

Jumeaux Numériques

Initiation aux concepts

Séminaire à destination des étudiants de première année ingénieur civil

9 octobre 2023

Introduction

Histoire

Intérêts pour les jumeaux numériques

Conception d'un jumeau numérique

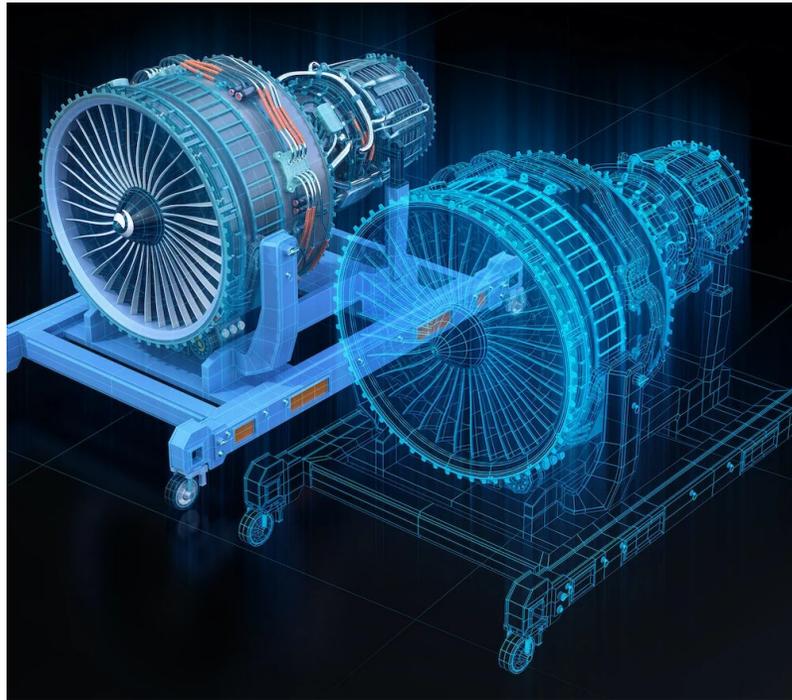
Exemples de jumeaux numériques

Jumeaux ? Numérique ?



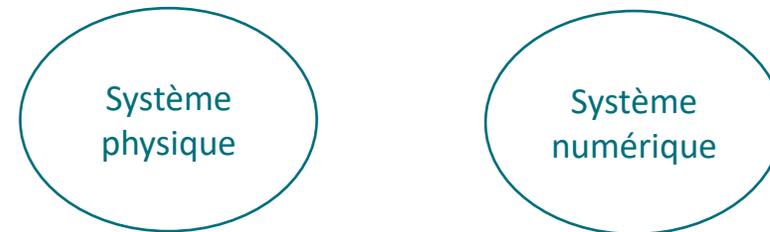
woodclap.com/

Représentation numérique très fidèle d'un système physique.

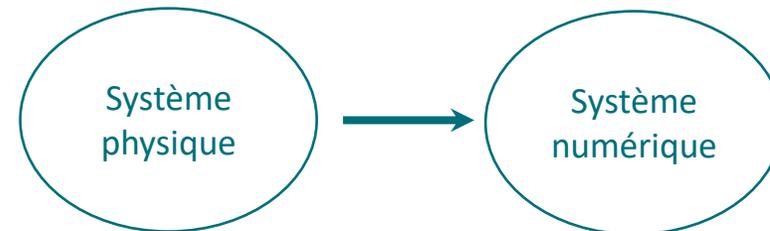


Il existe cependant trois "interprétations" différentes ...

