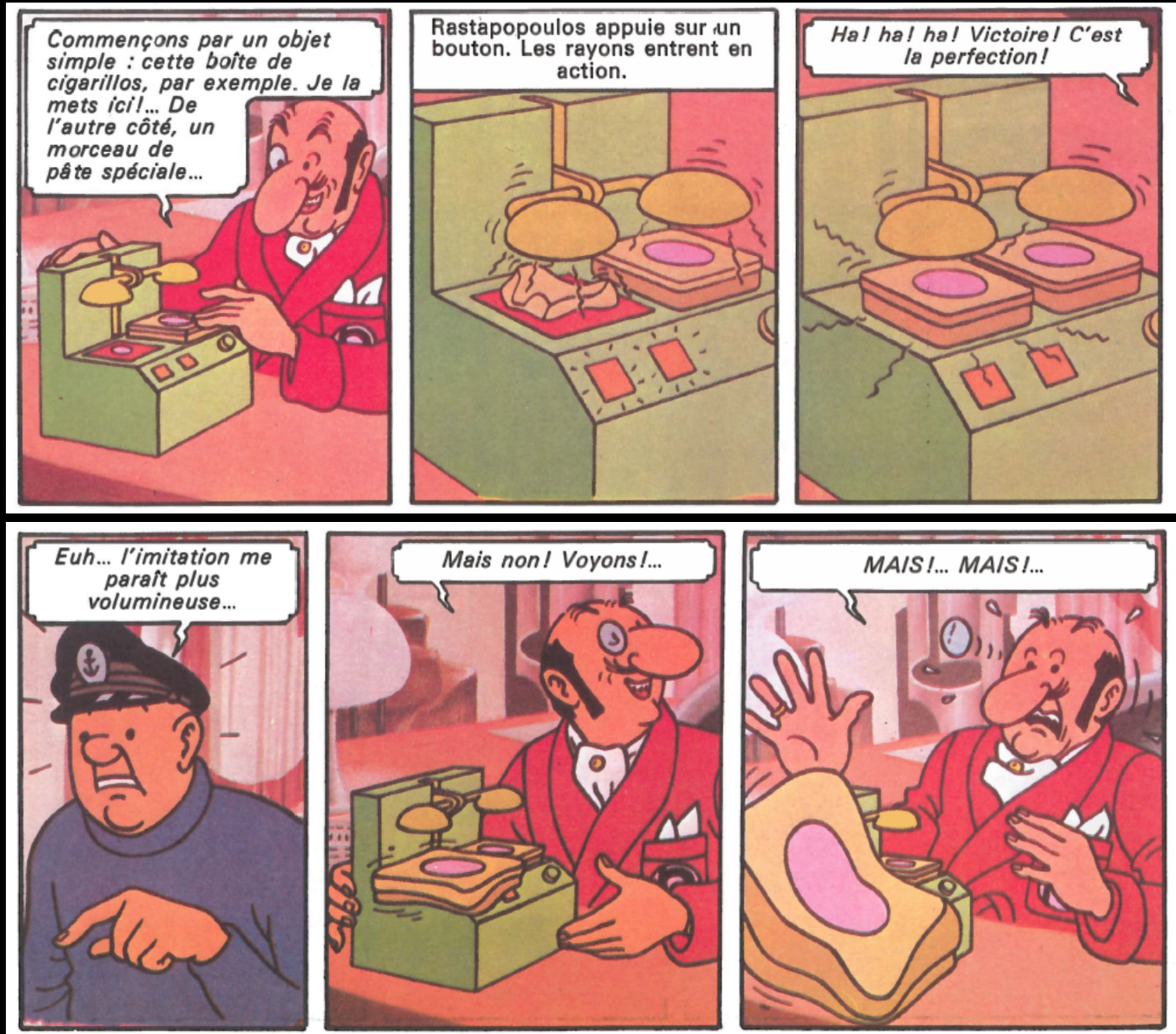


Dr. Pierre Delvenne
Chercheur qualifié FNRS
Directeur adjoint du SPIRAL (Science Politique), Directeur de l'UR Cité

Franquin, « Les petits formats », 1962



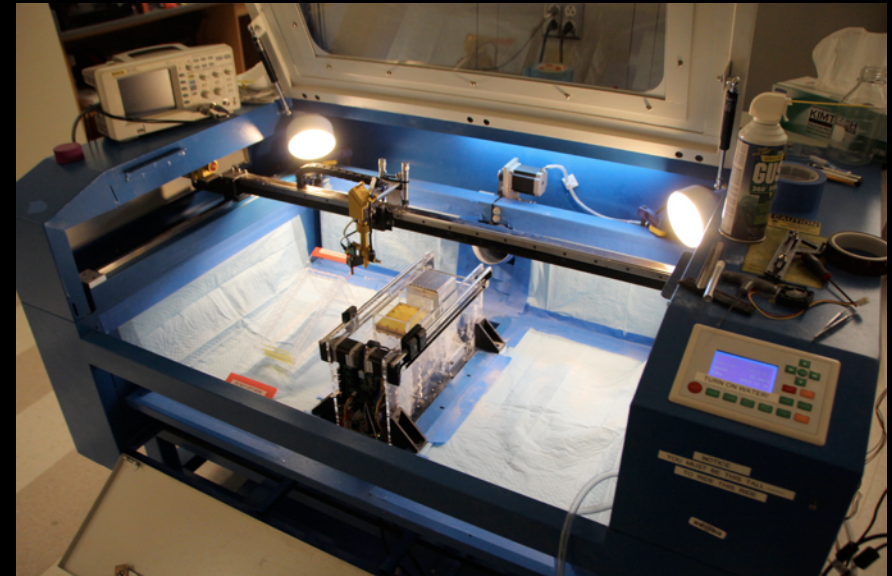
Hergé, « Tintin et le lac aux requins », 1972



Qu'est-ce que l'impression 3D?

La fabrication par **addition** de matière

- Le SLS (Selective Laser Sintering), par polymérisation sélective sous laser d'une couche de polymère liquide ou de granules polymères
- Le FDM (Fused Deposition Modeling), par dépôt scandé d'un filament polymère préchauffé
- Du rapid prototyping à la customization de masse



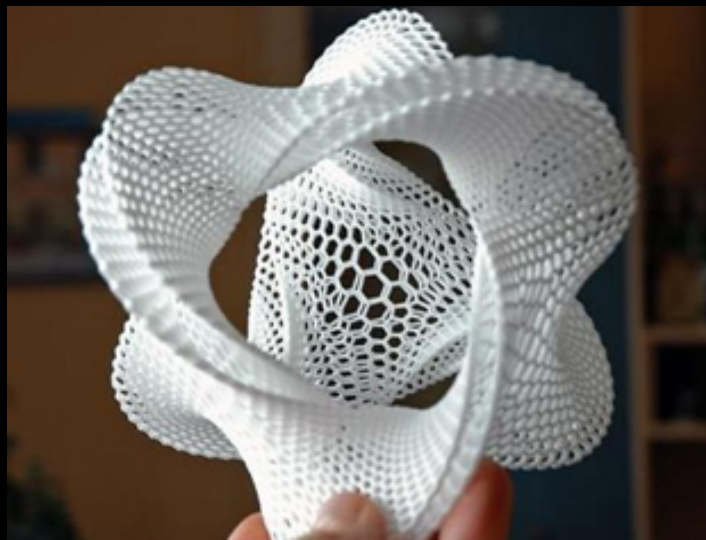
Les matériaux et leurs techniques de mise en oeuvre

1. Les plastiques



Pourquoi faire?

Objets
Complexes
(modélisation)



Objets
utilitaires à faire
chez soi (fun)



Premier pistolet imprimé en 3D



2. Les métaux

Titane et acier inoxydable (moins de perte que le moulage traditionnel, formes plus légères et plus complexes), ou métaux précieux comme l'or, l'argent ou le platine (objets réalisés à partir de moules en cire perdue imprimés en 3D)



Ex: pièces industrielles (aérospatial)
bijouterie,...



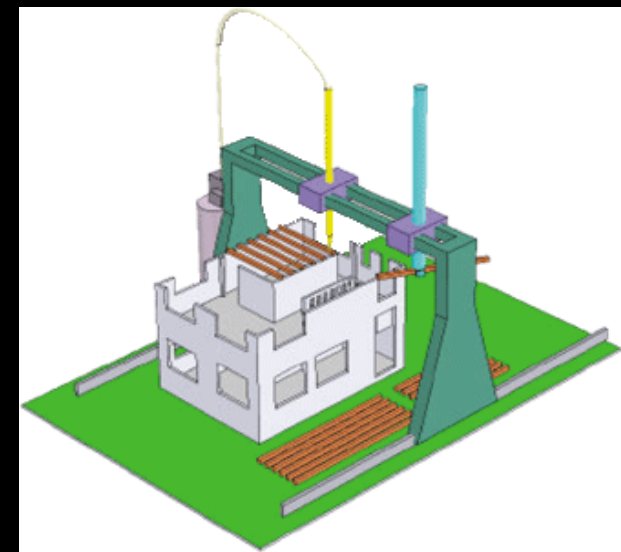
3. Les matériaux céramiques

Dentisterie, implants, ...



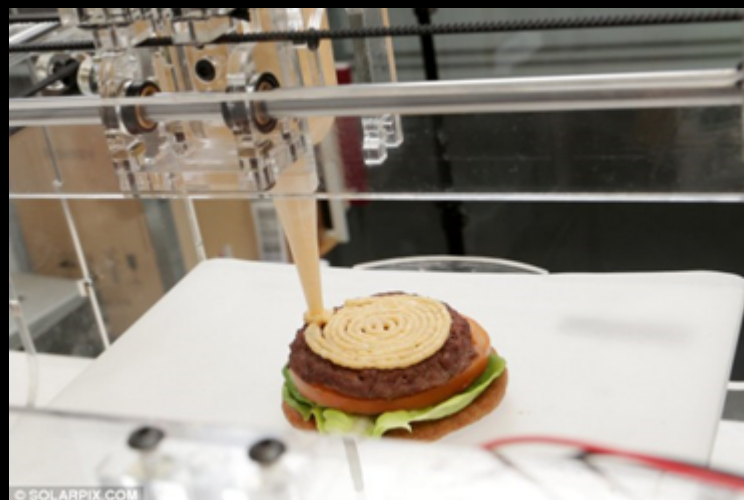
4. Les sables et bétons

Architecture



5. Les matières alimentaires

Chocolat, fromage, pâtes diverses...

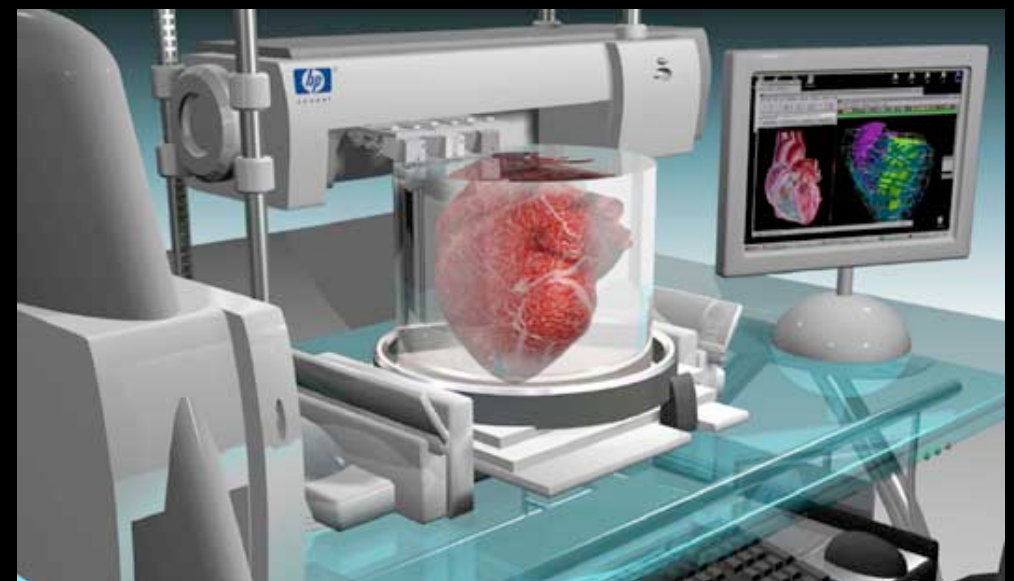
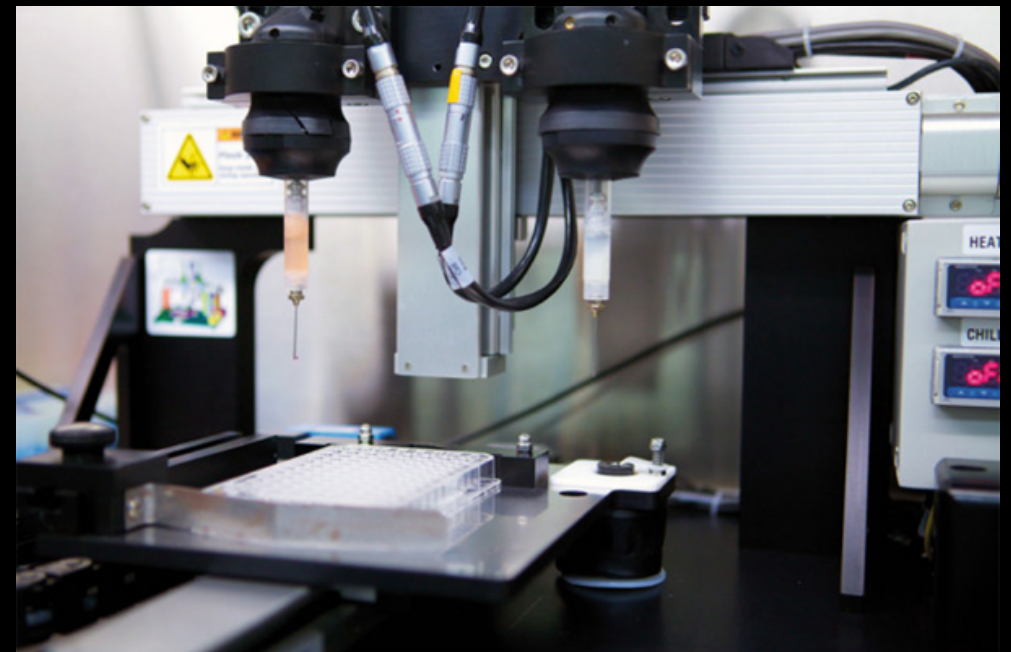


6. Les tissus humains



NovoGen MMX
Bioprinter

Utiliser les cellules vivantes comme matière première. Du tissu humain est fabriqué par impression d'un matériau à base de gel, qui crée une structure dans laquelle sont injectées les cellules, qui peuvent alors se développer



Une nouvelle économie de la production

- L'impression 3D est **à la fois** au centre de processus industriels bien établis (biomédical, aérospatial) et directement accessible au consommateur final (fabrication personnelle)
- D'un domaine emmené par l'industrie, le 3D printing devient progressivement un domaine **investi par l'Etat**
- L'**ouverture** qui caractérise encore ce type d'innovation mérite une attention immédiate avant que certaines potentialités soient fermées et que les effets de verrouillage et de *black-bloxing* ne soient trop engagés

De nouvelles « mentalités de gouvernement » (Rose and Miller 1992)

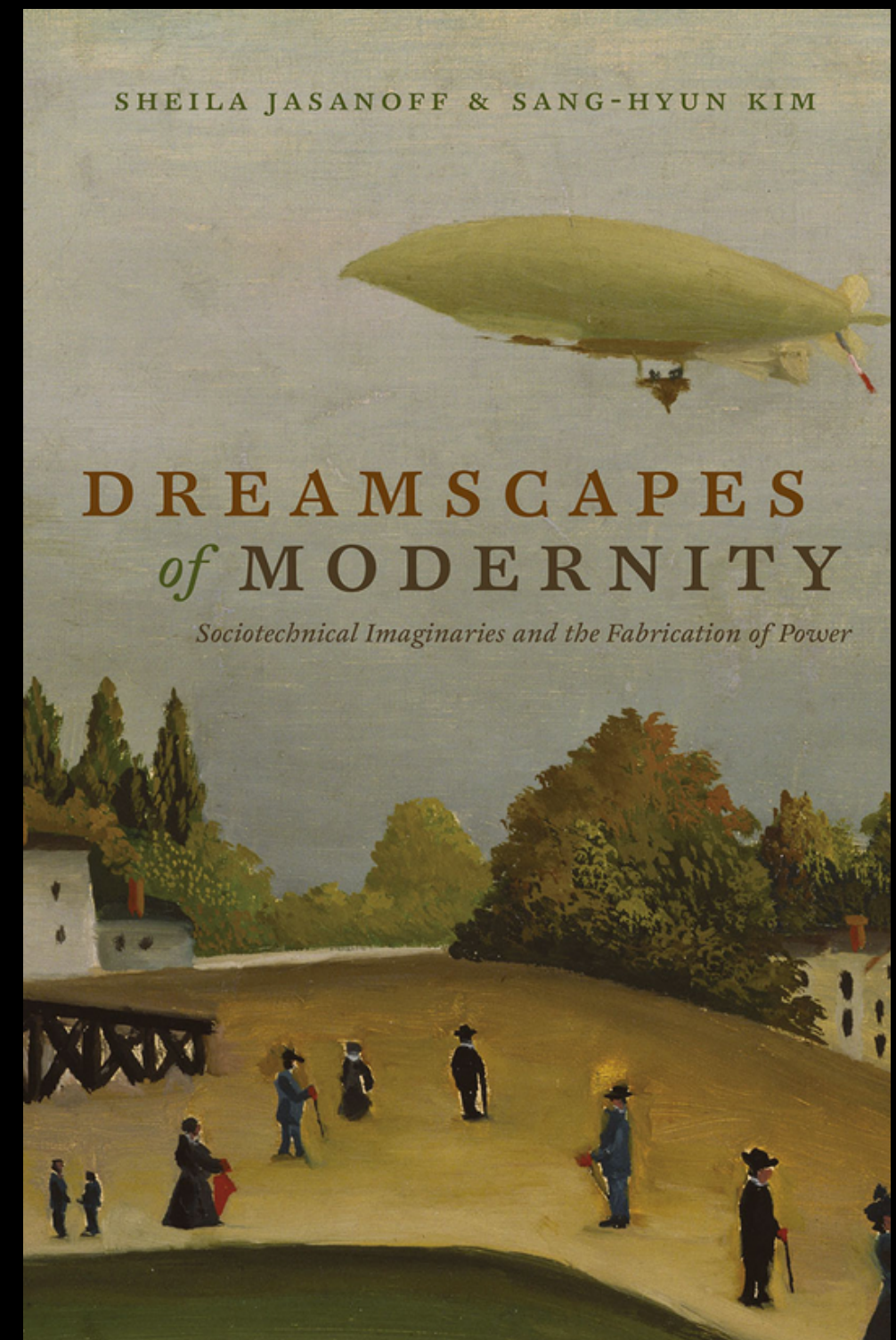


« A once shuttered warehouse is now the state-of-the-art lab where new workers are mastering the 3D printing that has the **potential to revolutionize the way we make almost everything** »

Barack Obama, State of the Union speech, Feb. 2013

Un nouvel acte d'imagination

- Un certain nombre de **visions avant-gardistes** (Hilgartner 2015) sont articulées
- L'acte d'imagination a pour ambition de devenir un **imaginaire collectivement partagé**
- L'imaginaire déplace la question du fantasmé vs le réel: il a de **puissants effets performatifs** sur les pratiques, relations, engagements...



“Some of the value being created in 2050 will derive from wholly **unanticipated breakthroughs** but many of the technologies that will transform manufacturing, such as additive manufacturing, are **already established or clearly emerging**”

Foresight 2013: 20



Foresight

**Government
Office for Science**

“Never before has it been **so easy [for makers] to create** or modify something with minimal technical training or investment in tools”

(Deloitte 2014 : 3)



“**Everyone** can start
in his garage and
become the new
Mark Zuckerberg”

Chris Anderson,
Liège, 5 novembre
2013



« Faire de l'innovation
technologique et de
la créativité un
véritable **moteur du
développement**
économique et
humain de la
Wallonie »

J e a n - C l a u d e
M a r c o u r t , 1 2 a v r i l
2 0 1 3



A quoi sert un imaginaire?

- **Envisager un futur** dans lequel les problèmes socio-économiques auront été solutionnés par les technologies
- Générer des **attentes** par rapport à ce futur qui sont **constitutives et performatives** du présent (Brown and Michael 2003, Borup et al 2006)
- Articuler des **promesses** (compétitivité étatique, *empowerment* des individus)

Cornucopia

- **Imaginaire d'abondance** des ressources naturelles, matérielles et créatives
- **Construit politique** reposant sur des (activités de) promesses basées sur le **potentiel** de la 3D
- Qui **facilite et entrave** des déplacements de façon à protéger et étendre un régime néolibéral d'accumulation de capital et d'extension d'une logique de marché



Le corollaire de la rareté

- Cadrage de l'économie de la production en termes de **solutions à des menaces communes**:

« Produire dans un contexte de rareté, changement climatique, aliénation par la consommation de masse, expropriation et chômage, apathie des individus, distanciation dans la course à la compétitivité... »



La co-production de nouveaux publics

- Expression créative, économie de partage, innovation par le bas, community building, DIY
- « The inexorable rise of **crapjects** » (Ellis 2013)
- Démenti par résultats empiriques récents (numéro special *journal of peer production*)
- La création est **toujours déjà limitée par la propriété intellectuelle** (Soderberg 2010)



Conclusions

- Les pratiques politiques induites par l'imaginaire révolutionnaire **laissent dans l'ombre les causes des menaces** que l'impression 3D est censée solutionner (et aucune attention n'est portée aux inégalités sociales)
- La nouvelle économie de la production nécessite un **examen critique et réflexif** immédiat
- Les enquêtes au niveau micro doivent être **situées dans leur contexte** au niveau macro afin de « dissocier le 'micro-comment' du 'macro-pourquoi' et du 'macro-pourquoi pas' » (Goven and Pavone 2015)

Merci pour votre attention!

- Contact: pierre.delvenne@uliege.be
- Delvenne Pierre et Vigneron Lara (2017): « *On the disruptive potential of 3D printing* », disponible sur ORBI

Le futur des processus d'innovation

De l'entreprise aux lead-users: bilan d'un transfert



Dr. Catherine Elsen

Chargée de Cours ULiège
LUCID, UEE, FSA

Research Affiliate MIT
Ideation Lab, Dpt. Mech. Eng.



innovation ascendante
« lead users »



appropriation des
écosystèmes



innovation par la
fabrication digitale

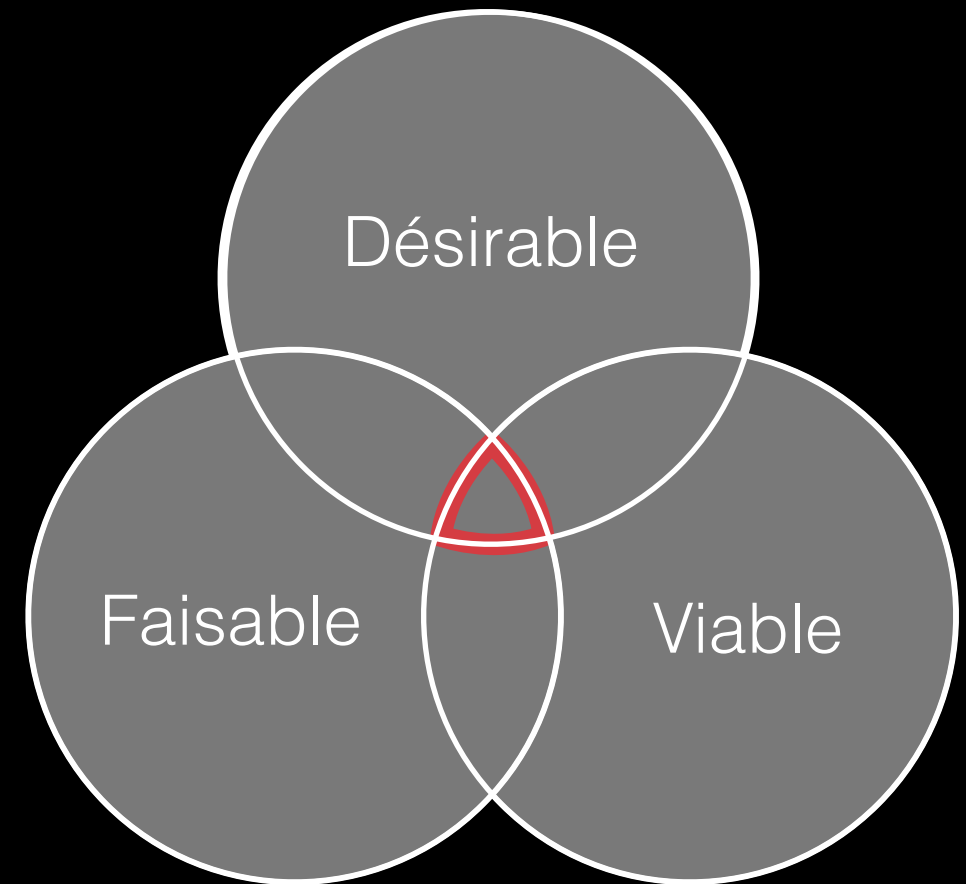
« Historically, we've assumed that producers are the innovators. But when you look at innovations consistently, **users are first.** Users are the **pioneers.** »

Eric von Hippel, 2016,
MIT Sloan School of Management



Le « lead user »

- Frustré par un service / produit **inadéquat** ou **inexistant** (Norman, 2013)
- Volonté de rester en contrôle du **processus**, de l'**output** et des **données** (Cole-Colander, 2003; Luck & McDonnell, 2005)
- Volonté de **concevoir** en réponse à ses **besoins propres** (von Hippel, Ogawa & de Jong, 2011)
- **Evolution:** du modèle « DIY » au modèle « DIWO » (Eychenne, 2012)



Les lead-users en quelques chiffres

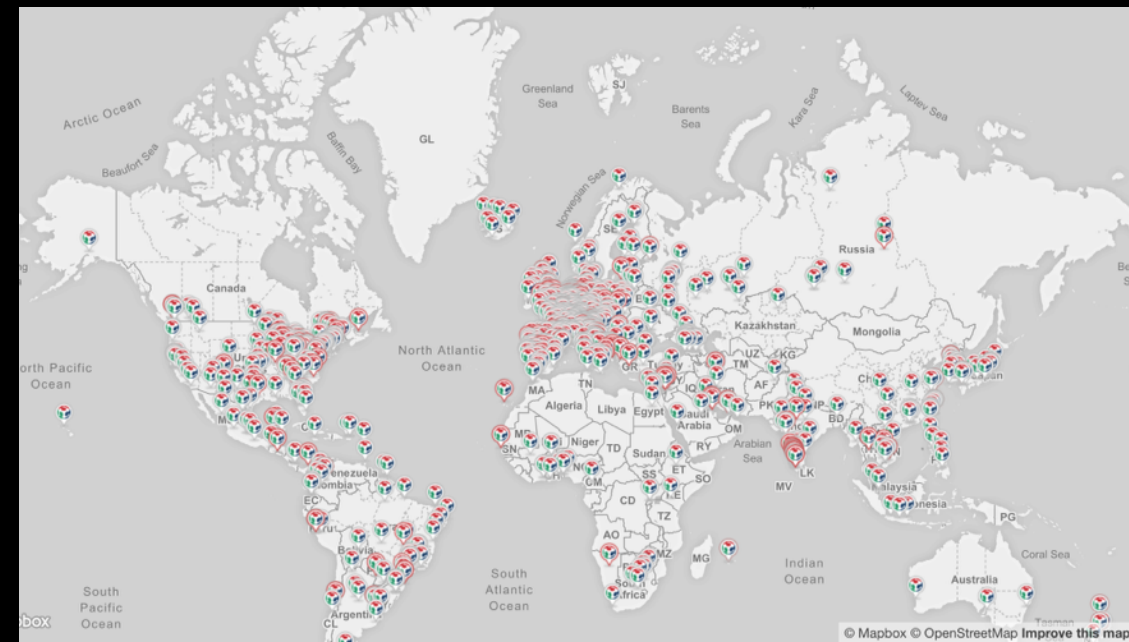
	UK (sample size = 1,173)	USA (sample size = 1,992)	JAPAN (sample size = 2,000)
Percentage of consumer-innovators in the population aged 18 and over	6.1%	5.2%	3.7%
•Percentage of consumers creating consumer products	2.1%	2.9%	1.7%
•Percentage of consumers modifying consumer products	4.5%	2.8%	2.5%
•Percentage of consumers both creating and modifying consumer products	0.5%	0.5%	0.5%
Estimated number of consumer-innovators aged 18 and over	2.9 million	11.7 million	3.9 million
Annual expenditures by average consumer-innovator:			
•Time spent (days/year)	7.1	9.9	5.5
•Total expenditure* (time plus out-of-pocket money/year)	\$1,801	\$1,725	\$1,479
Estimated total expenditures* by consumer-innovators on consumer products per year	\$5.2 billion	\$20.2 billion	\$5.8 billion
Estimated consumer product R&D expenditures in that country funded by companies per year	\$3.6 billion	\$62.0 billion	\$43.4 billion
Consumer-innovators' expenditures as a percentage of companies' R&D expenditures on consumer products	144%	33%	13%

Les écosystèmes propices à l'innovation

- Fab Labs, Makers Labs, Hacker Spaces, TechShops, Open Labs, ...
- + 1200 Fab Labs « officiels » recensés
- « MAKE + SHARE + LEARN by DOING »
- Objectifs communs:
 - **démocratiser** l'**innovation** collective et la **fabrication** personnelle
 - être vecteur d'**empowerment**
 - **faciliter** le processus par l'intermédiaire du **prototypage rapide**



MIT, Center for Bits and Atoms, 2001, Prof. Gershenfeld

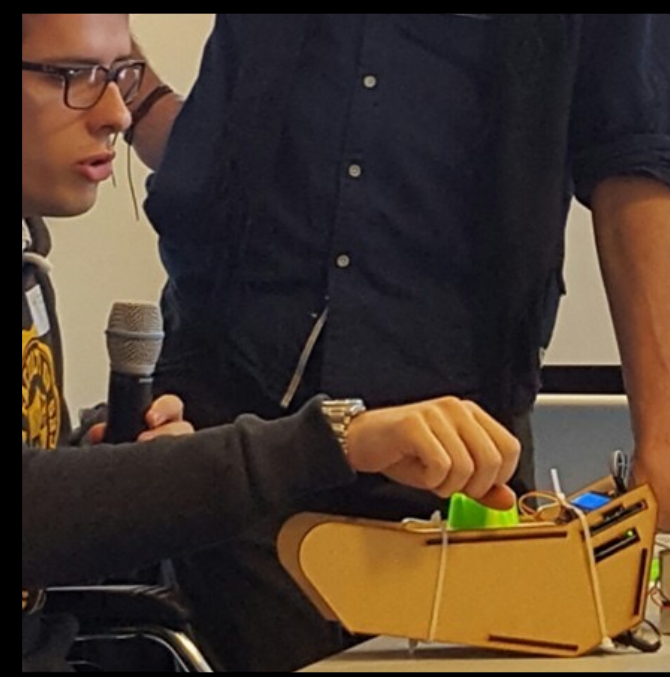
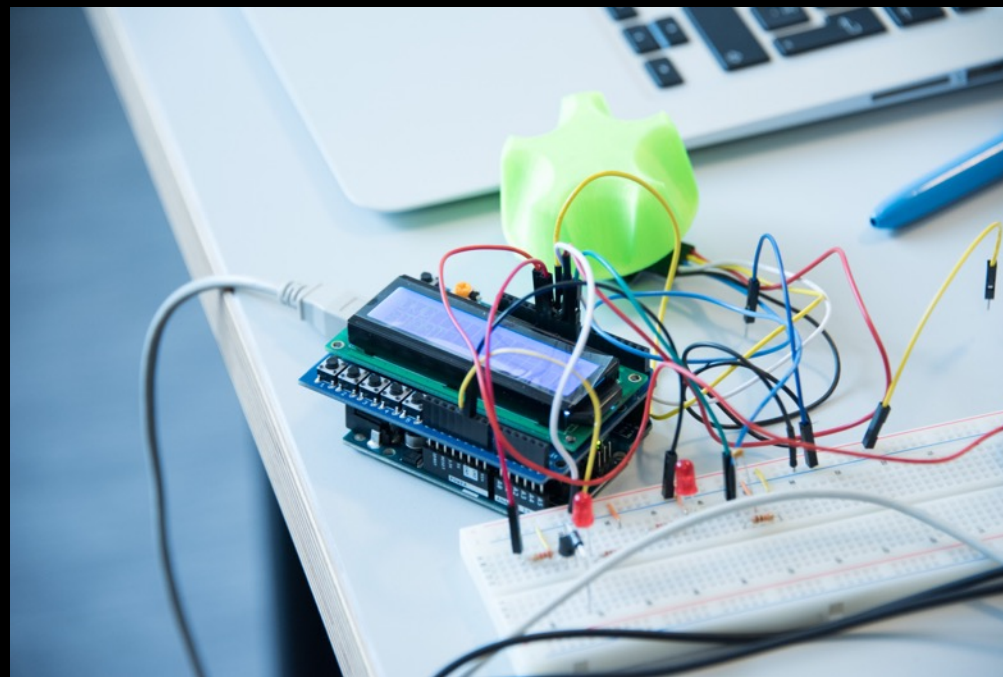


« The partnership of technology and people makes us smarter, stronger, and better able to live in the modern world. »

Donald Norman, 2013,
Director of the Design Lab, University of California
Co-founder of the Nielsen Norman Group



Le prototypage rapide, facilitateur d'innovation

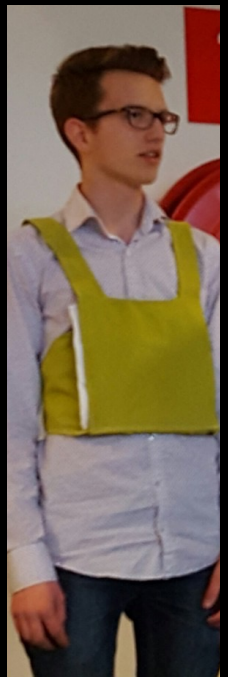


« Cocktail Challenge » 2015, co-organisé par la FSA (ULiège)

Boucles itératives courtes, détection de l'erreur, feed-back...

Mais surtout **appropriation** du **processus d'innovation**

Le « protoceptage » rapide, facilitateur d'innovation



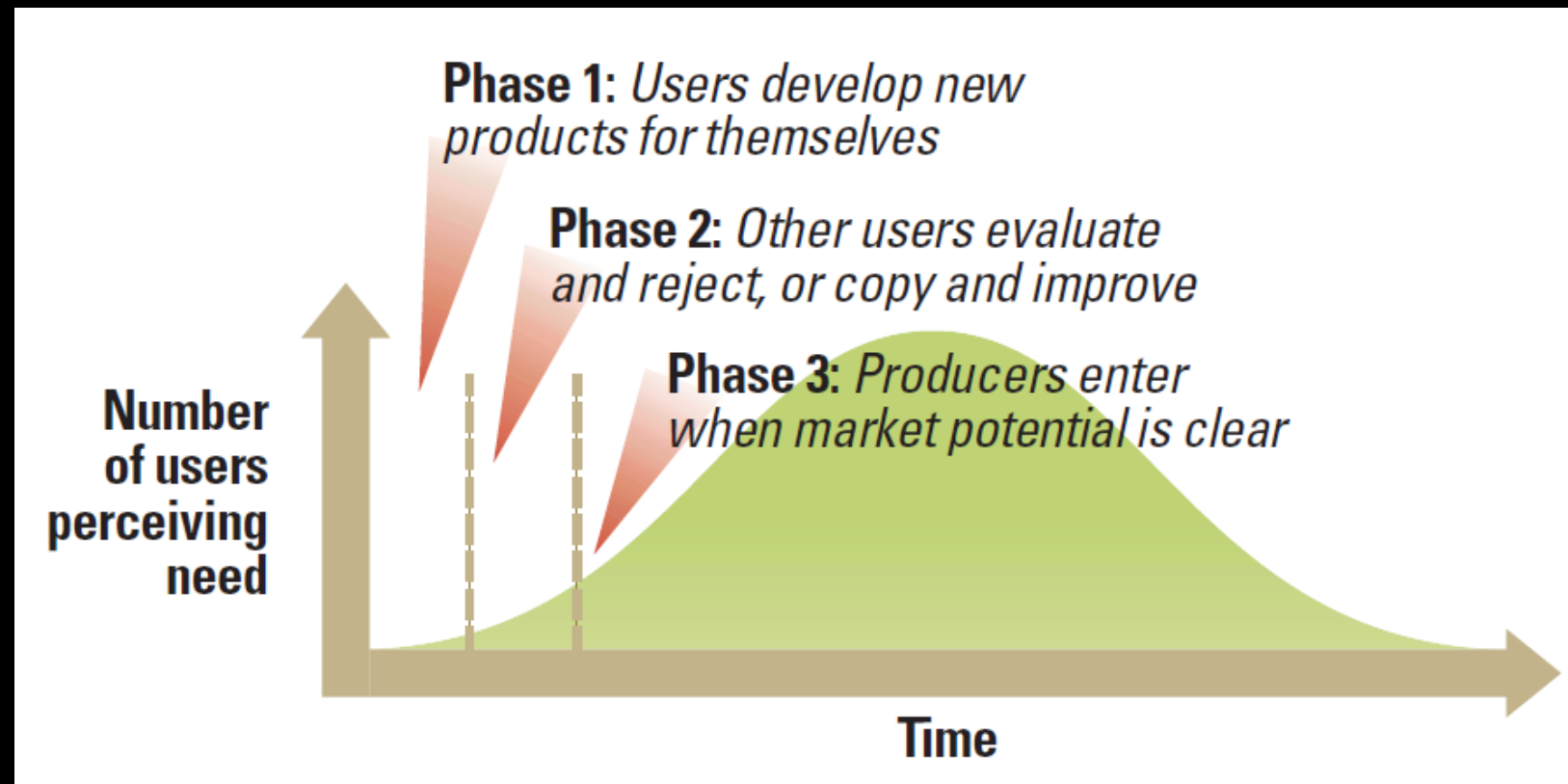
« Cocktail Challenge » 2015, co-organisé par la FSA (ULiège)

Boucles itératives courtes, détection de l'erreur, feed-back...

Mais surtout **appropriation** du **processus d'innovation**

Un changement paradigmatique

- production massive, collective, et outillée d'innovations (incrémentales; de rupture)
- certaines potentiellement à déployer
- un modèle de transfert en trois temps



(von Hippel, Ogawa & de Jong, 2011)

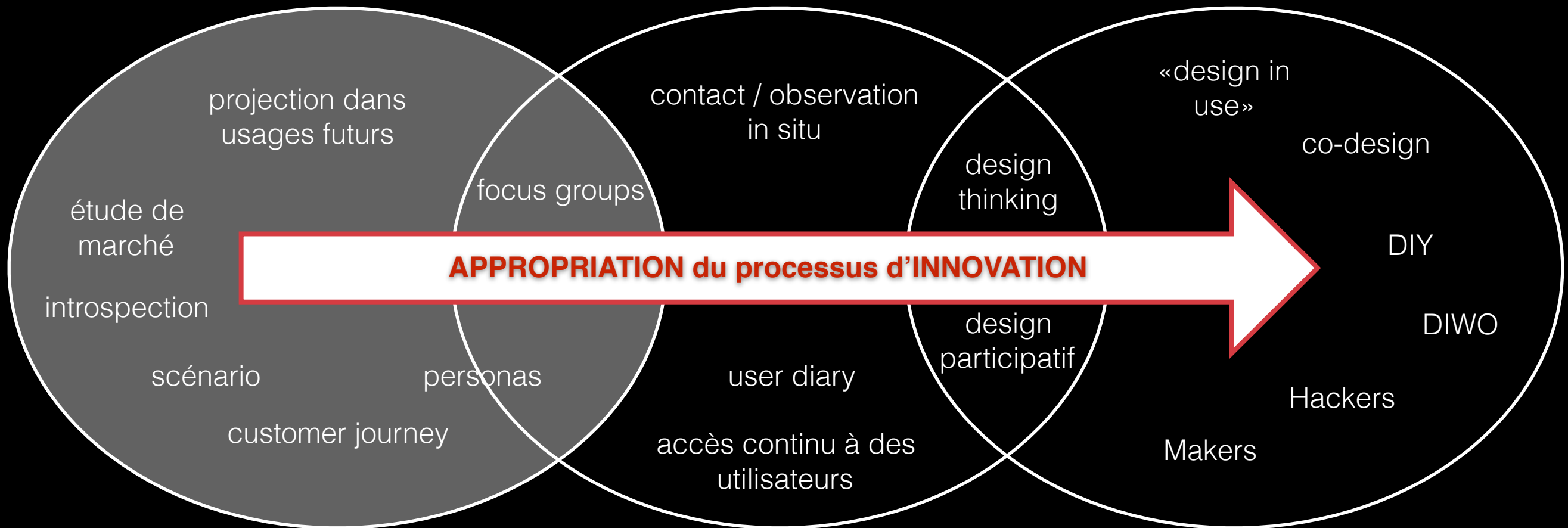
- ▶ Du paradigme « shumpeterien » (innovation « descendante », par le producteur-entrepreneur) au paradigme de l'**innovation générée par les usagers** (innovation « ascendante »)

Une approche différente de l'utilisateur-innovateur

Usagers passifs

Usagers réactifs

Usagers créatifs
« **lead users** »



Une approche différente de l'utilisateur-innovateur

- **Veille** constante des innovations ascendantes prometteuses (par exemple via thingiverse.com)
- **Identification** et intégration du lead-user
 - qui appartient au marché niche
 - qui appartient à des marchés cousins
 - directement concerné par certaines problématiques
- Encourager les **comportements « déviants »**
- **Susciter** l'intérêt et la **participation**
- Accorder du **crédit**
- **Créer** un **écosystème** adéquat et propice à l'innovation

(von Hippel, Ogawa & de Jong, 2011)

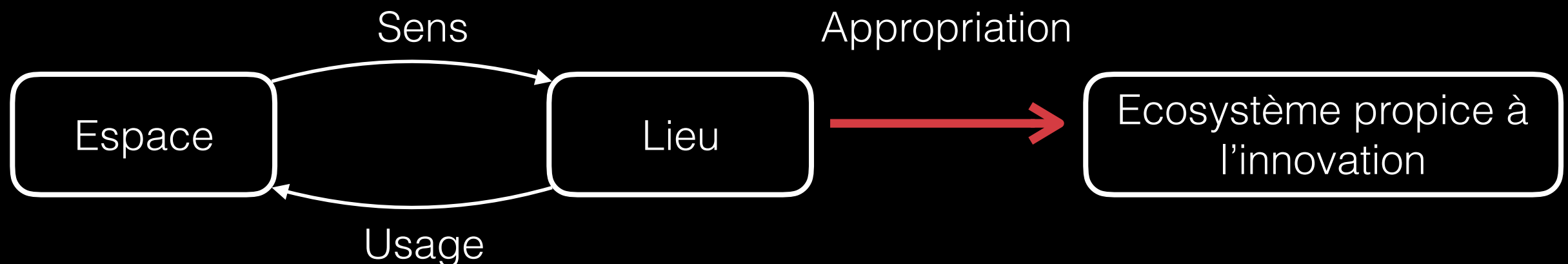
Lead-User Project Handbook, evhippel.mit.edu

Une approche différente de l'écosystème

- Donner du **sens** à un *espace* pour qu'il devienne un **lieu**

« Les processus de production et de consommation s'inscrivent dans une dialectique qui contribue à faire de l'expérience de consommation d'un lieu une démarche utilitaire, couplée à la création de sens donné aux actions »
(de Certeau, dans Cova, 2014; Toussaint, 2016)

- Entreprises et industries créatrices de **sens**
- **Lieu** porteur d'**appropriation**



Les conditions de l'appropriation

- Liberté d'action

« Pour qu'il y ait de l'appropriable, il faut que l'individu puisse vivre des expériences non programmées dans un environnement non normé »

(Cova & Cova, 2001, p. 127)

- Poly-fonctionnalité

« Plus un espace ou un objet est fonctionnalisé, plus il est dominé par les acteurs qui l'ont manipulé en le rendant unifonctionnel, moins il se prête à l'appropriation »

(op. cit., p. 130; Toussaint, 2016)

- Maintien de l'utopie

« Quant à l'espace utopique, il est central et exprime les possibilités de création du futur »