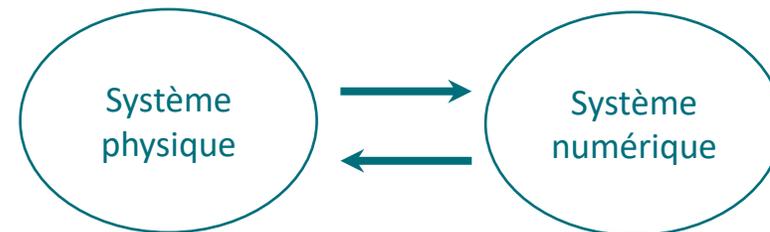
Modèle numérique (digital model)



Ombre numérique (digital shadow)



Jumeau numérique (digital twin)

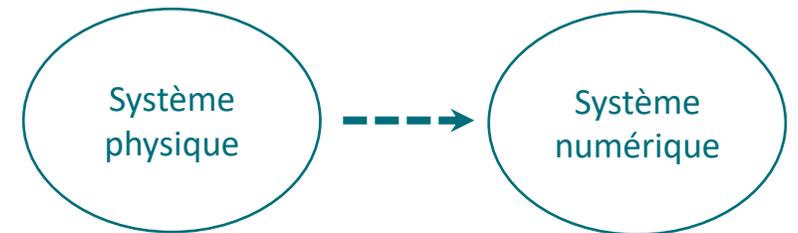


Au minimum, un jumeau numérique est ...

Une représentation numérique d'un système physique^A très détaillée et basée sur des données provenant du monde physique^B. Cette représentation numérique permet notamment de visualiser le système physique, de manipuler virtuellement ce système et d'effectuer rapidement des simulations et des tests en sécurité.