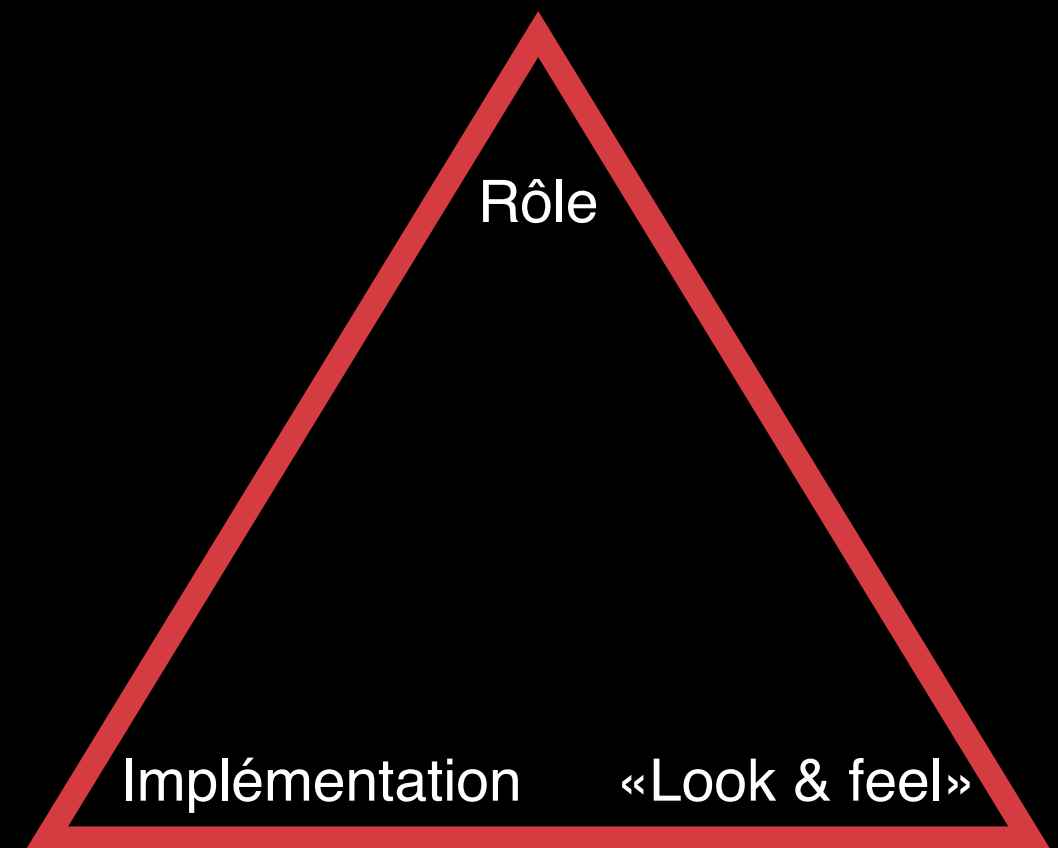
(Sangla, 2010; Toussaint, 2016)

Une approche différente du « protocept »

- Des prototypes / protocepts incomplets, mais témoins d'un besoin / d'une fonctionnalité neuve

« Look at consumer-developed innovations with new eyes - not just as poorly engineered amateurish efforts. [...] Product engineering is not the value companies should look for in the consumer-developed prototype products » (von Hippel, Ogawa & de Jong, 2011)

- Trois niveaux d'analyse du protocept:
 - son **rôle**: le besoin / la fonctionnalité auquel il répond
 - son **look & feel**: le degré d'interactivité, d'affordance
 - son **implémentation**, souvent basique et perfectible



(Houde and Hill, 1997)

Le futur des processus d'innovation

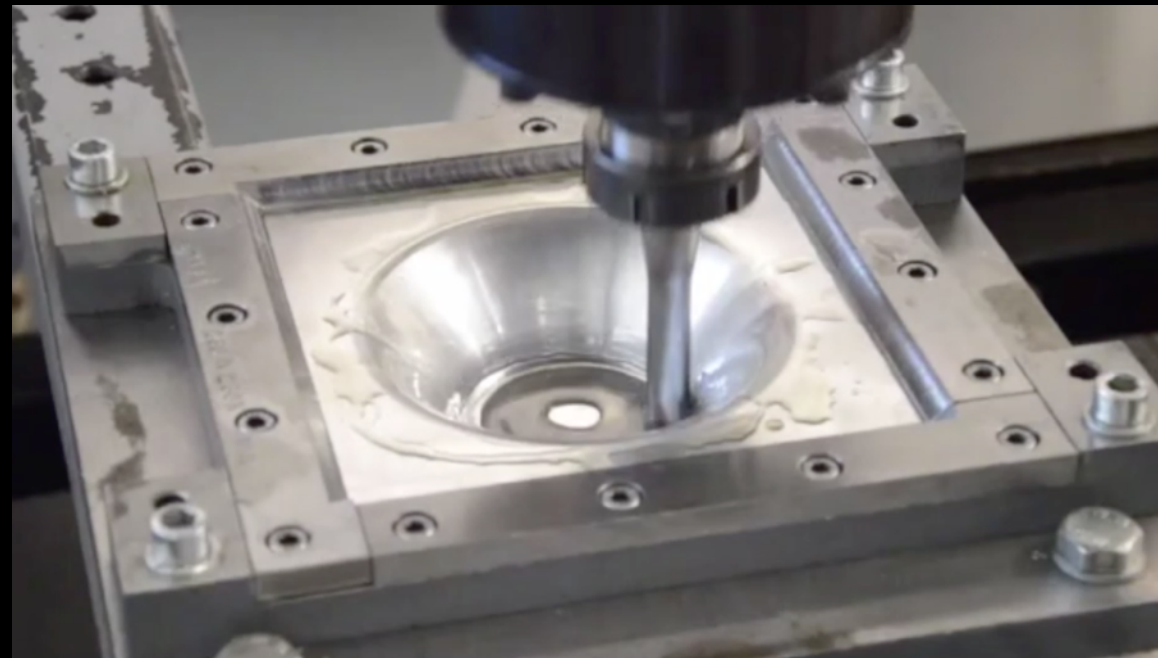
- Take-home messages:
 - les **lead-users** = source majeure d'innovations; inciter à **participation**
 - les **écosystèmes** prolifèrent et facilitent déjà; inciter à l'**appropriation**
 - les outputs = source d'**inspiration**, d'**innovation** et de **croissance**
- Les **écosystèmes**, « micro-usines flexibles de proximité » et les **protocepts** fournissent aux entreprises et industriels:
 - l'**identification** « bottom-up » d'un besoin, d'une fonctionnalité non rencontrée
 - le **signal** d'une éventuelle appropriation par la niche des lead-users
 - un **terreau** fertile d'idées, mais surtout de talents
- Ce **néo-artisanat** peut être réintégré à une **néo-industrie**, à condition d'embarquer dans le nouveau paradigme

Merci pour votre attention!

- Contact: catherine.elсен@uliege.be
- Elsen, C. (2013): « *Les Fab Labs: espaces créatifs d'aujourd'hui au service du prototypage rapide de demain* », disponible sur ORBI

Quels futurs pour la fabrication de pièces métalliques ?

Côté technique...



Dr. Anne Marie Habraken

Directrice de Recherches FNRS

Mécanique des Solides et des Matériaux, Vice-doyen Recherche FSA

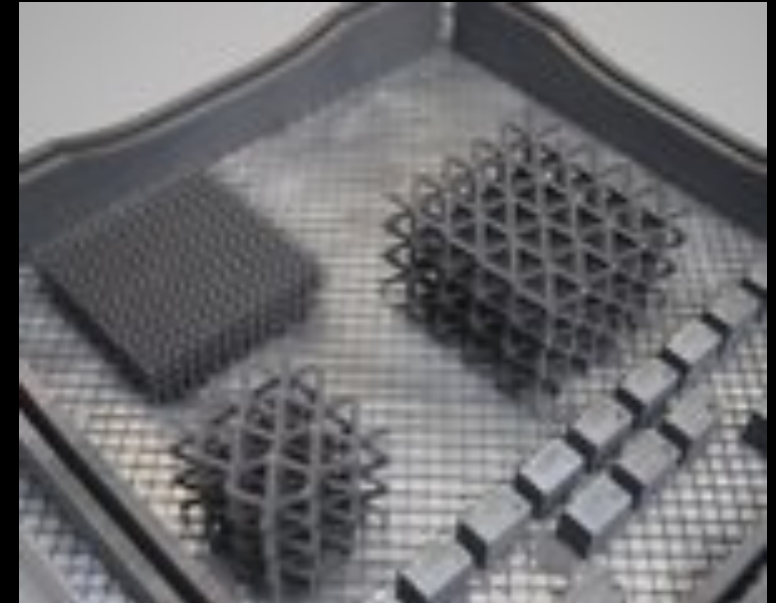


3D Printing ?



En Wallonie, Flémalle - Bureau d'étude

Prototypage, Production en série, Finition, Contrôle qualité



Un engouement légitime

- ↘ Stockage pièces de rechange
- ↘ Stockage outils de production
- Flexibilité énorme de formes
- Possibilité d'allègement
- Moyen de production local « rapide »



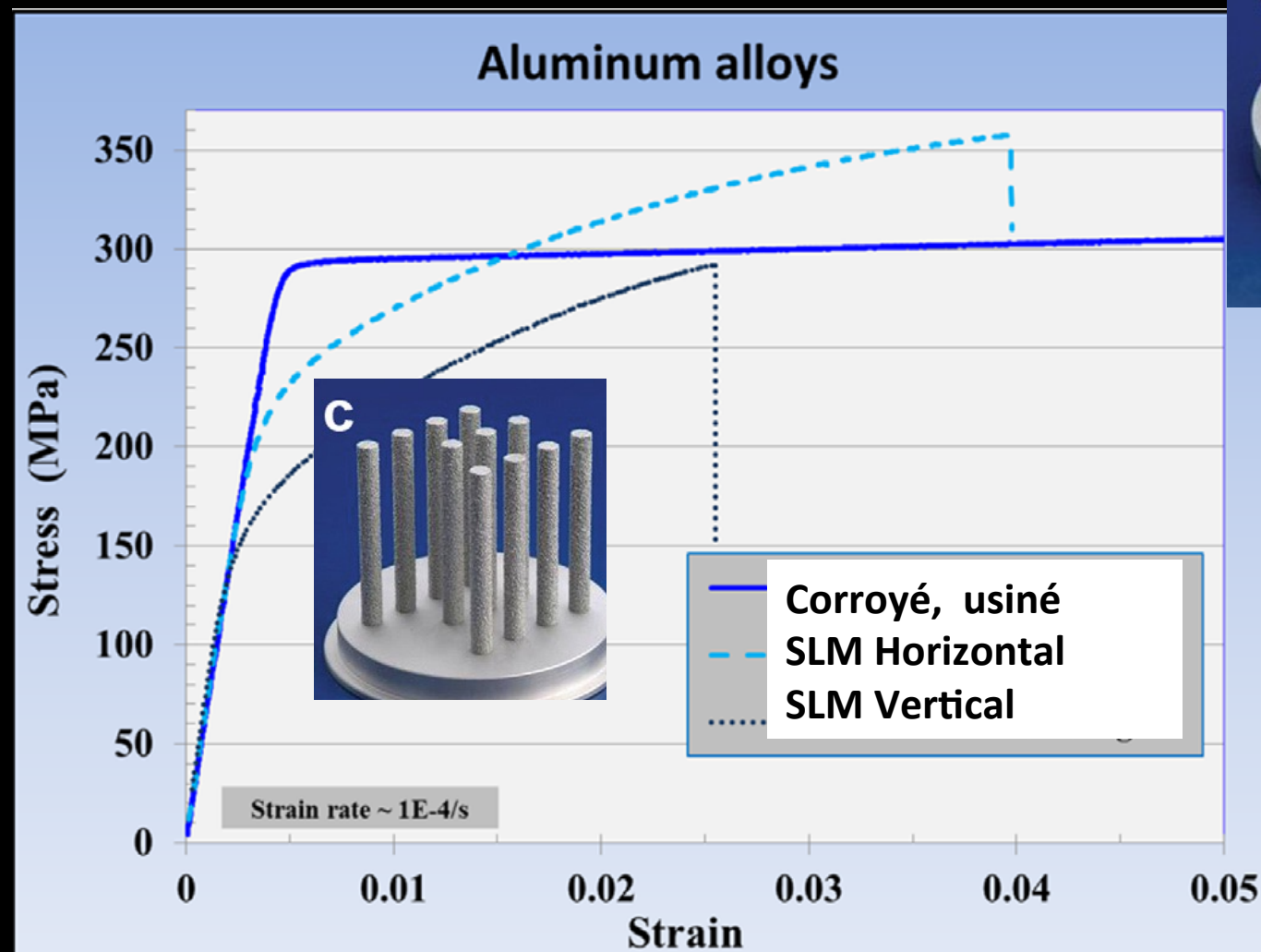
... le rêve de la mise à forme des **métaux** accessible au citoyen ?

Pas encore ! (température, toxicité, stockage des poudres)

De nombreux défis à lever...



Force / unité de surface



(Mower & Long 2016)

Déformation



Composition
similaire

Méthode de production classique

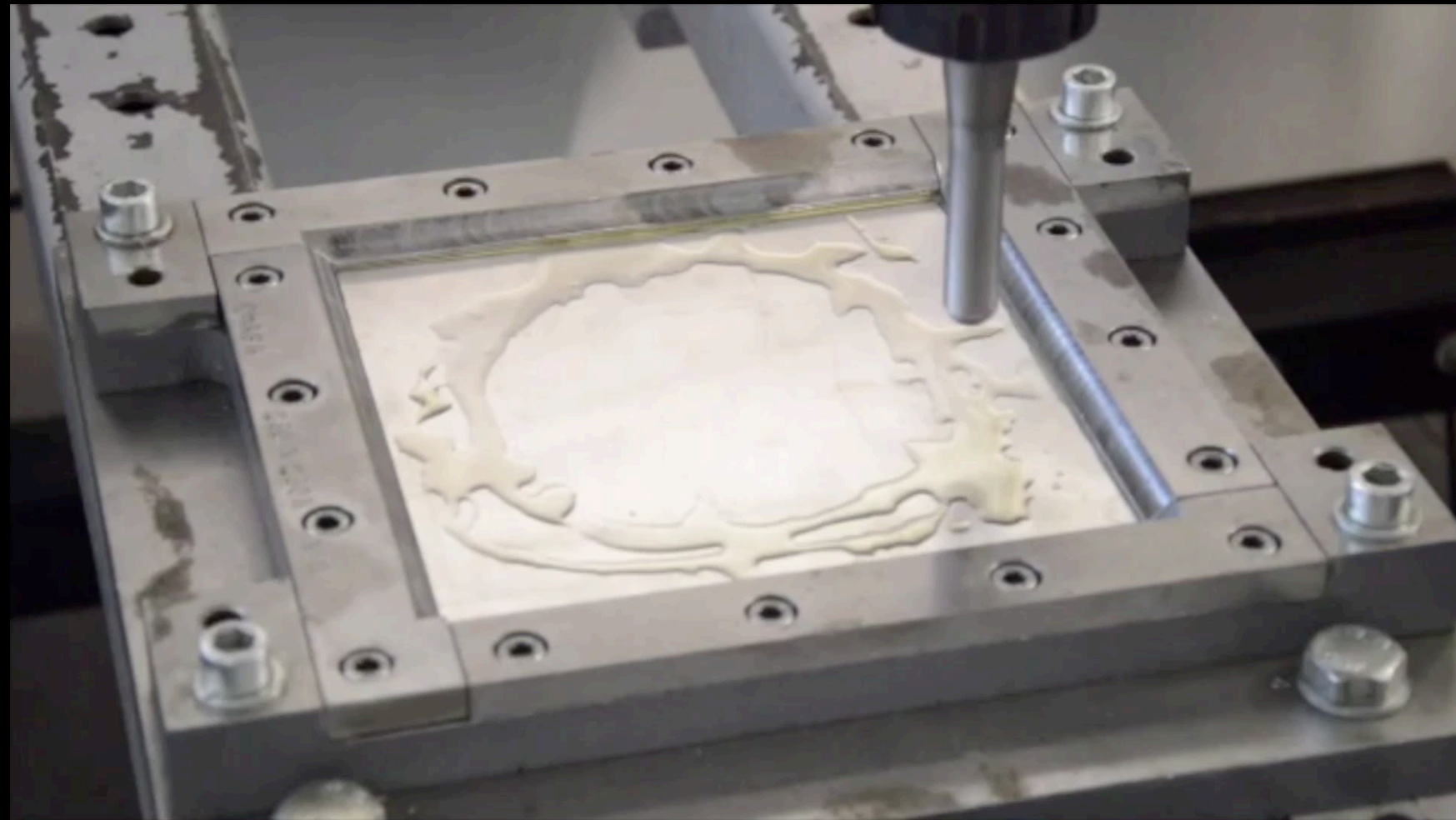
ou

SLM **S**elective **L**aser **M**elting (3D Printing)

D'autres procédés font moins de bruit...

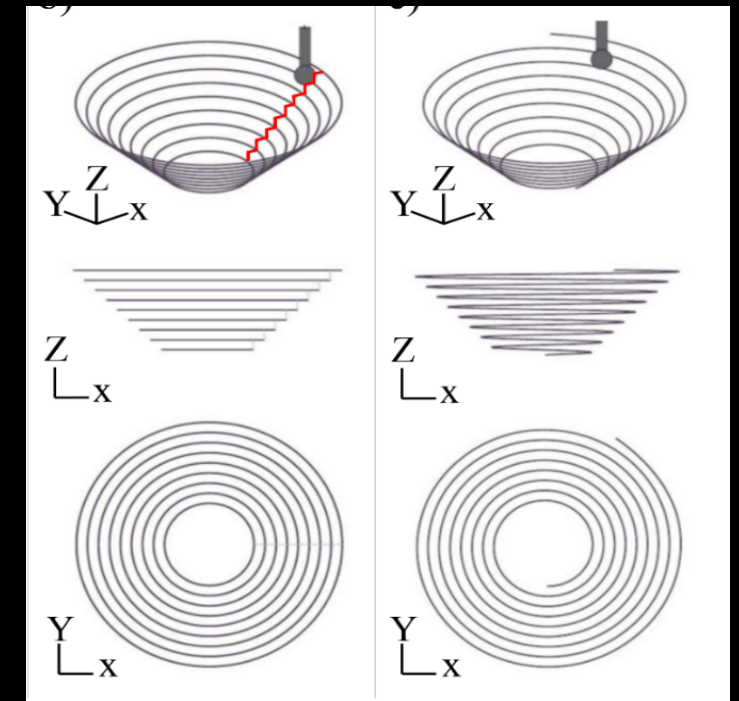
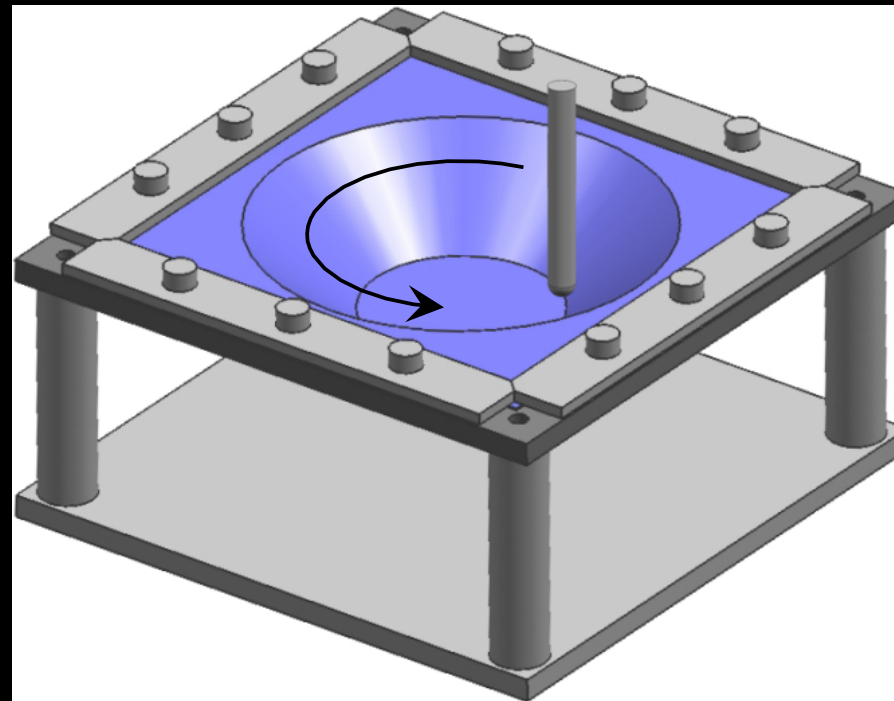
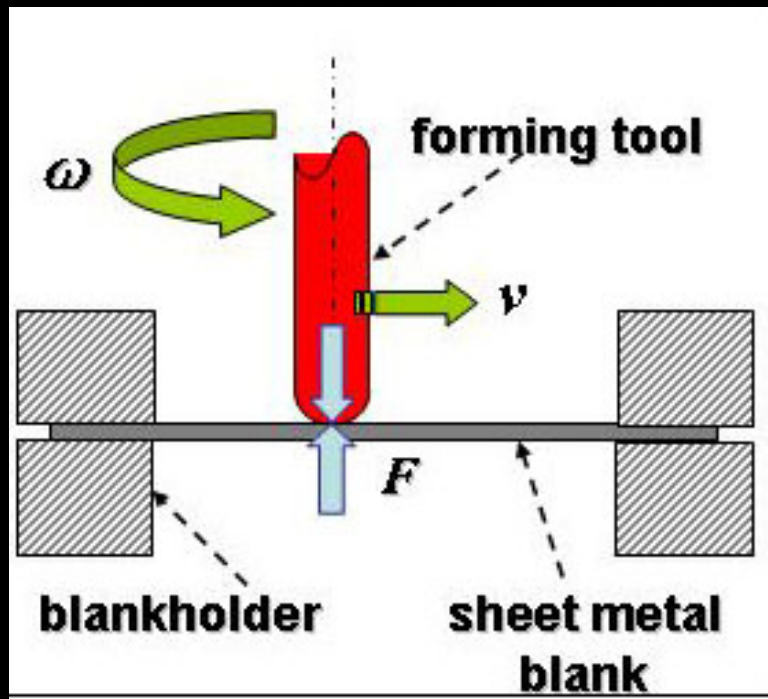
Accessible dans tout Fab Lab disposant

- d'un robot (un peu costaud)
- d'un poste d'usinage CNC (Computer Numerical Control)



SPIF **S**ingle **P**oint **I**ncremental **F**orming

SPIF Single Point Incremental Forming



Amino Corporation
1er prototype machine 1996

Amino *et al.* ICTP 2014: 30
machines vendues

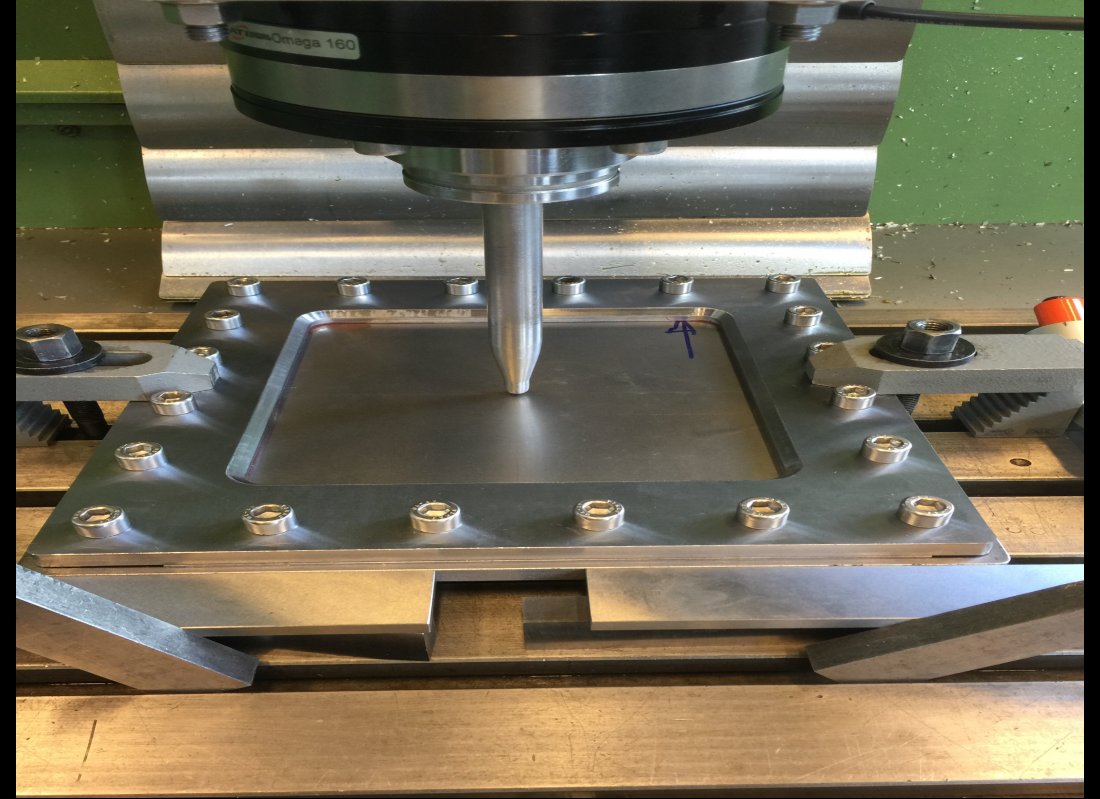
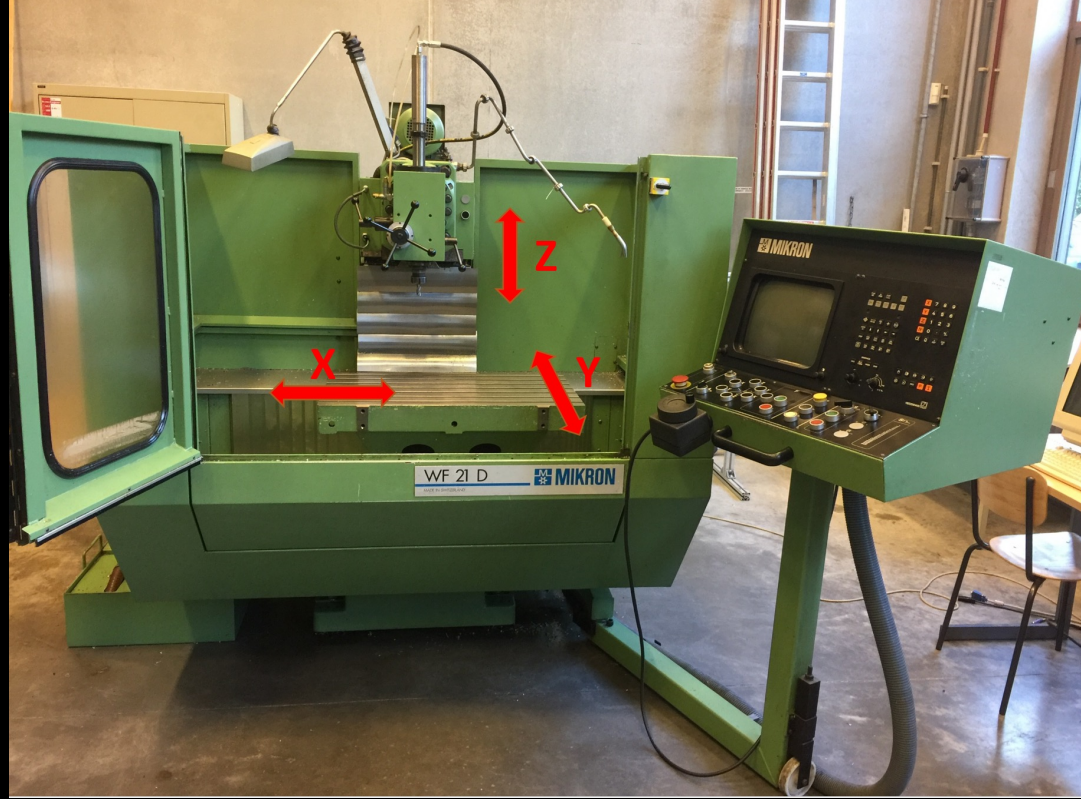
... prix ?

... logiciel pour la définition
du chemin d'outil ?



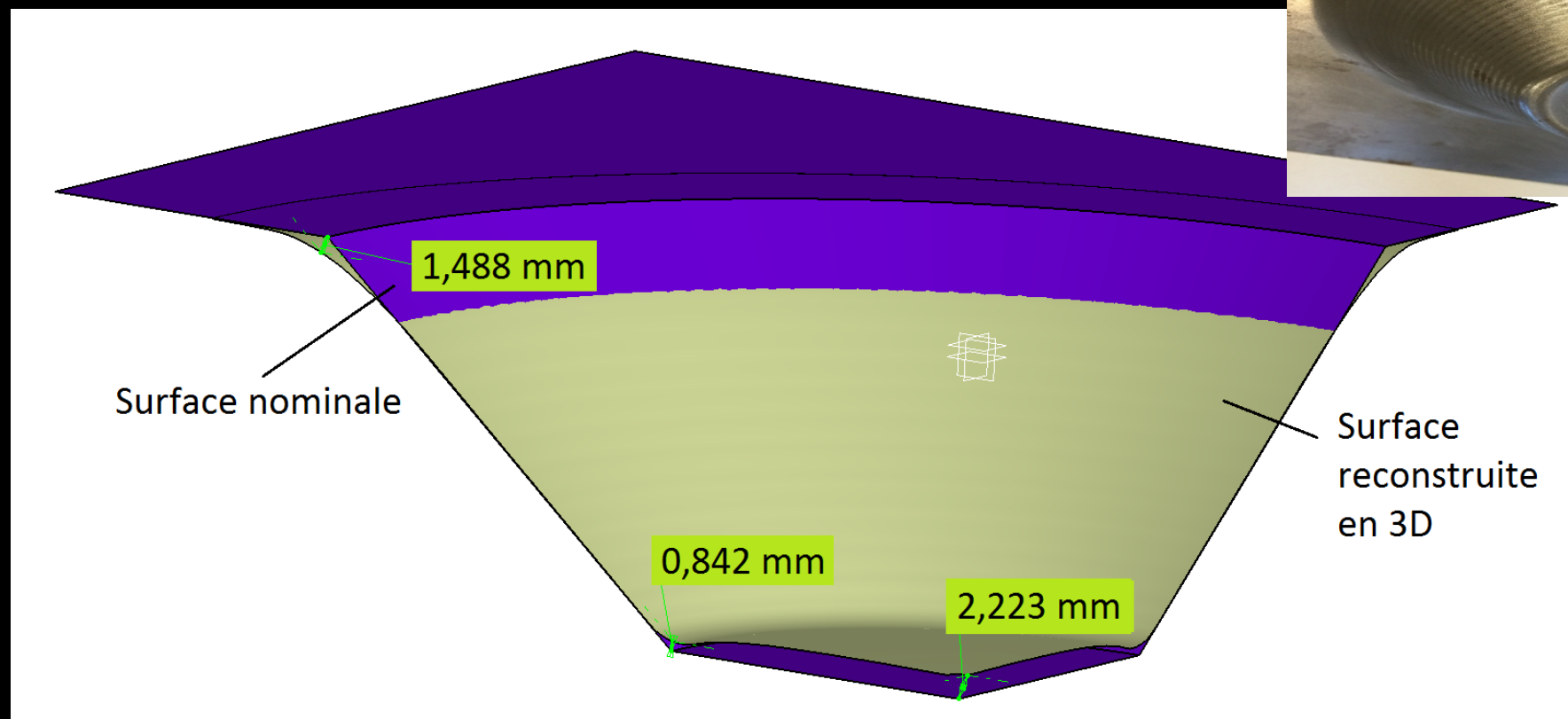
E. Leszak, brevet US, 1967

Besoin d'une « **Black Box** »: aide des universités, R&D car pas encore de
logiciel commercial pour définir les chemins d'outils optimaux



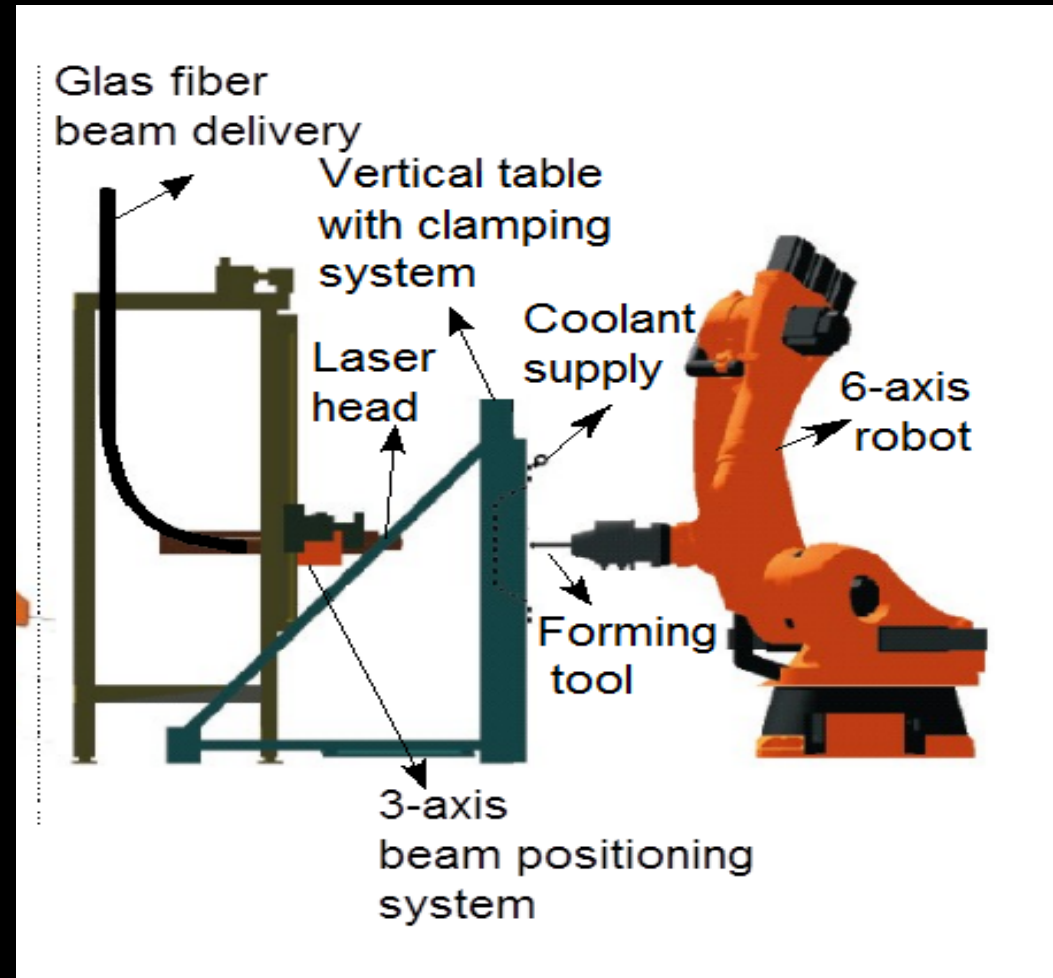
Fraiseuse Mikron, 3 axes, années '90, Dept. A&M ULiège

Premier essai, aucune compensation
TFE Martinez, Février 2017





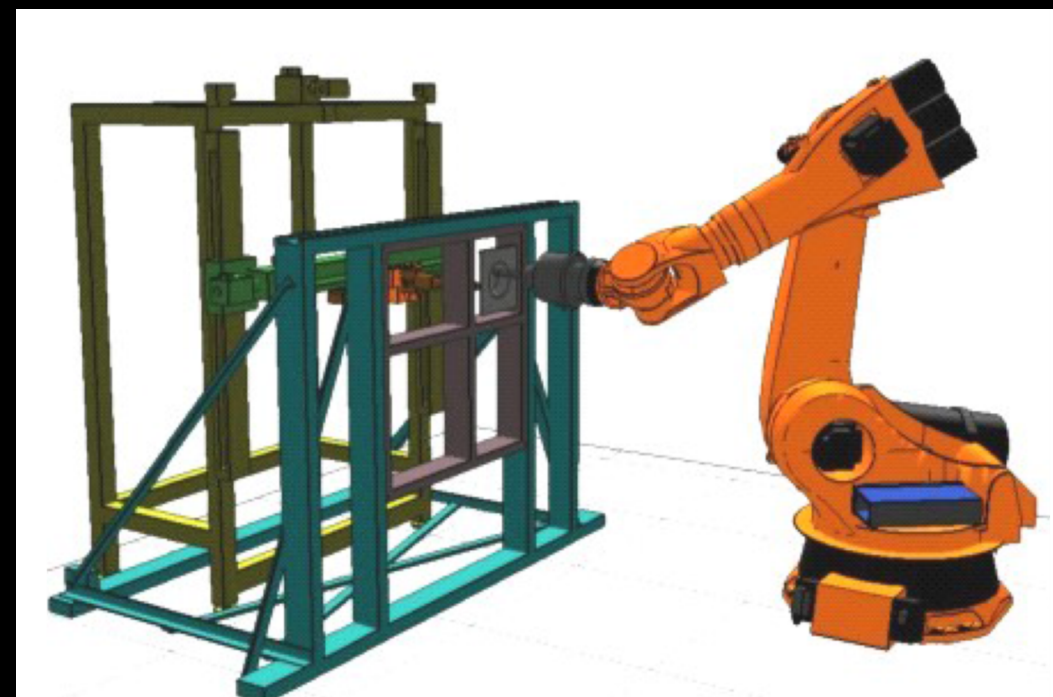
Université d'Aveiro
 Equipe Ricardo de Sousa
 Plateforme Stewart



Variante avec
 chauffage laser

Set up 1m2

Robot 6 axes
 Kuka KR210
 (2000 N)
 2m / min



Laser Yag 500W
 Fiber laser 500 W

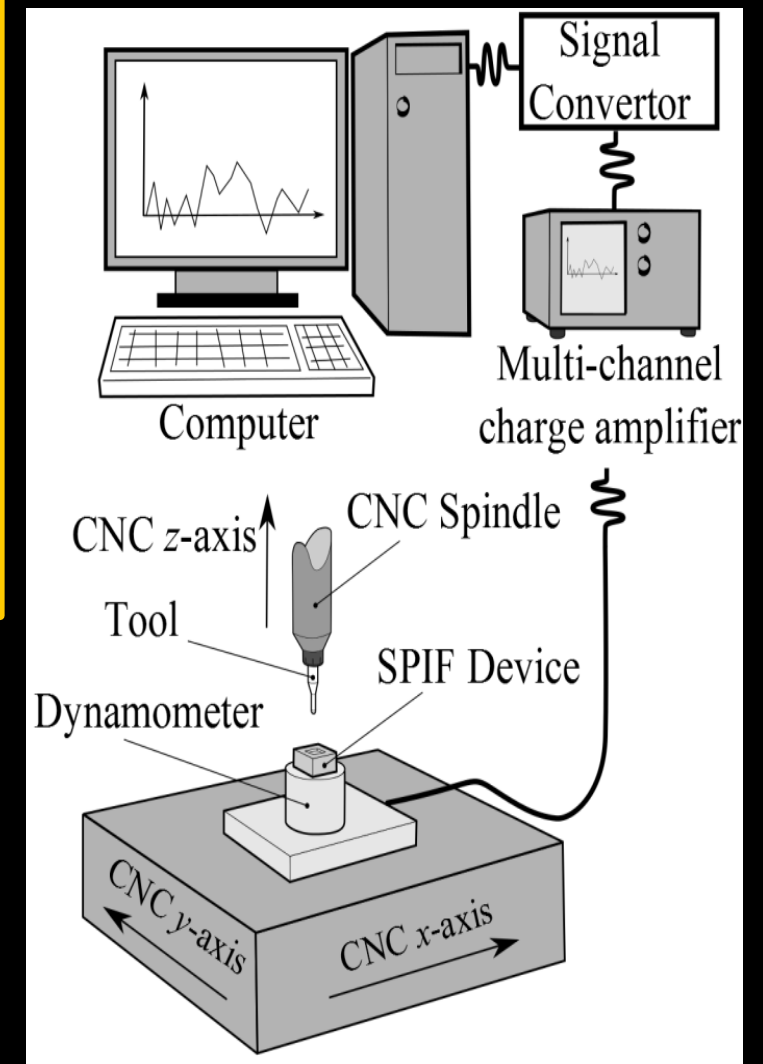
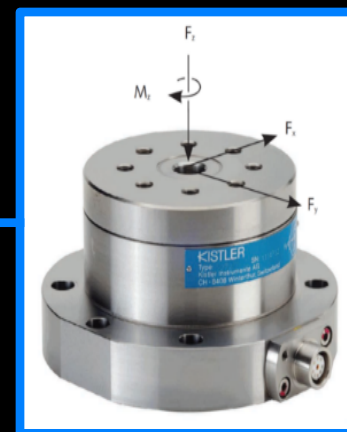
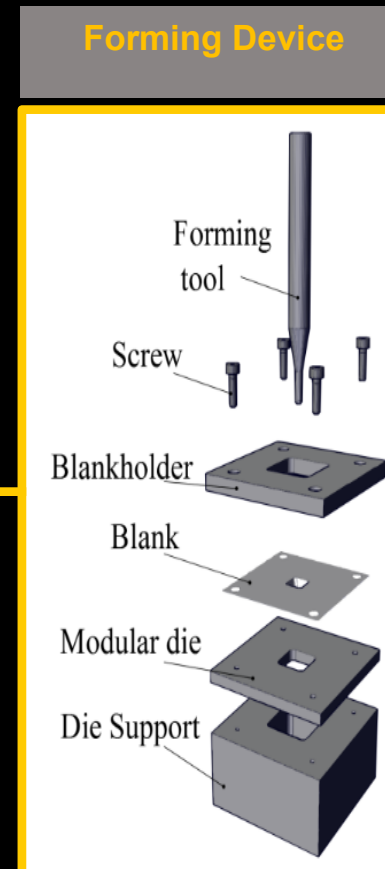
KUL
 Equipe Joost Duflou

Micro SPIF



Besançon
Equipe S.Thibaud

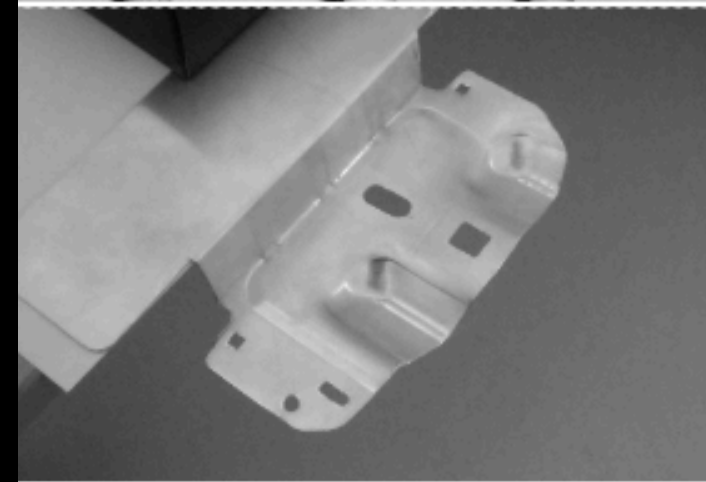
Vertical micro-milling machine
Set up $8 \times 8 \text{ mm}^2 \blacktriangleright 2 \times 2 \text{ mm}^2$
Epaisseur de tôle typique 0.2 mm



(Ben Hmida *et al.*, 2013)
Materials and Design

SPIF: pièces issues de tôles ou plaques

- ↘ Stockage pièces de rechange
- ↘ Stockage outils de production
- Flexibilité énorme de formes
- ~~Possibilité d'allègement~~
- Moyen de production local
« rapide » (ni poinçon, ni matrice...)

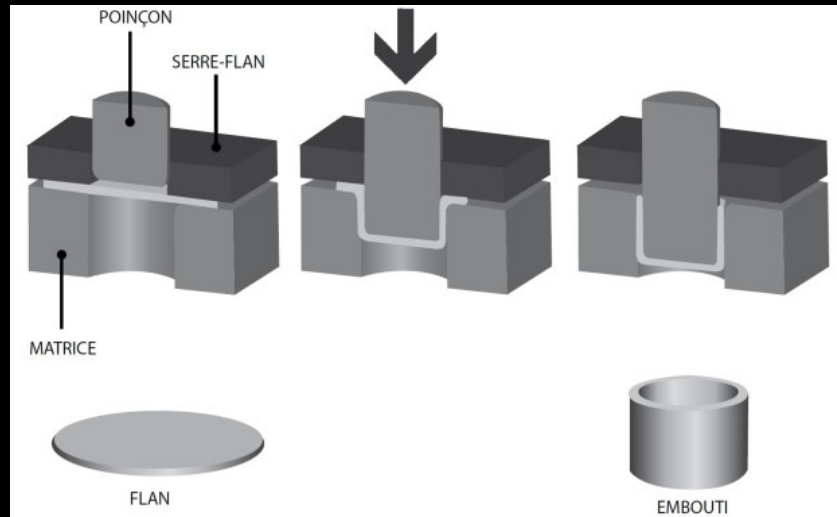


... le rêve de la mise à forme des **métaux** accessible au citoyen ?

Oui !