A Composant/pièce, unité/système, processus

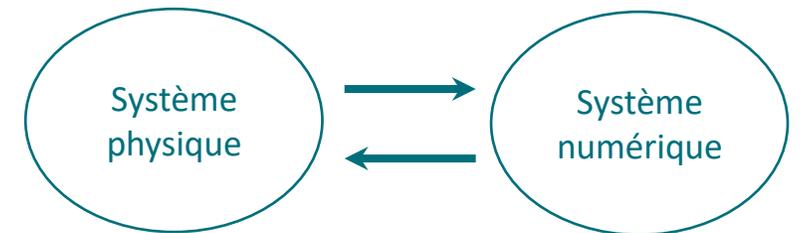
B Capteurs (IoT), Mesures



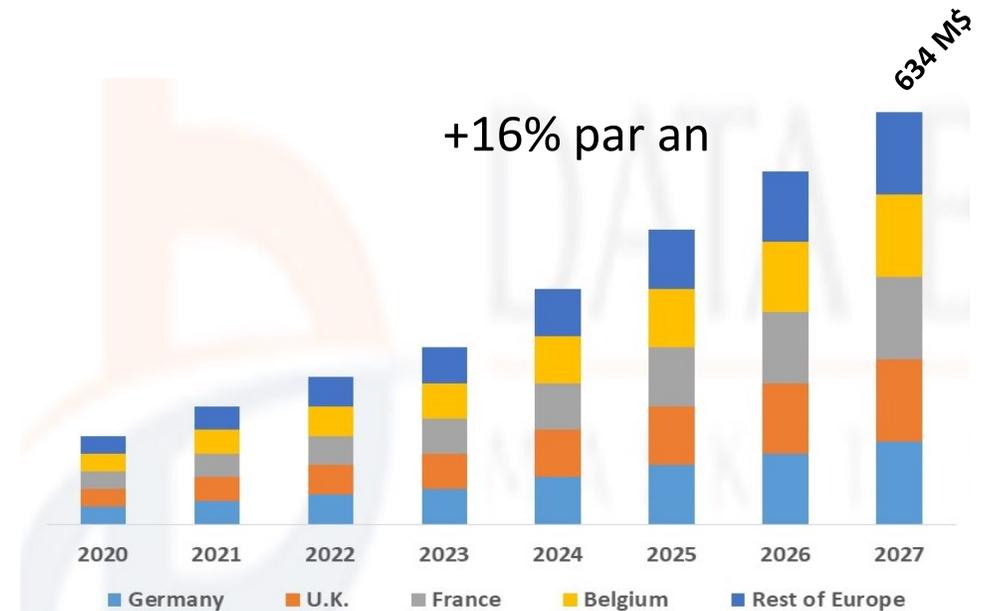
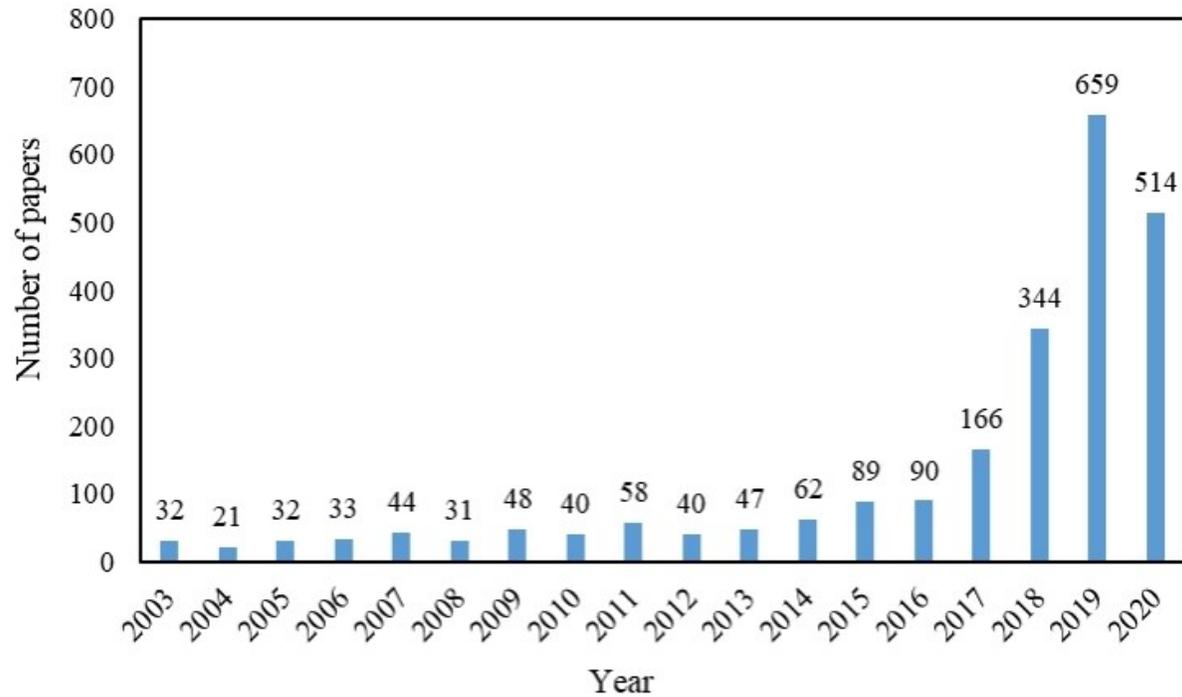
Définition complète : "maximum"

Représentation numérique très fidèle d'un système physique^A, c'est-à-dire une copie numérique se remettant constamment à jour via les données reçues du monde physique^B et une copie physique se remettant constamment à jour via les données reçues^C du monde numérique. Le modèle numérique est capable^D d'effectuer des simulations mais aussi d'analyser et d'anticiper les événements du monde physique.

- A Composant/pièce, unité/système, processus
- B Capteurs (IoT), Mesures
- C Actionneurs (IoT), Commandes
- D Algorithme, Intelligence artificielle, Sciences des données



Pourquoi en parler maintenant ?



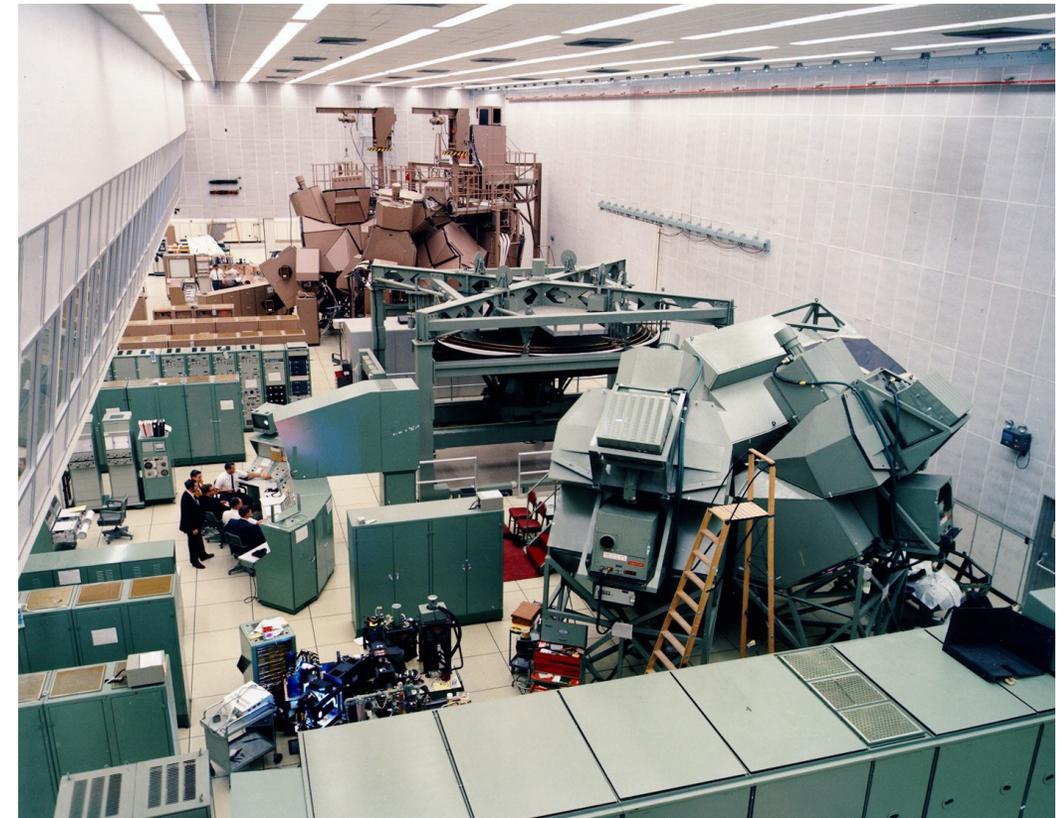
Un concept qui a toujours été lié à l'ingénierie...

02 07 55 19 LMP Okay, Houston - -
02 07 55 20 CDR I believe we've had a problem here.
02 07 55 28 CC This is Houston. Say again, please.
02 07 55 35 CDR Houston, we've had a problem. We've had a
MAIN B BUS UNDERVOLT.
02 07 55 42 CC Roger. MAIN B UNDERVOLT.
02 07 55 58 CC Okay, stand by, 13. We're looking at it.

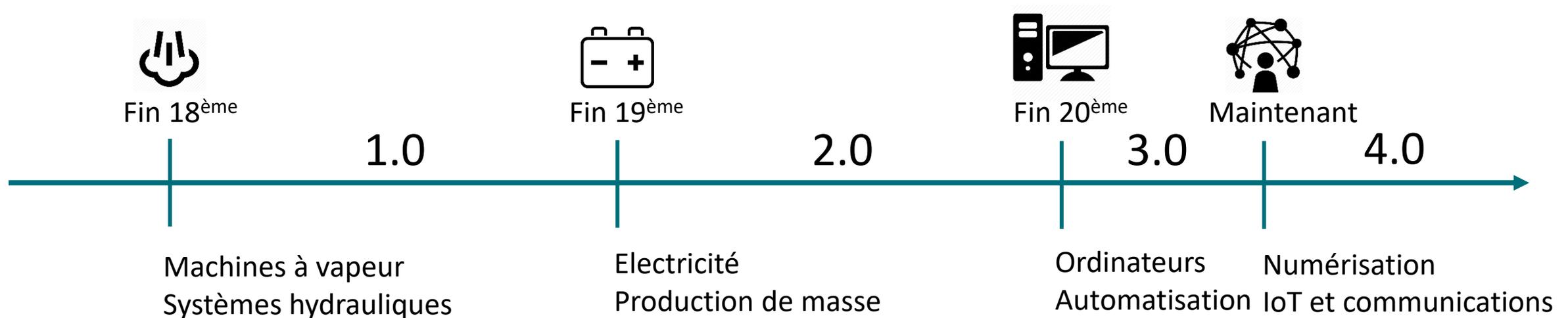
Retranscription des communications de la mission Apollo 13 au moment de l'incident

Les simulateurs d'entraînement étant facilement adaptables, ceux-ci ont été modifiés grâce aux données reçues juste après l'incident afin de tester la solution à recommander aux astronautes.