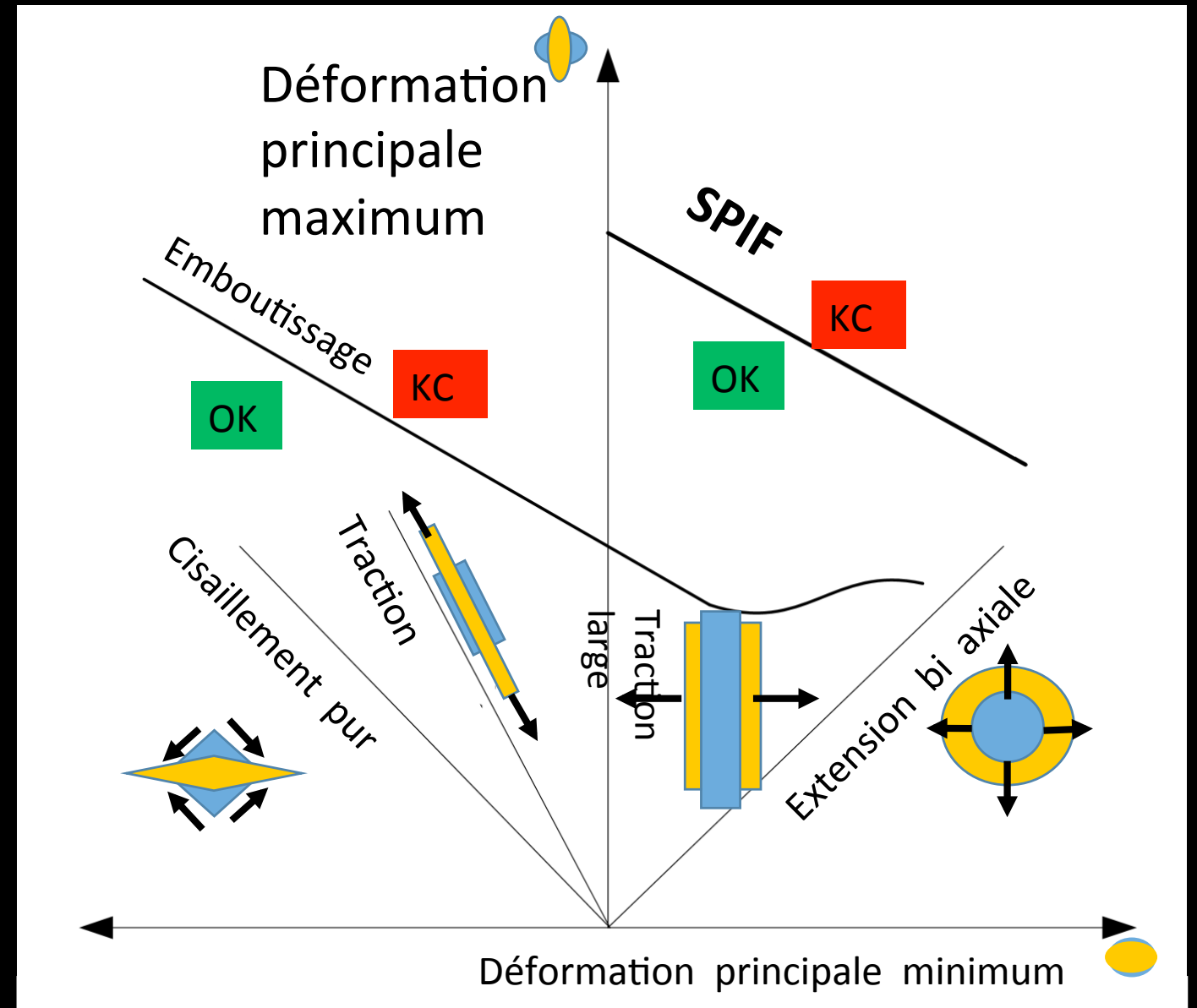
(moyennant un peu de pratique)

Atouts SPIF / Emboutissage



Déformation ?

SPIF >> Emboutissage



Adapté de (Filice *et al.*, 2002), CIRP

Atouts SPIF / Emboutissage

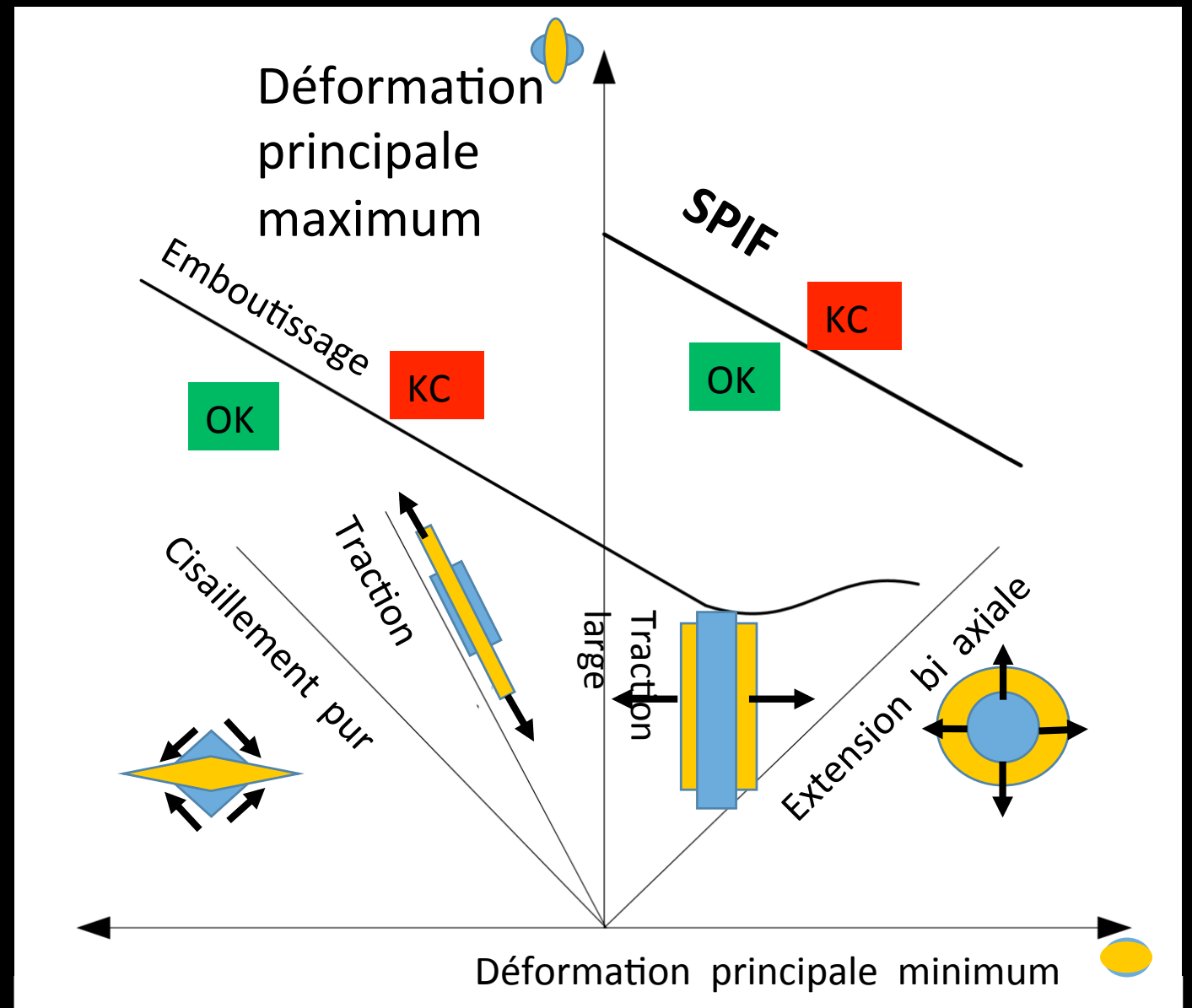
Pourquoi ?

Pas de facteur prépondérant unique:

- Epaisseur de la tôle
- Géométrie

► Réputation SPIF:


Complexité

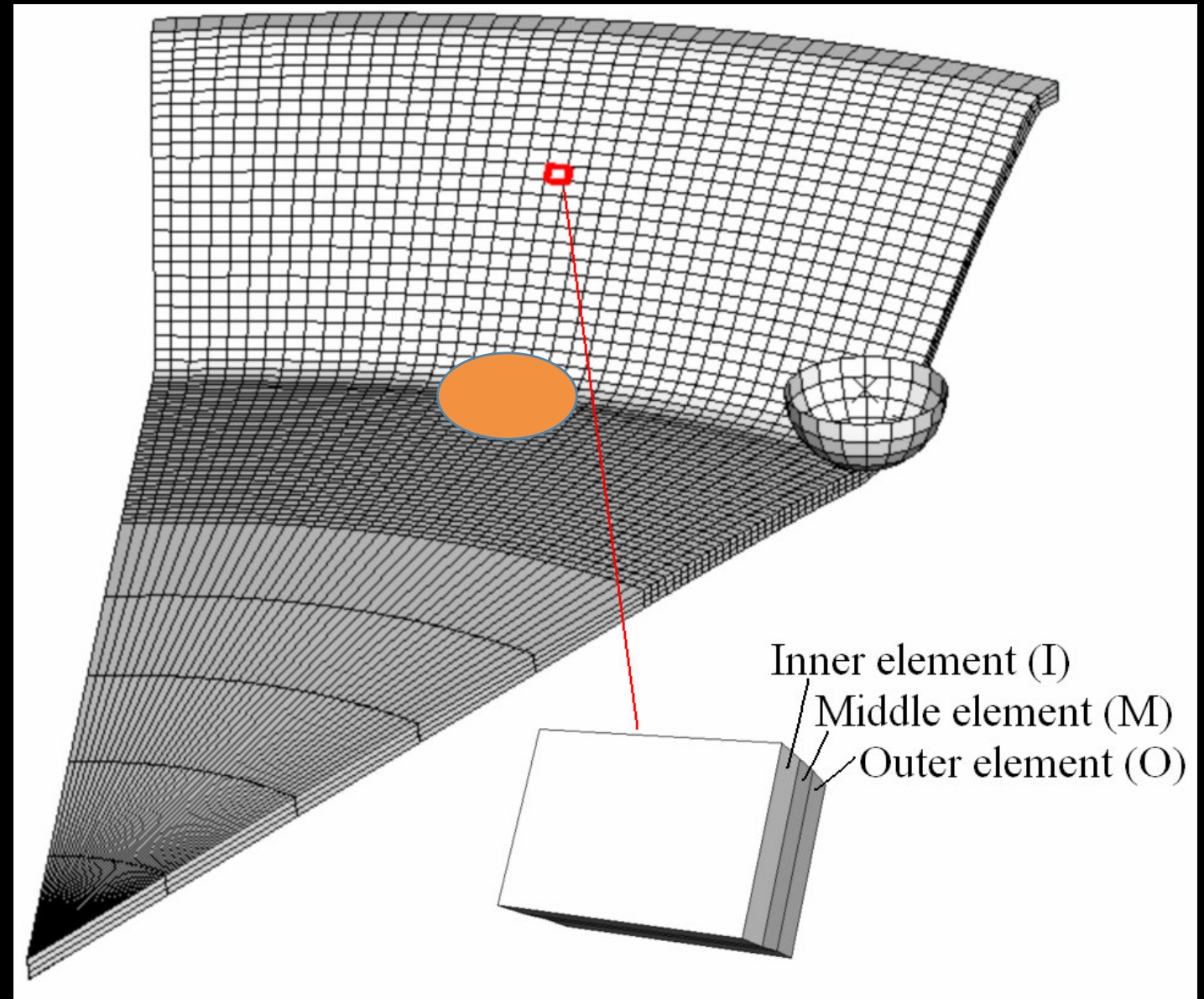


Adapté de (Filice *et al.*, 2002), CIRP

Pourquoi cet accroissement de déformation ?

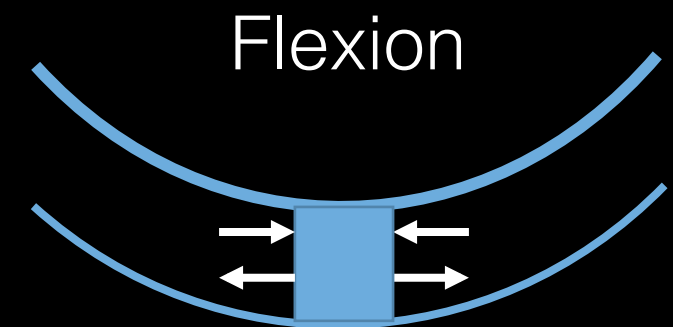
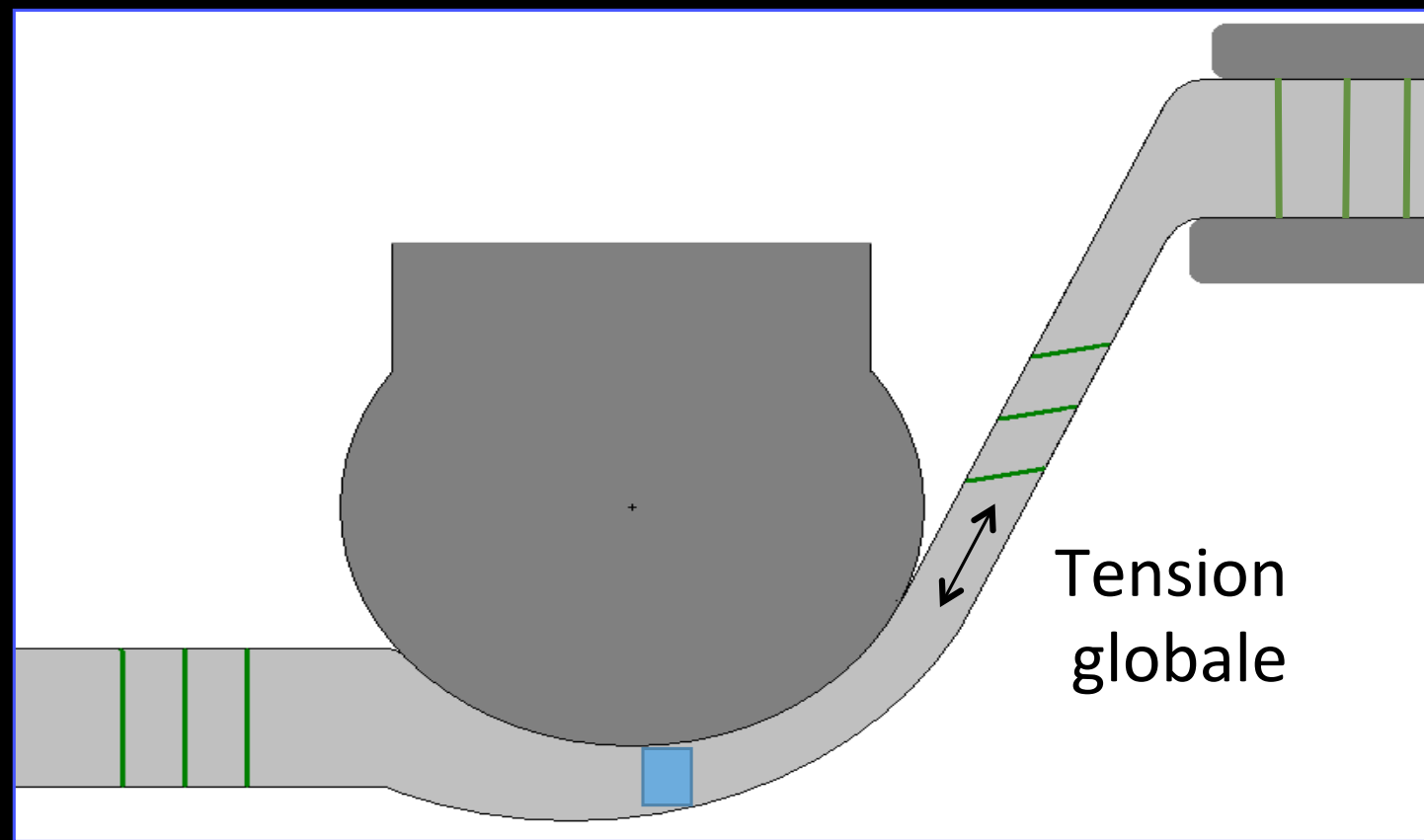
Déformation très localisée

- Sous l'outil:  déformation plastique irréversible
- Ailleurs: déformation « élastique » réversible, qui empêche une déformation plastique excessive (striction)

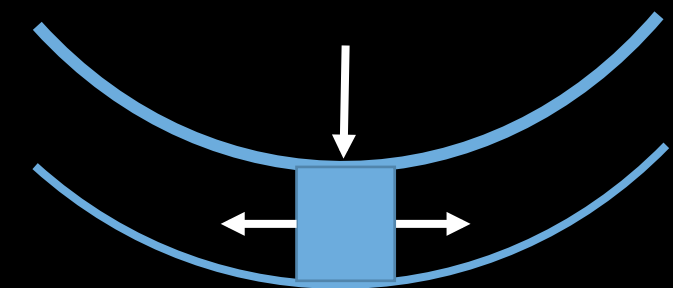


Pourquoi cet accroissement de déformation ?

État des contraintes complexe au travers de l'épaisseur du matériau



Compression
issue du contact

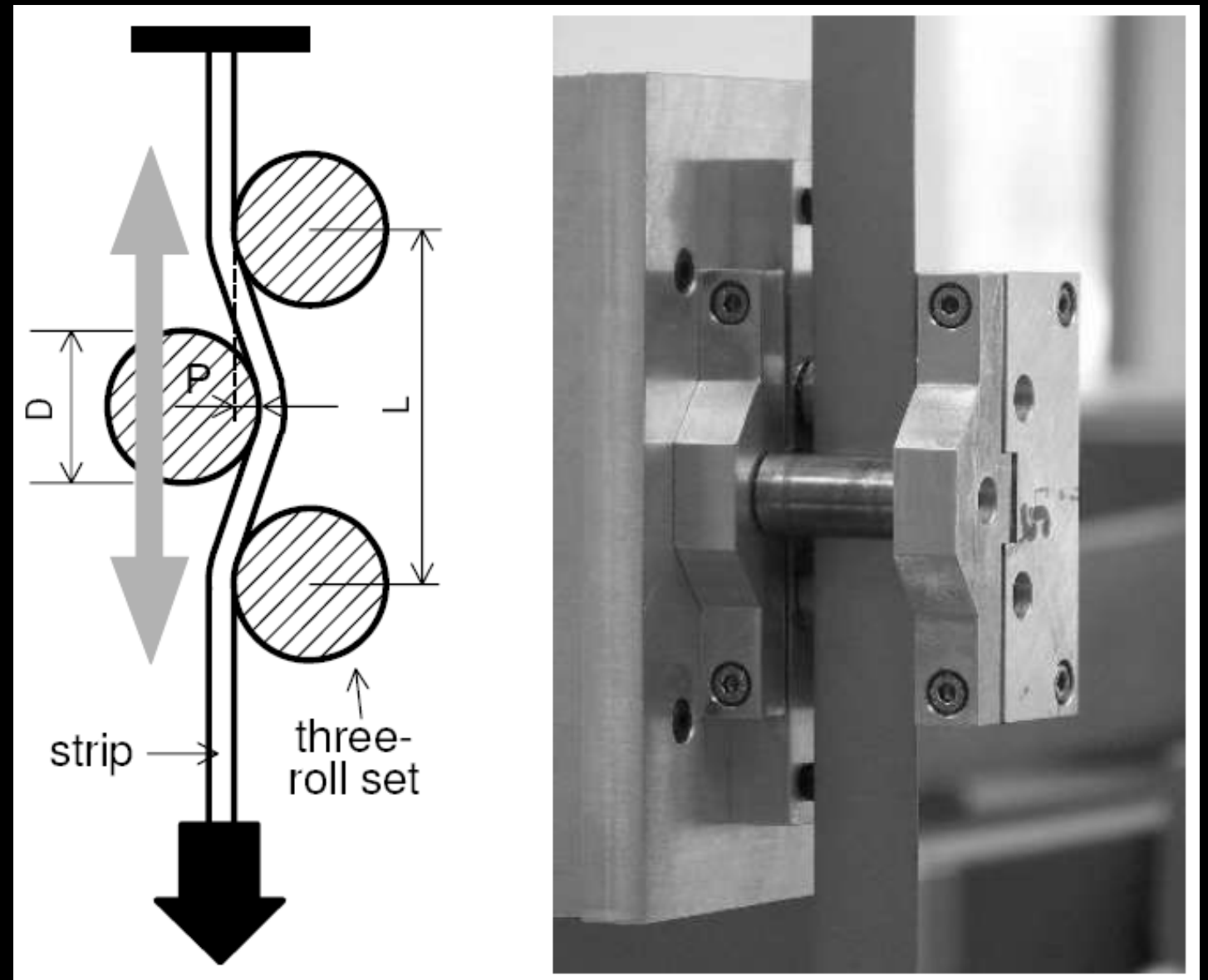


Tension globale
de la paroi

Pourquoi cet accroissement de déformation ?