Simulateurs du module lunaire (module vert) et du module de commande (module brun)



L'industrie évolue au fil des siècles afin d'augmenter la rentabilité (diminuer les coûts de production), d'augmenter la production et diminuer la charge de travail (automatiser la production).



Intérêts des jumeaux numériques

Récolte de données et automatisation



Intérêts des jumeaux numériques

Conception et utilisation du produit



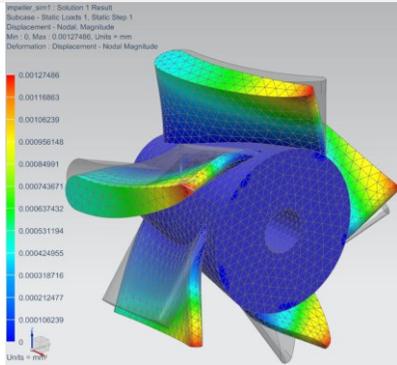
Intérêts des jumeaux numériques

Prédiction et simulation



Intérêts des jumeaux numériques

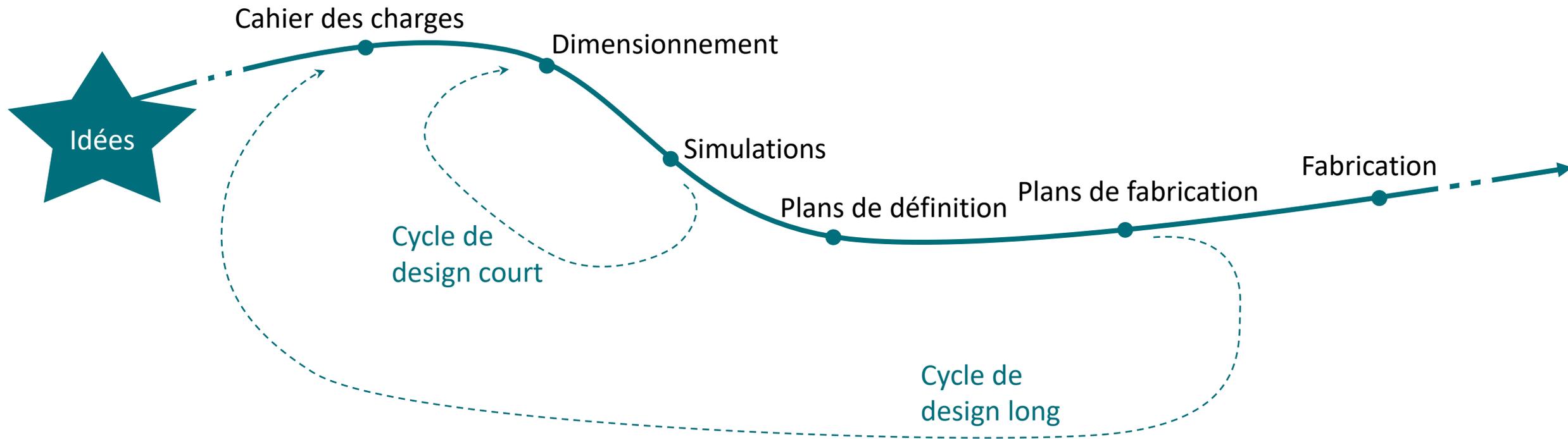
Comparaison avec la simulation habituelle