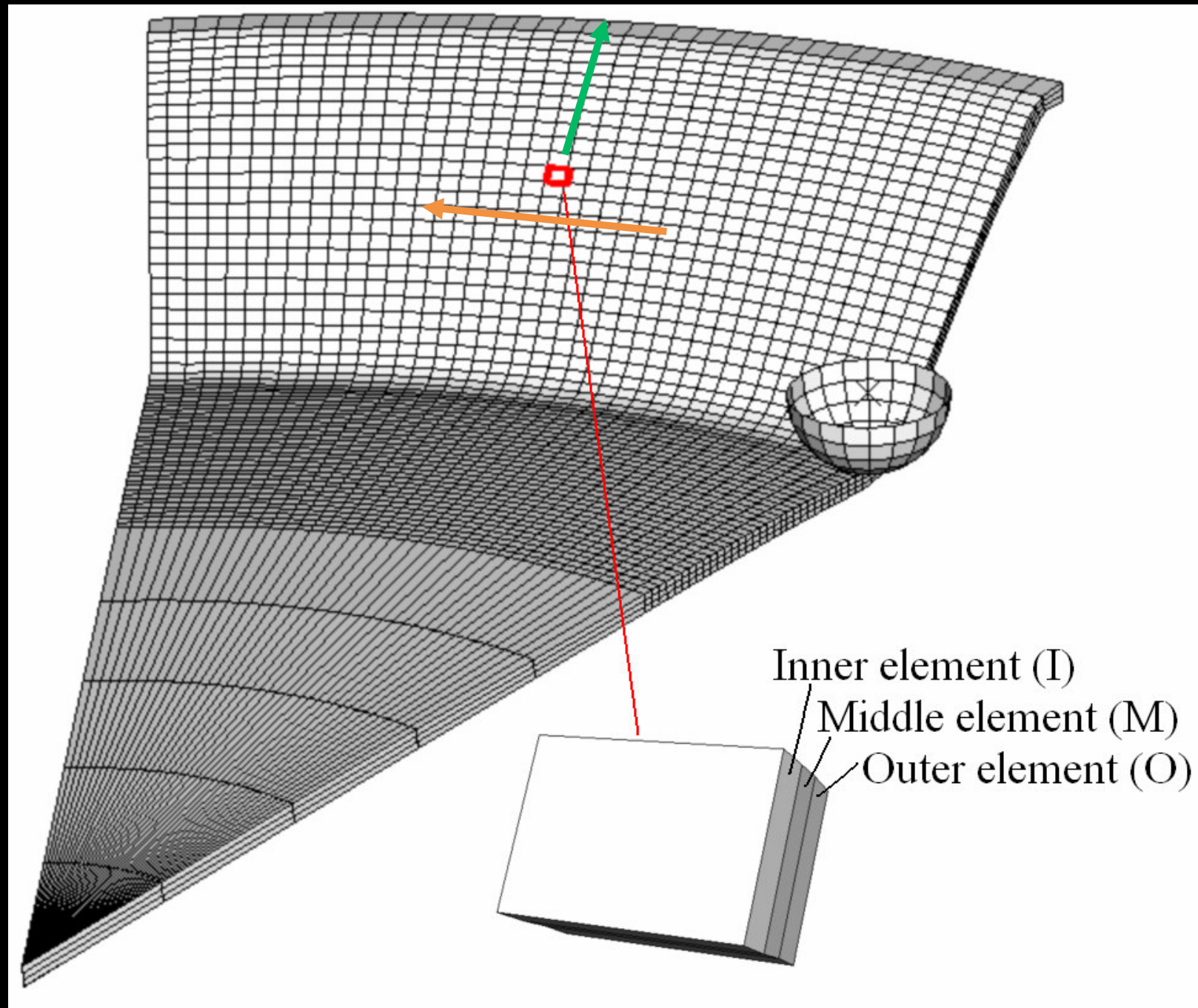
Observation:

La rupture en traction est postposée en présence de flexions successives continues



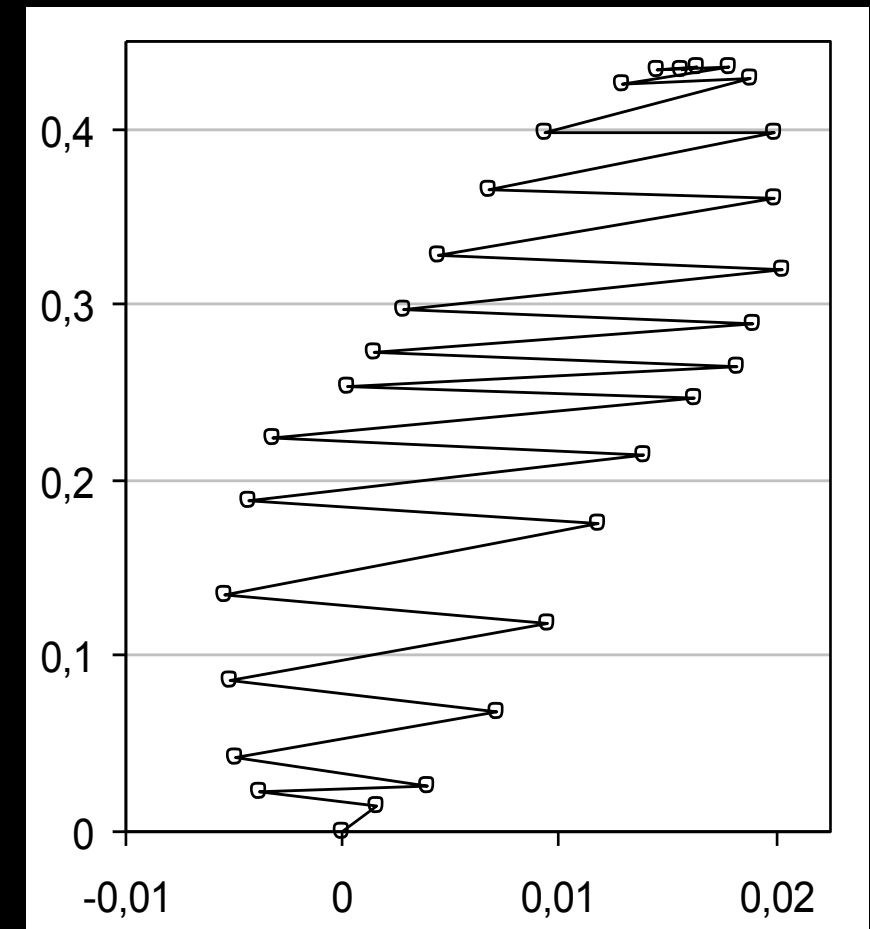
(Emmens *et al.*, 2008) Int. J. of Mat. Forming

Effet du chargement cyclique



Cône 50° Élément externe

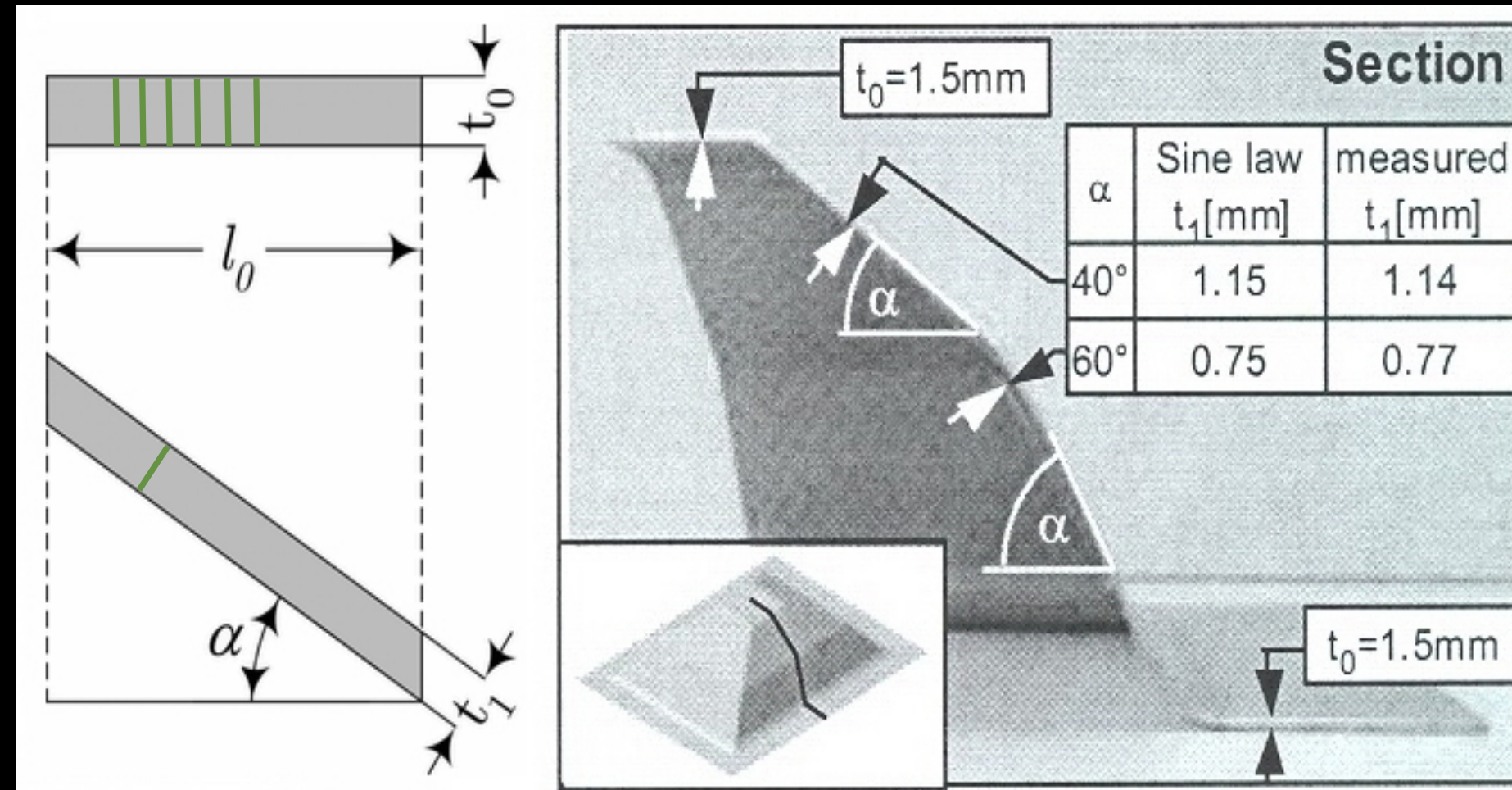
Déformation principale maximale (**radiale**)



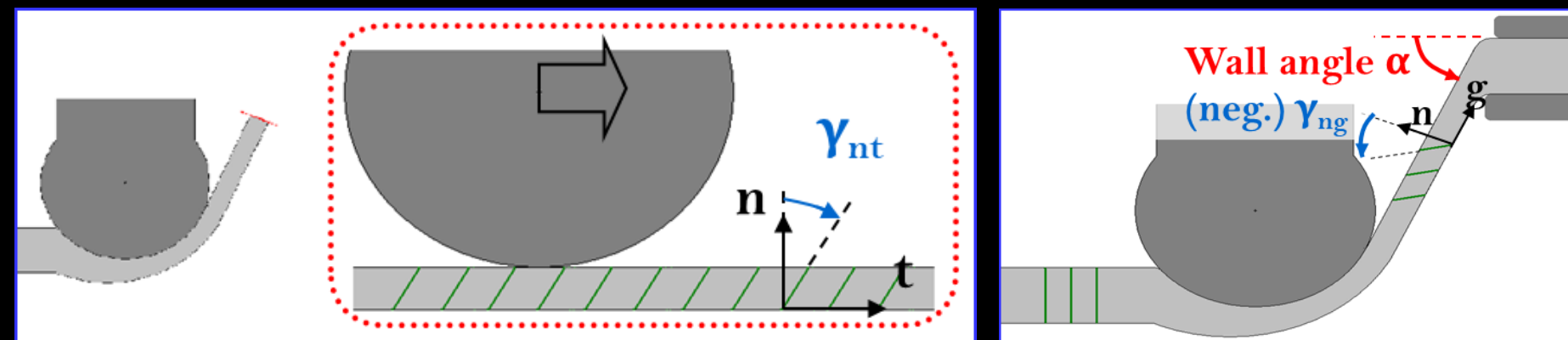
Déformation principale minimum (**circumférentielle**)

Preuve que la tension n'est pas la seule présente...

Cisaillement dans l'épaisseur non négligeable
(plan $n_g \gg n_t$)



(Hirt *et al.*, 2002) ICTP Conf.



(Eycken *et al.*, 2011) Int. J. Mat. Forming 4(1)

(Henrard *et al.*, 2010) Comp. Mech. 47(5)

Les défis à lever...

- Accroître la **précision** surtout pour les matériaux de grande résistance
- Accroître l'aide **numérique** pour l'optimisation du procédé et développer la correction en ligne du chemin d'outils
 1. un modèle validé (force et forme): PhD Henrard ULiège 2009
 2. un modèle « rapide »: PhD Sena Uaveiro ULiège 2015
 3. un modèle capable de prédire la rupture: PhD Guzman ULiège 2016
- **Réduire les contraintes** internes qui génèrent des distorsions lors du découpage

La précision

Sous le mm, pas sous le 0.5 mm

Some applications for SPIF and realized accuracies [14,60,168].

Application	Materials	Sheet thickness	Compensation/Toolpath strategy	Achieved accuracy (maximum deviation)	Achieved accuracy (average absolute deviation)
Thin sheet moulds	AA 1050	1.5	MARS	0.558	0.119
	AA 3103	1.5	Offset MARS [12]	0.570	0.248
	DC01	1.5	MSPIF ^a	0.772	0.173
	DC01	1,1,5	MARS	0.917	0.396
Cranio-facial implants	AA 1050	1.5	Intermediate shapes + simple compensation	0.834	0.106
	AISI 304	0.5	Intermediate shapes + simple compensation	1.721	0.230
	Titanium grade 2	1	Intermediate shapes + simple compensation	2.019	0.354
	Titanium grade 1	0.5	Freeform MARS	0.570	0.050
	PCL	2.0	Uncompensated	3.766	-
Back seat orthosis	AA 3103	1.5	Reprocessing + DSPIF ^b	1.229	0.236
Face mask	AA 1050	1.5	DSPIF ^b + partial toolpaths	3.333	0.053
Airfoil	AA 5754	1	Offset MARS	0.656	0.323
			Generic error correction function		
			MARS for ruled features		
	AISI 304	0.5	Morphing	0.497	0.317

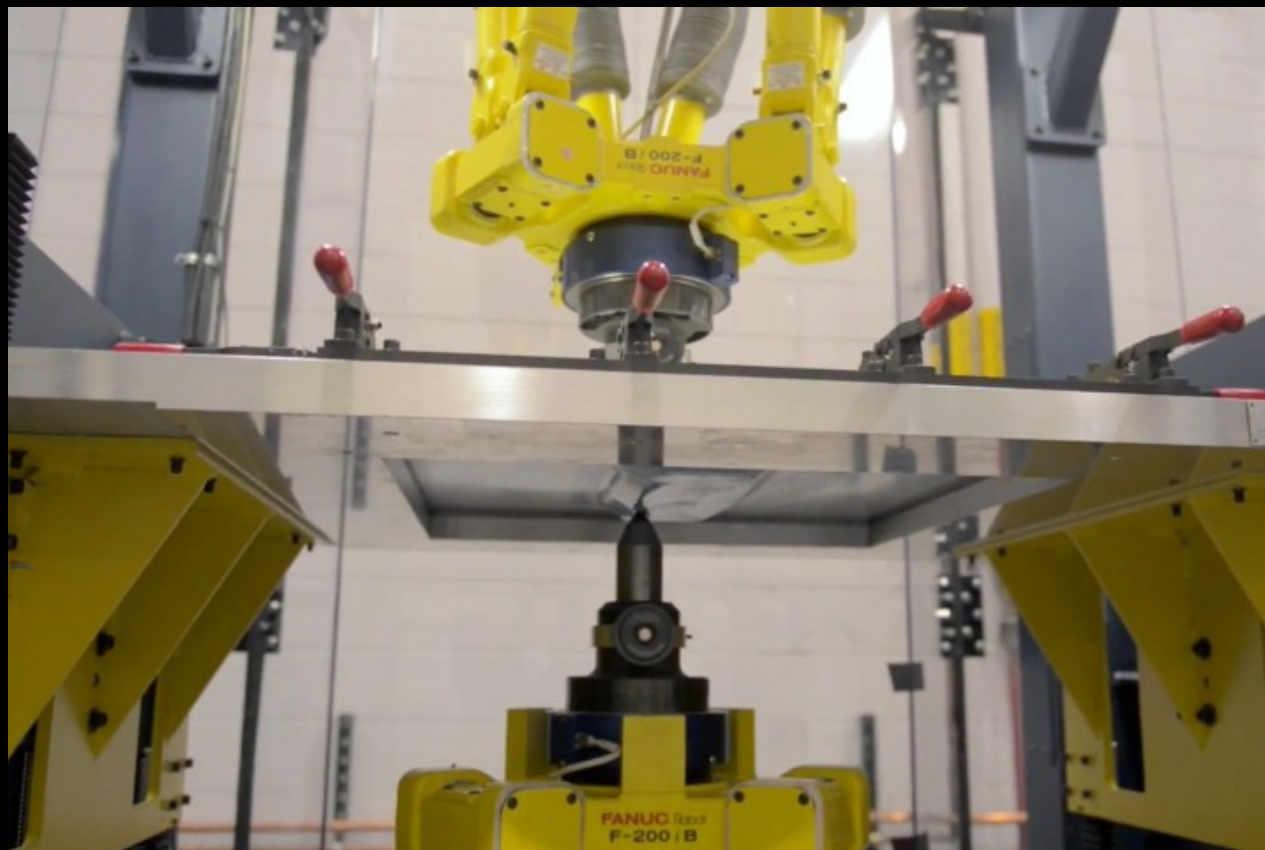
^a MSPIF – Multi step SPIF [5].

^b DSPIF – Double sided SPIF [85].

(Behera *et al.*, 2017)

KULeuven J. Duflou annonce une précision moyenne de 0.32 mm

Nombreuses variantes pour accroître la précision

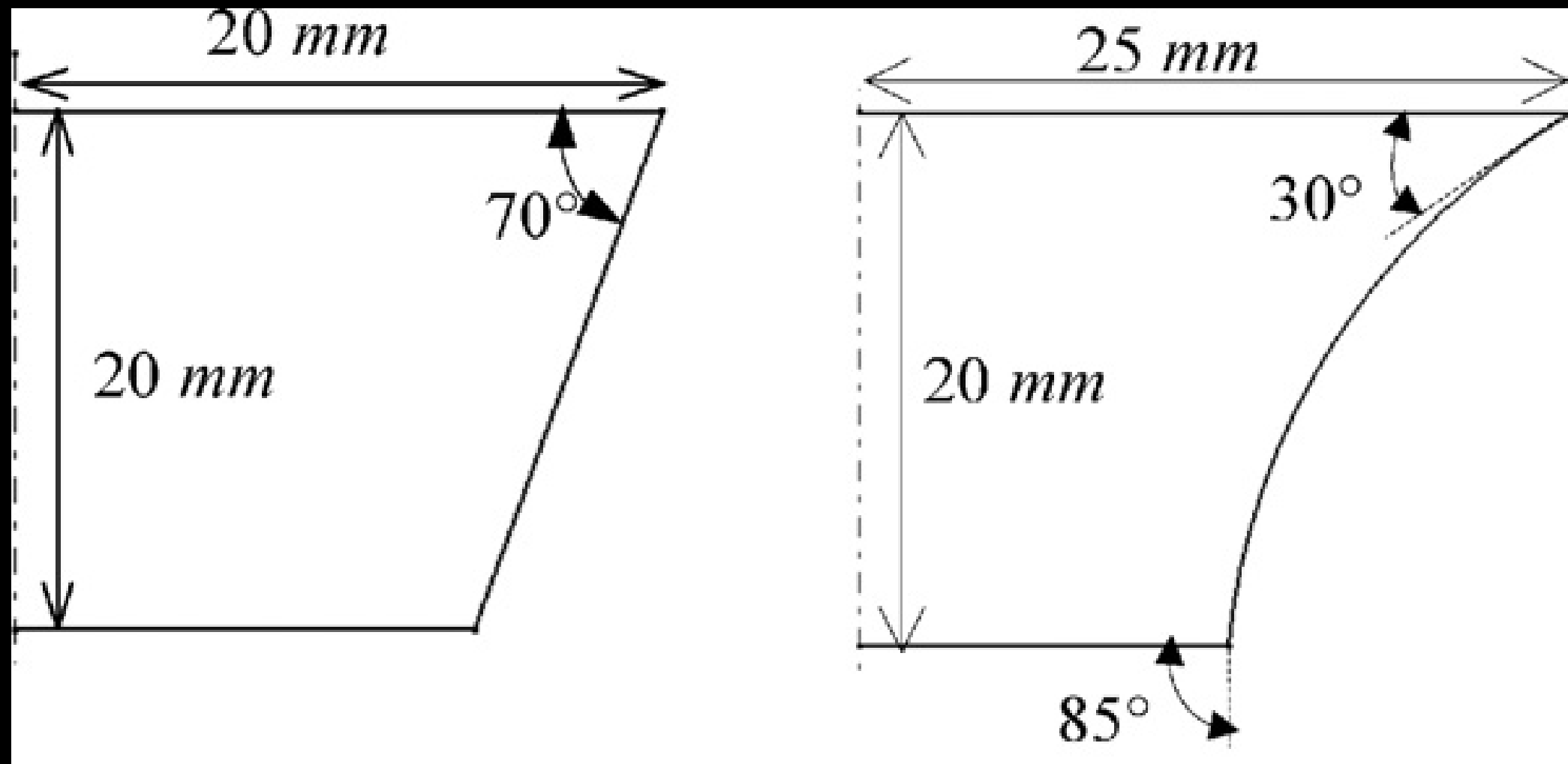


FORD. <https://media.ford.com/> 2016.



<https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2013/07/03/ford-develops-advanced-technology-to-revolutionize-prototyping.html>

La limite de forme



La limite de forme

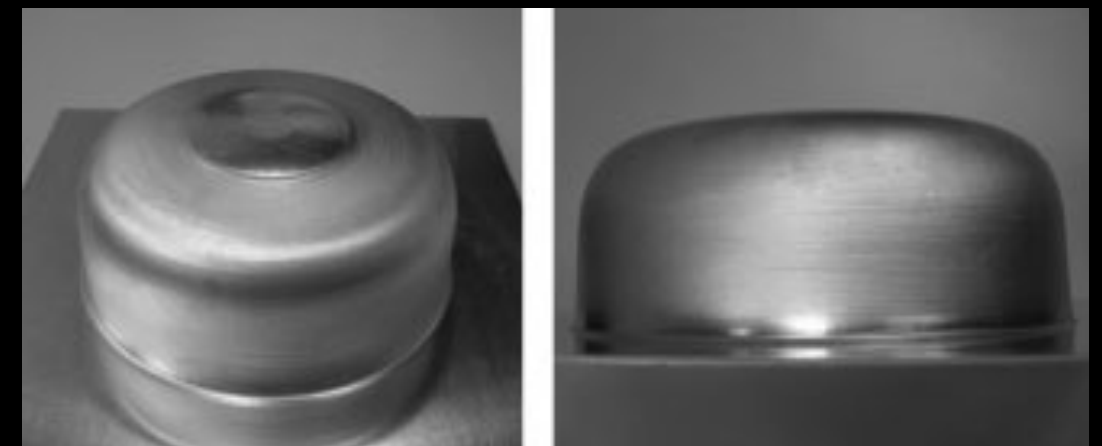
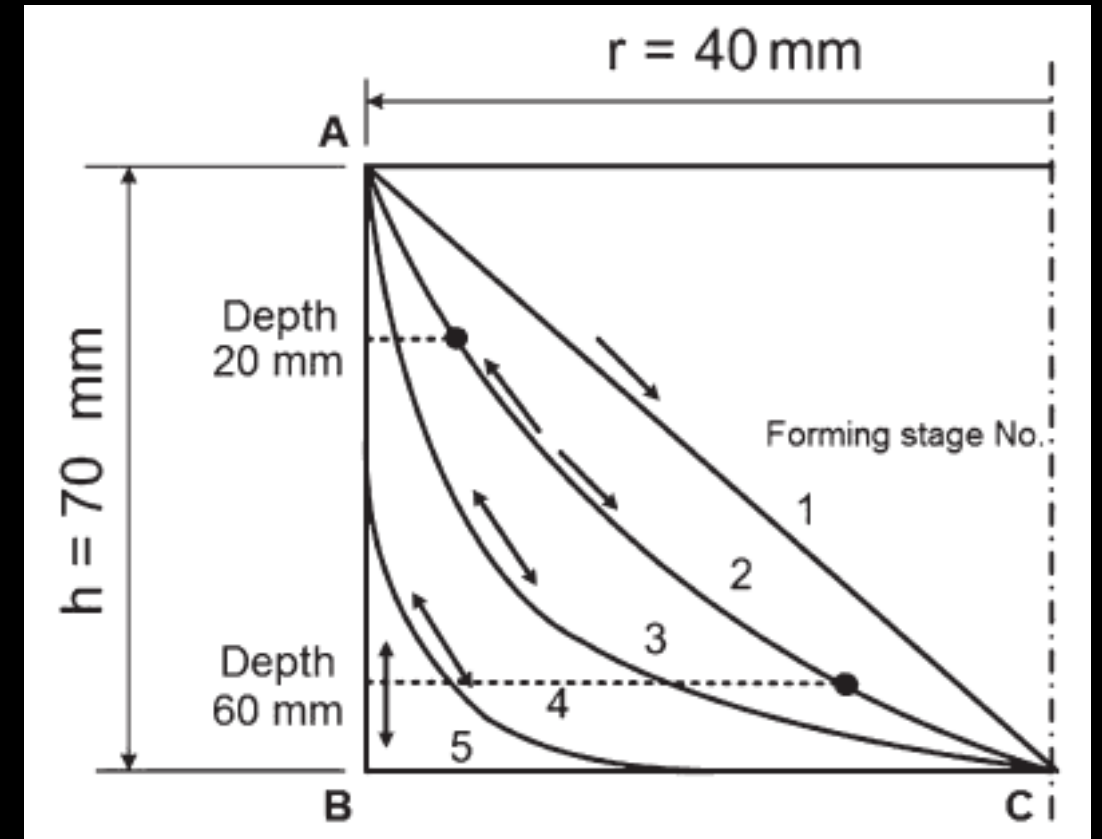
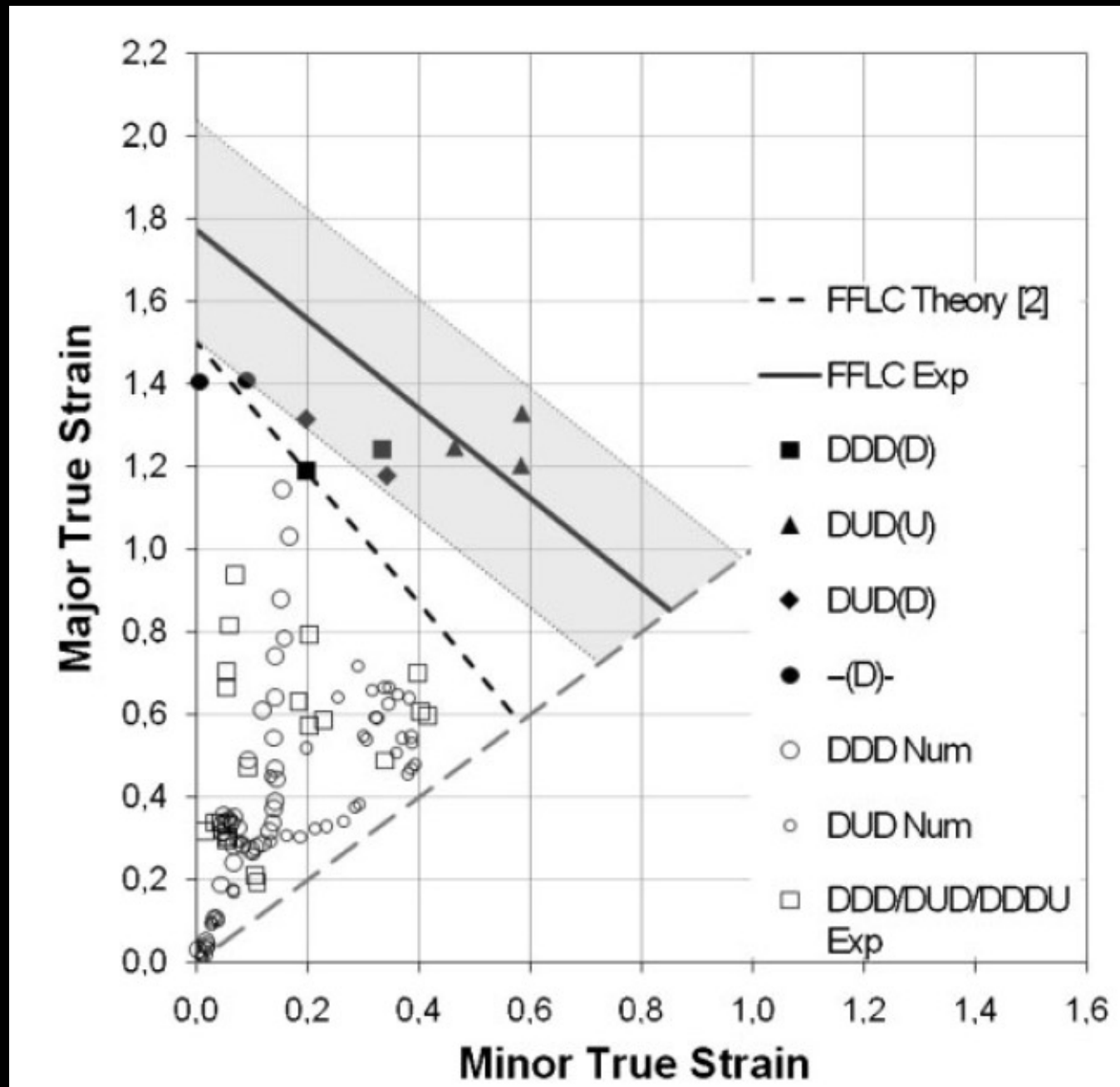
Maximum achievable wall angle for different materials.

Material	Formed specimen geometry	Tool diameter (mm)	Thickness (mm)	Max. achievable wall angle
65Cr2	Truncated cone	10	0.5	57°
AA 1050-O	Truncated cone	10	1.5	76°
AA 2024-T3	Truncated cone	10	1.0	72°
AA 3003-O	Truncated cone	10	0.85	70°
AA 3003-O	Truncated cone	10	1.2	71°
AA 3003-O	Truncated cone	10	2	76°
AA 3103	Truncated cone	10	1.5	75°
AA 5086-H111	Truncated cone	10	0.8	62°
AA 5182	Truncated cone	10	1.25	64°
AA 5182	Truncated cone	25.4	0.93	63°
AA 5754 (AlMg3)	Truncated cone	10	1	64°
AA 5754 (AlMg3)	Truncated cone	10	1.5	71°
AA 6111-T4P	Truncated cone	25.4	0.93	53°
AA 6114-T4	Truncated cone	12	1.0	60°
AISI 304	Truncated cone	10	0.4	63°
Brass	Truncated cone	12	1	40°
Copper	Truncated cone	12	1	65°
DC01	Truncated cone	10	1	67°
DC04	Truncated cone	10	1	64°
DDQ	Truncated cone	12	1	70°
DP600	Varying wall angle conical frustum	16	1	68°
DP780	Varying wall angle conical frustum	16	1	45°
DP1000	Varying wall angle conical frustum	16	1	39°
HSS	Truncated cone	12	1	65°
Ti grade 2	Truncated cone	10	0.5	47°
TiAl6V4	Truncated cone	10	0.6	37°
Polyamide	Varying wall angle conical frustum	10, 15	2, 3	75.4° ^a
Polyvinyl chloride	Varying wall angle conical frustum	10, 15	2, 3	75.4° ^a
Polyethylene	Varying wall angle conical frustum	10, 15	2, 3	81° ^b

^a This is an average over tests with varying tool diameter, sheet thickness and initial drawing angle.

^b This is a peak over tests with varying tool diameter, sheet thickness and initial drawing angle.

Le multi-step permet d'atteindre 90°...



Aluminium alloy AA1050-0

(Skjodt *et al.*, 2010)

SPIF permet d'atteindre la Fracture Forming Limit Curve



<http://www.aminonac.ca/presses-andequipment-dieless-nc.asp>, 2016.



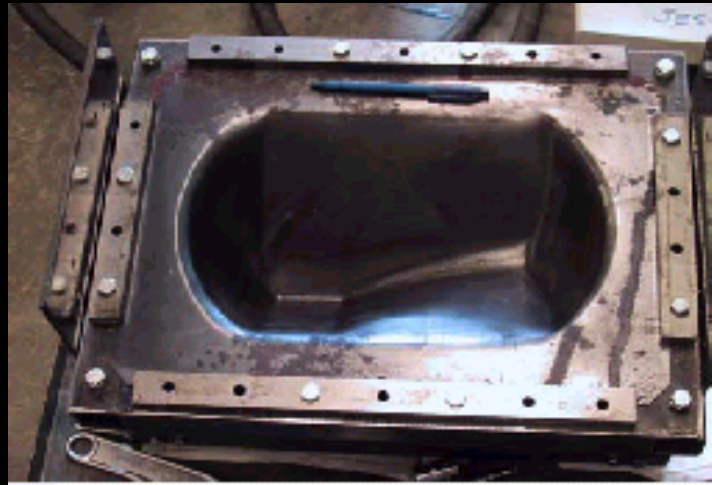
Modèle réduit (1/8) du train à grande vitesse Shinkansen

University of Cambridge. Incremental Sheet Forming; 2009. Available online at: <http://www.lcmp.eng.cam.ac.uk/wellformed/incremental-sheet-forming>

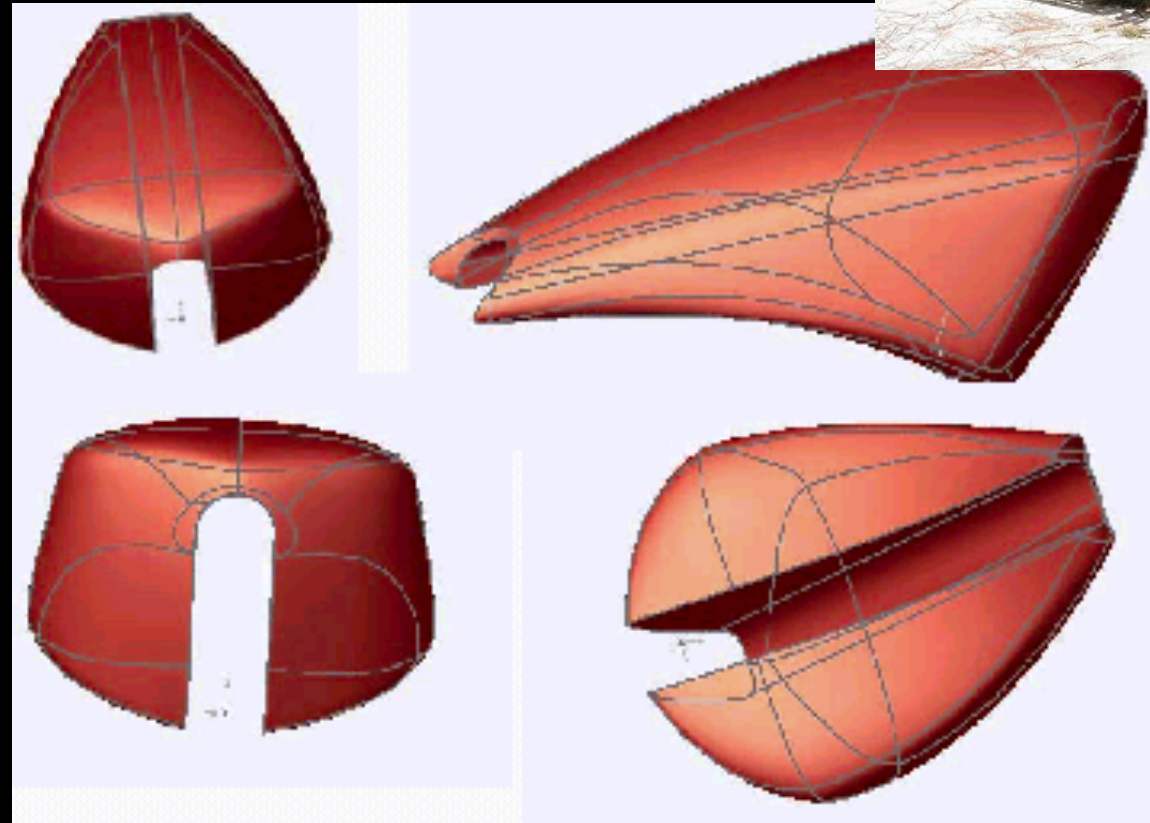
Team: Jeswiet, Guenter, Williamson



Selle



Réservoir

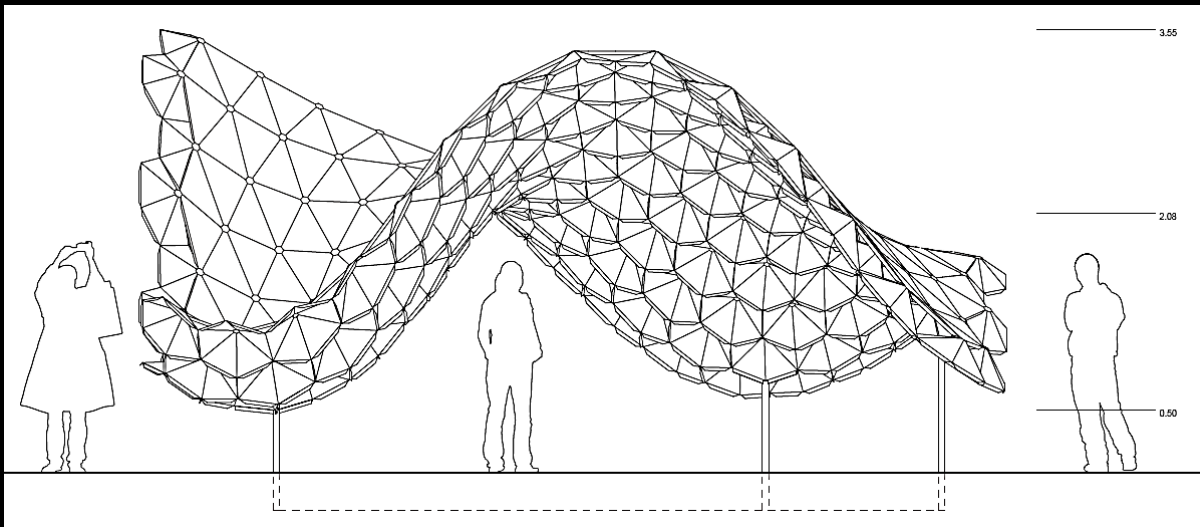
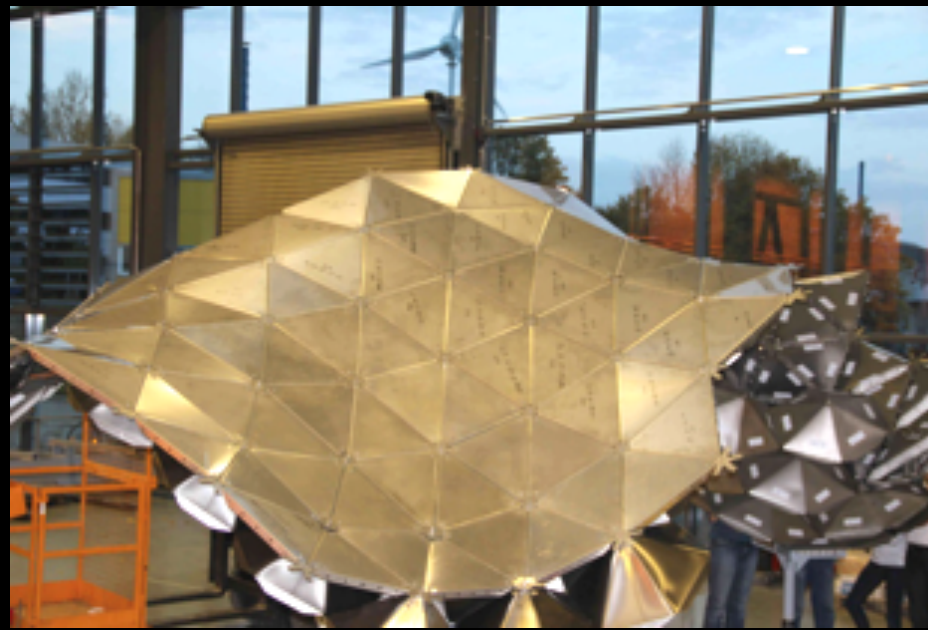


Airbus A320 Porte Hydraulique
(Hirt *et al.*, 2015)

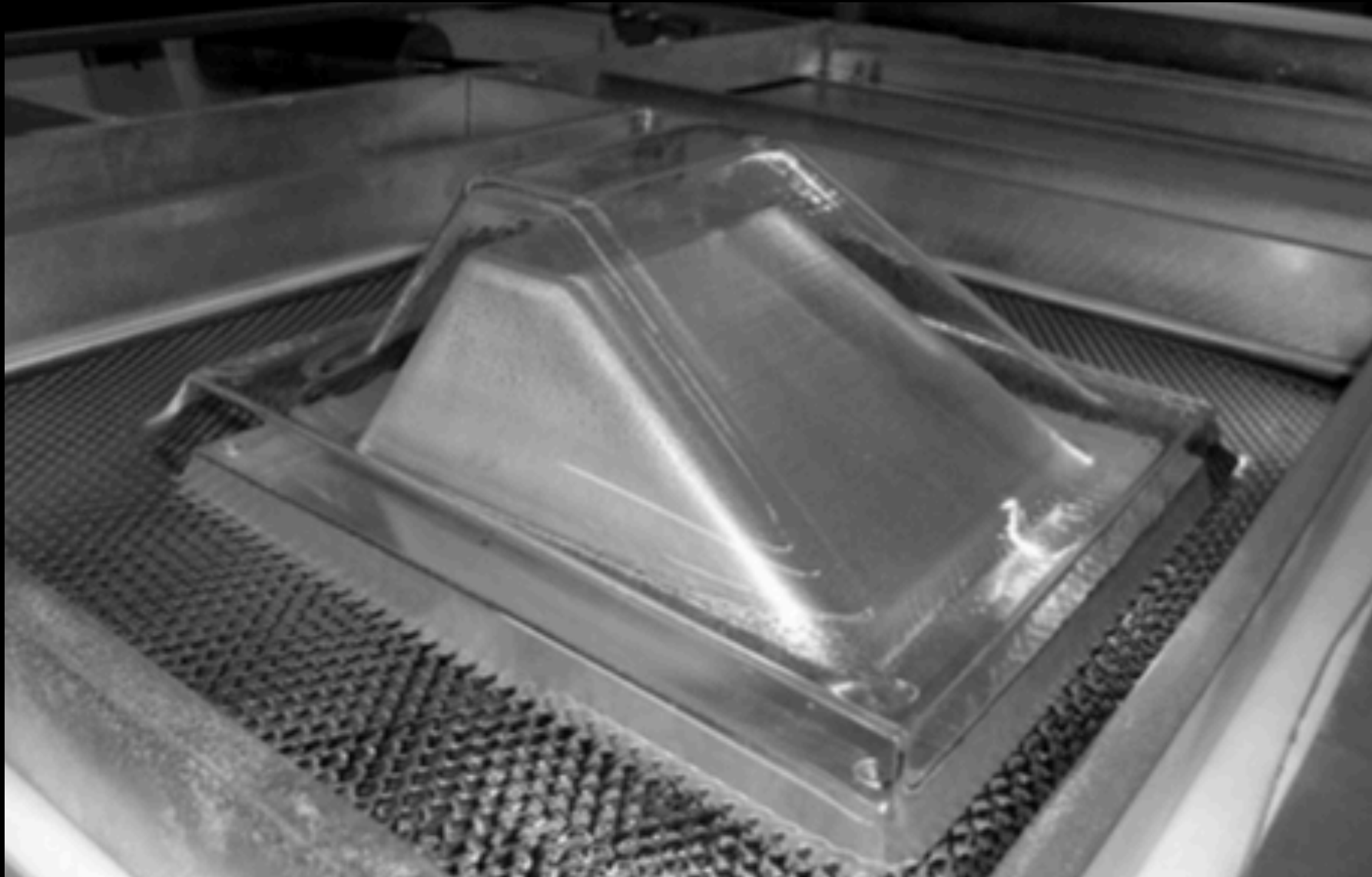
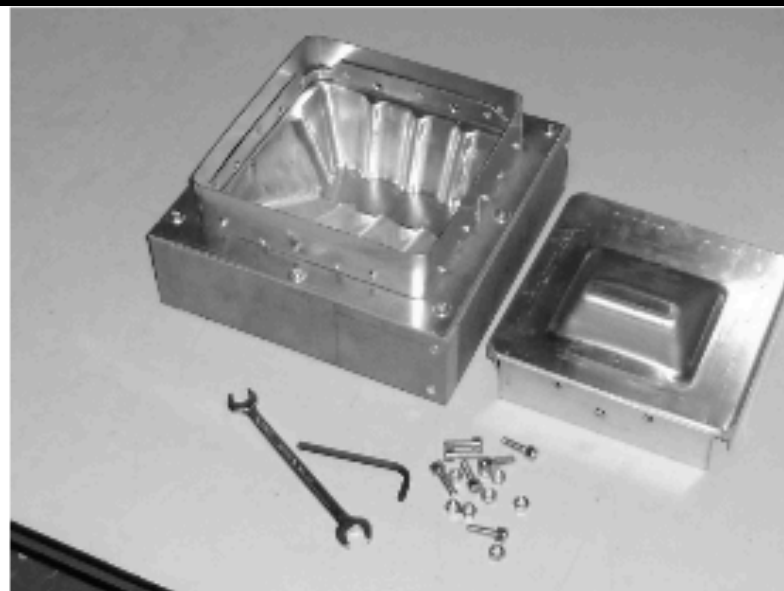
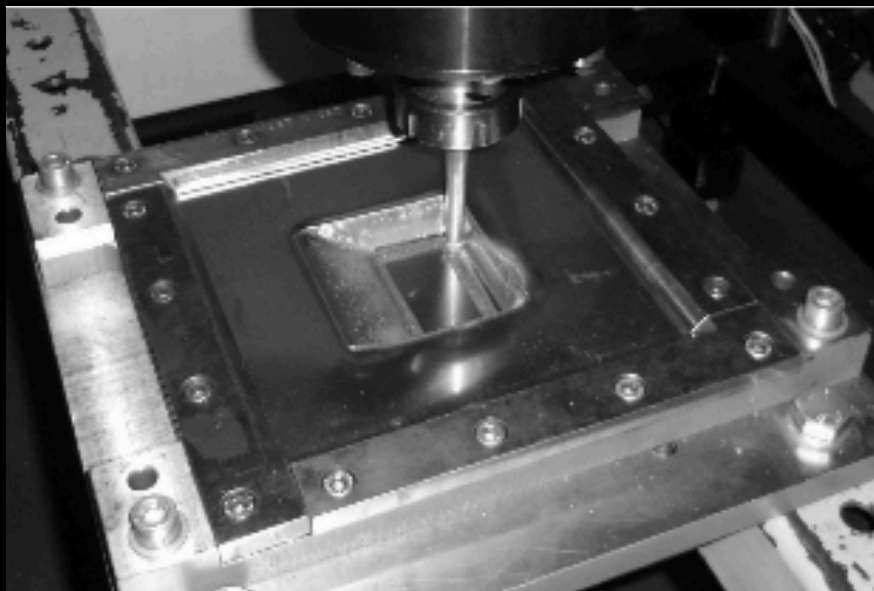


<https://archinect.imgix.net>



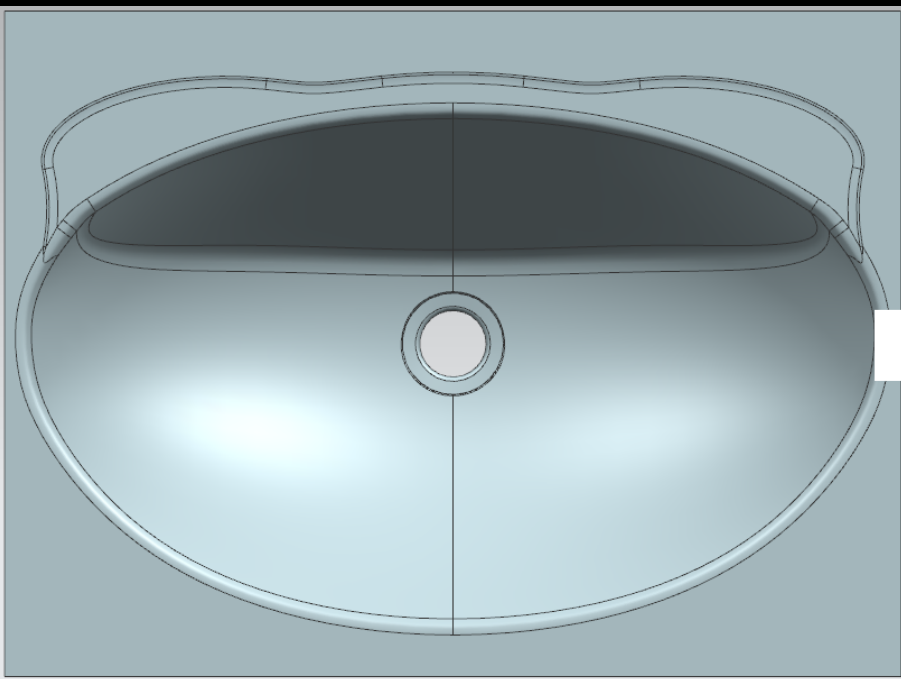


Structure prototype
Aachen RWTH
Hirt (IBF)
Trautz (Structures and Structural Design)

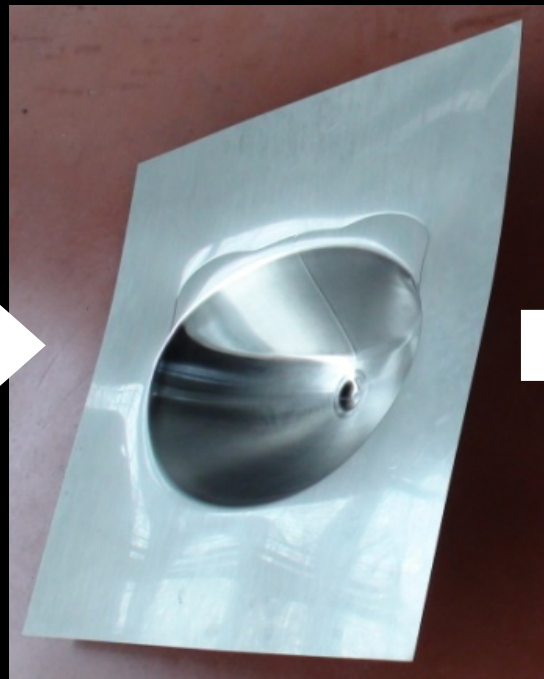


Université d'Aveiro

Moules pour
thermoformage



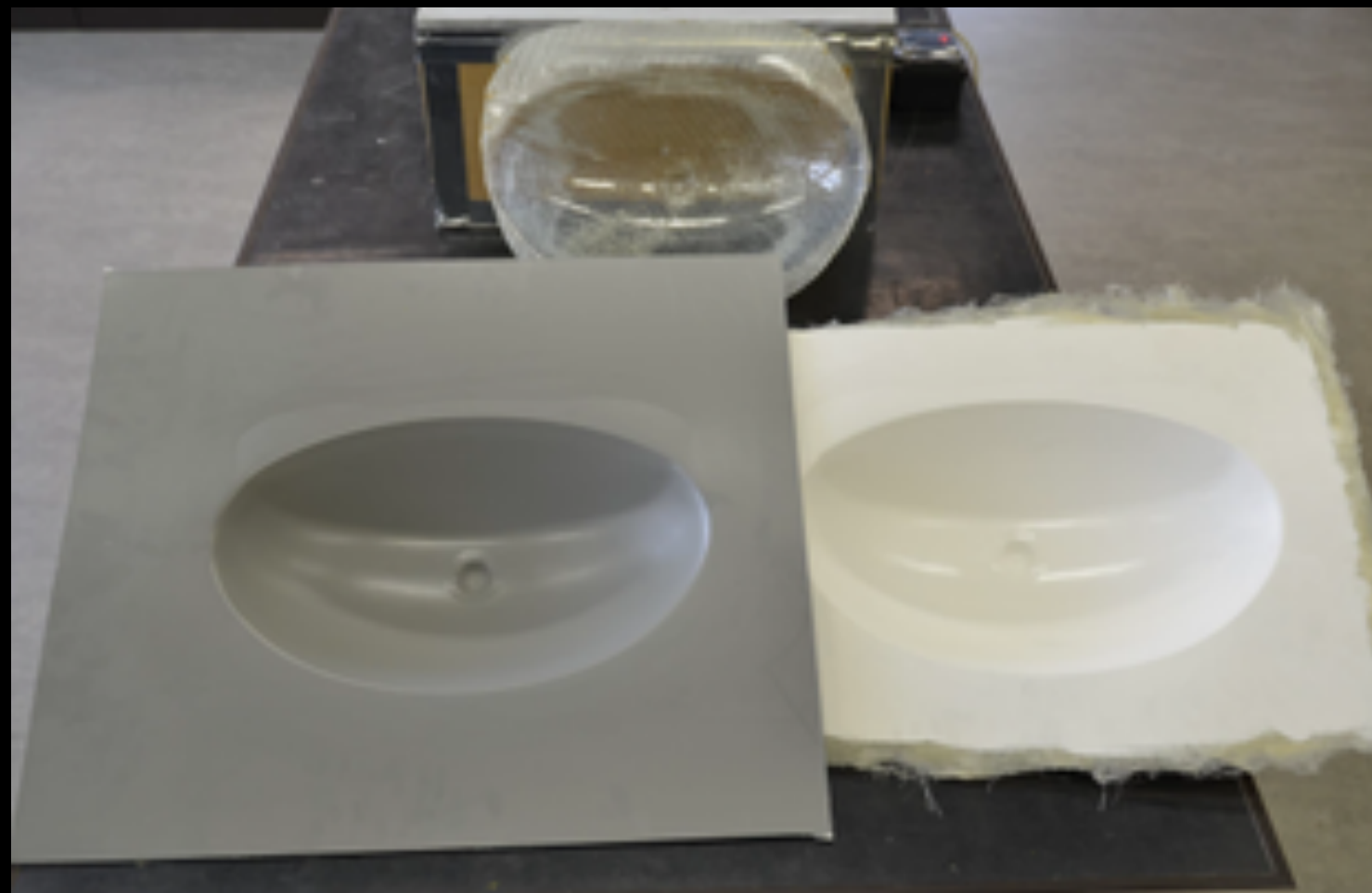
Modèle CAD



Tôle mise à forme

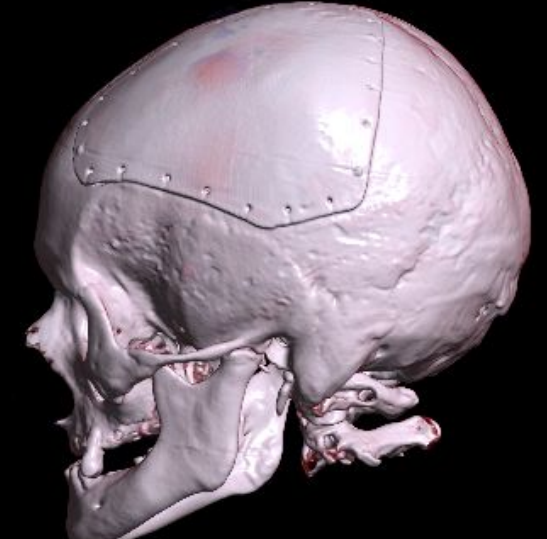


Matrice de thermoformage



Mechanical Engineering Department
KU Leuven

Equipe J. Duflou

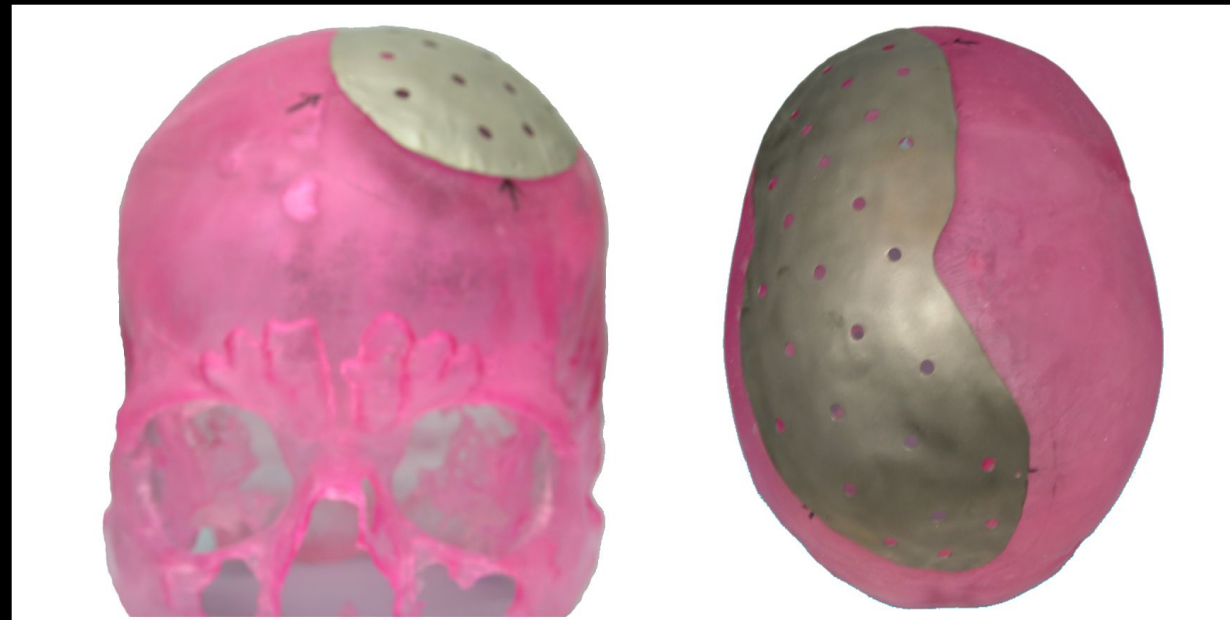


Implant crânien

Forme aisée pour SPIF

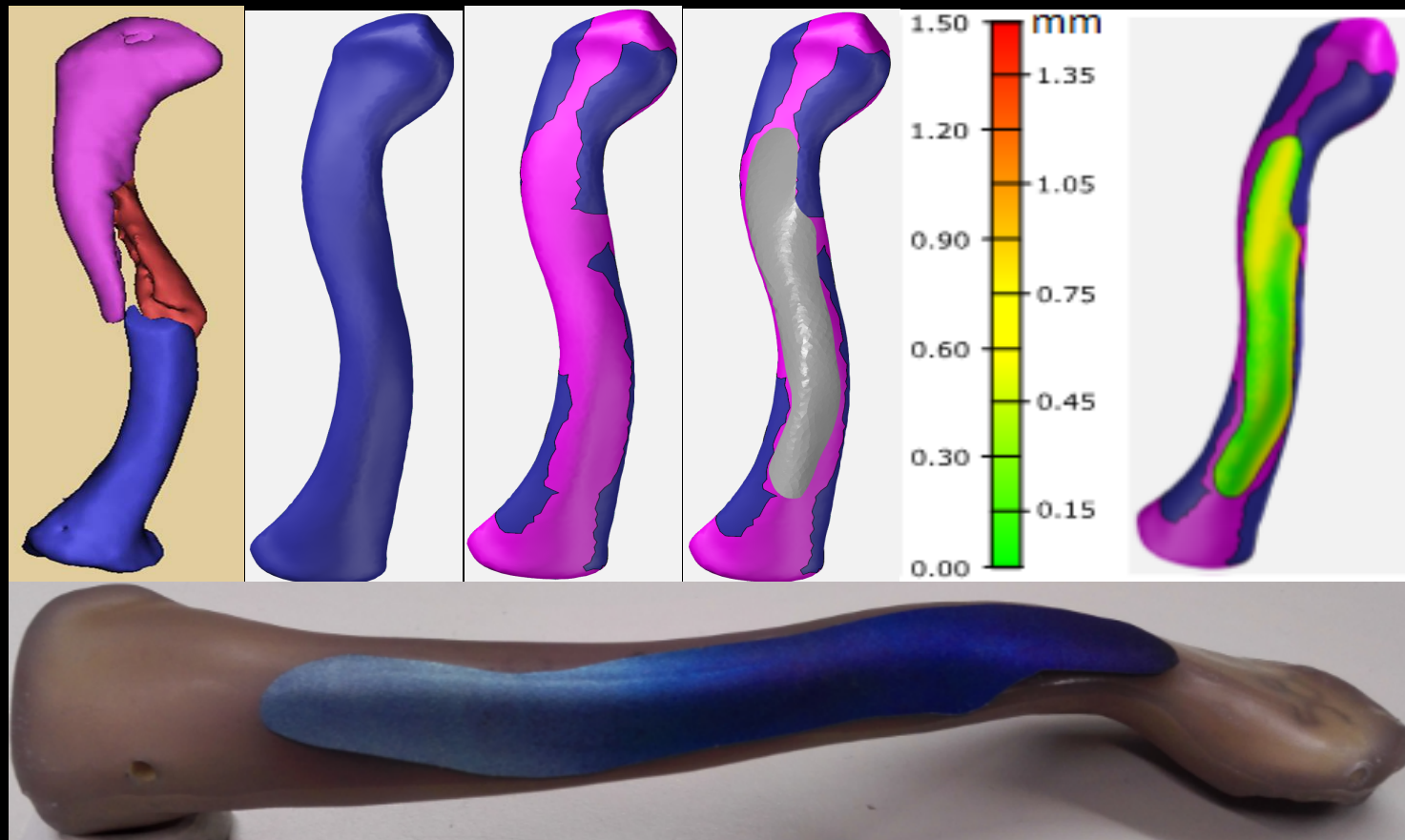
Interventions de neurochirurgie
Accidents, Cancers: rares

1er implant 2007



Mechanical Engineering Department
KU Leuven

Equipe J. Duflou



Prothèse plus fine, plus esthétique
et meilleur alignement

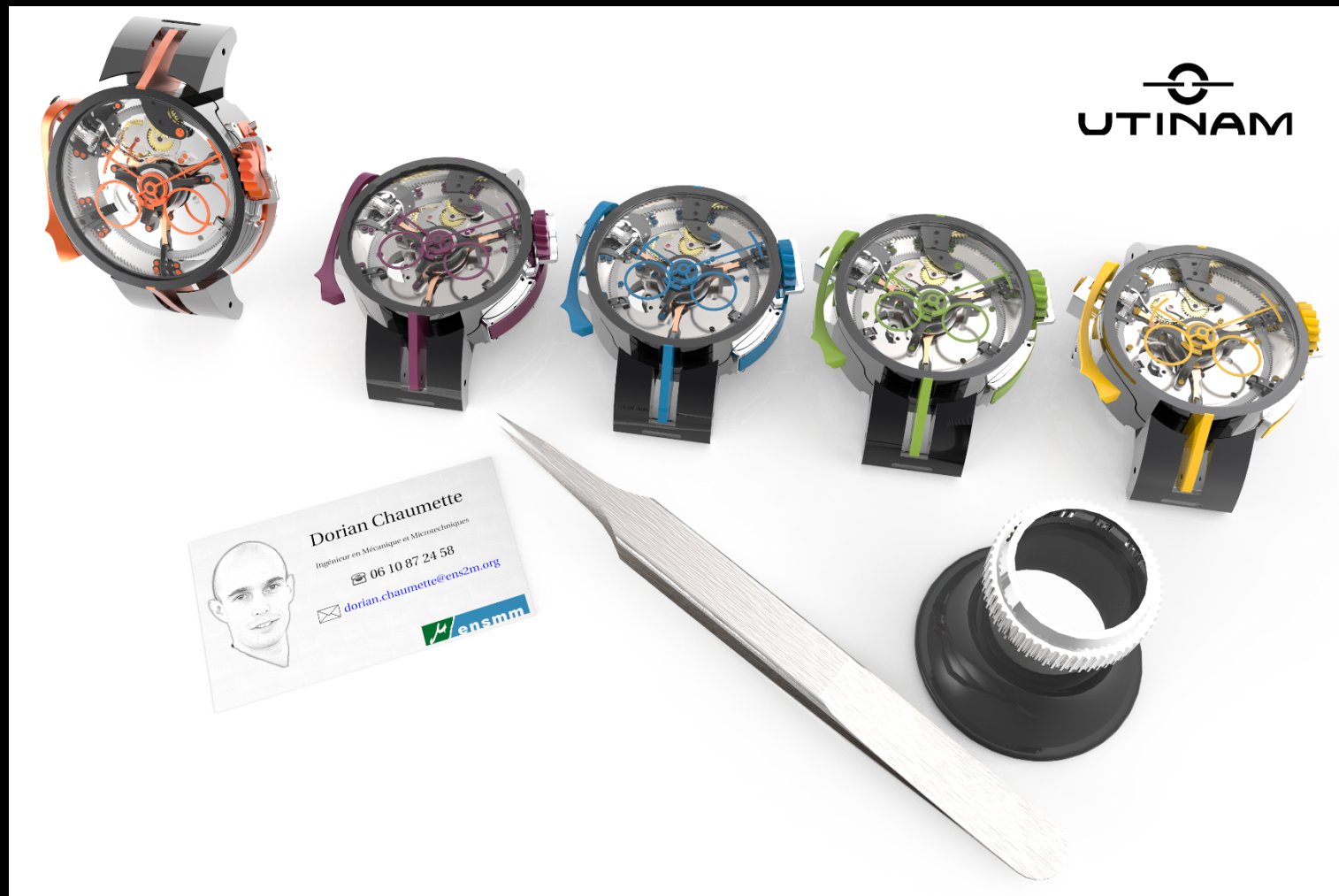
Material: Titanium grade 2
Blank thickness: 1mm



Mechanical Engineering Department
KU Leuven

Equipe J. Duflou

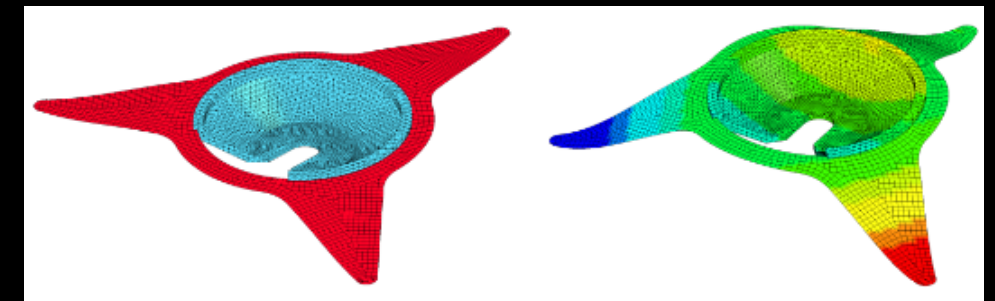
Application à une montre compliquée originale



Faible série (20 à 50)

Système complexe nécessitant le développement d'un embrayage axial (activation des aiguilles)

Pièce obtenue par microformage incrémental



Travail de fin d'études de D. Chaumette, prof. S. Thibaud (Professeur à l'ENSMM)

Et sur le plan environnemental ?

Bilan énergétique (Dittrich *et al.*, 2012), Prod. Eng.:

- Mise à forme / pièce demande plus d'énergie que l'emboutissage
- Mais pas de poinçon ni matrice

► **Bilan positif** pour les séries < 300 pièces
(Behera *et al.*, 2017) J. of Manufacturing Processes

Electrical energy performance of the most used SPIF platforms.

SPIF platform	Forming time [s]	Average power level [W]	Additional energy [%]
CNC milling machine	430	2825	563%
AMINO	588	379	23%
Robot	287	181	Reference

(Ingarao *et al.*, 2014) J. Clean Product

Et sur le plan environnemental ?

Accroître la vitesse pour réduire la consommation électrique, le temps de formage

- 420 s. ▶ 12 s. Ambrogio CIRP 2014
- 1200 s. ▶ 4 s. Erman Tekkaya Dortmund

2 m / min ▶ 600 m / min

▶ **Bilan matériau:** gain de 10% SPIF / emboutissage
(Behera *et al.*, 2017) J. of Manufacturing Processes

Les défis à lever...

- Trois bilans récents:

J. Duflou, A.M. Habraken, J. Cao, M. Bambach, D Adams, H. Vanhove, A.A. Mohammadi, J. Jeswiet Int. J. Material Forming (to appear)

A. K. Behera, R. De Sousa, G. Ingarao, V. Oleksik
J. of Manufact. Processes (2017)

N.V. Reddy, R. Lingam, J. Cao,
Handbook of Manufact. Eng. & Tech., Springer-Verlag (2015)

- Maturité et applications industrielles arrivent

- Besoins ? Plug & Play

« Black Box » qui génère le chemin d'outil optimal

Quels futurs pour la fabrication de pièces métalliques ?

Chainage de procédés: emboutissage et cie, **3D printing**, **SPIF et variantes**, usinage...

Customisation de produits de masse, relocalisation de la production, réalisation de prototypes, petites à moyennes séries, marché des pièces de rechange, ...

Opportunités

- évolution sociétale / la fabrication
- évolution sociétale / l'innovation
- évolution de la localisation de la production

Besoins

- logiciels de distribution des étapes entre différents procédés
- meilleur contrôle des procédés nouveaux
- formation adaptée des ingénieurs
- offre d'outils adaptée aux industriels mais aussi aux citoyens

Merci pour votre attention!

- Contact: anne.habraken@uliege.be
- Guzmán CF, Gu J, Duflou J, Vanhove H, Flores P, Habraken AM.
Study of the geometrical inaccuracy on a SPIF two-slope pyramid by finite element simulations.
Int J Solids Struct 2012; 49:3594–604