Simulation	Jumeaux numériques
Ne concerne généralement qu'une pièce et principalement la phase de dimensionnement	Concerne un assemblage complet et peut être fait à n'importe quel moment de la vie de l'assemblage
Les contraintes et paramètres de simulation sont connus et imposés par l'utilisateur	Les contraintes et les paramètres sont imposés par les données extraites ou par le monde physique
Le modèle et les contraintes doivent être mis à jour par l'utilisateur	Le modèle et les contraintes sont mis à jour automatiquement grâce aux données
Peut nécessiter l'arrêt de la machine pour récolter les données	Les capteurs intégrés permettent de le faire en parallèle

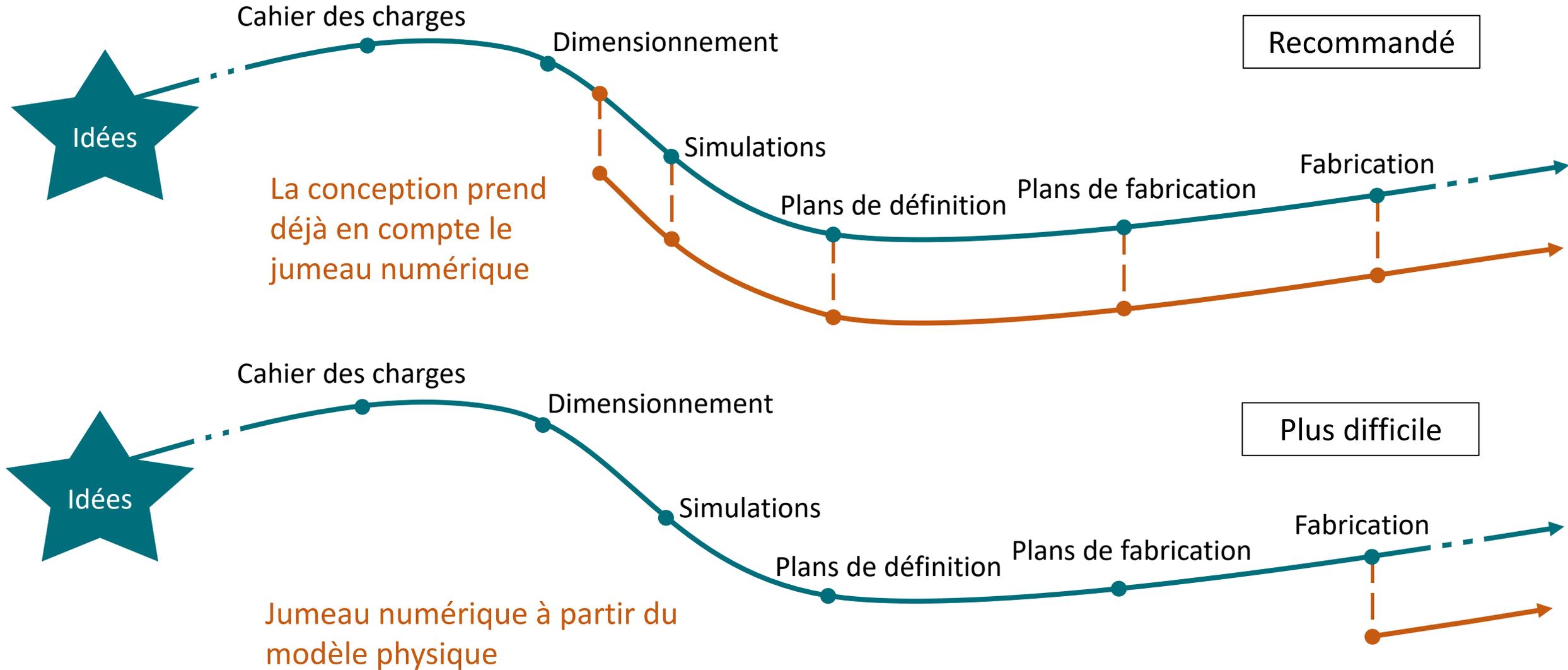
Conception d'un jumeau numérique

Naissance d'un jumeau numérique



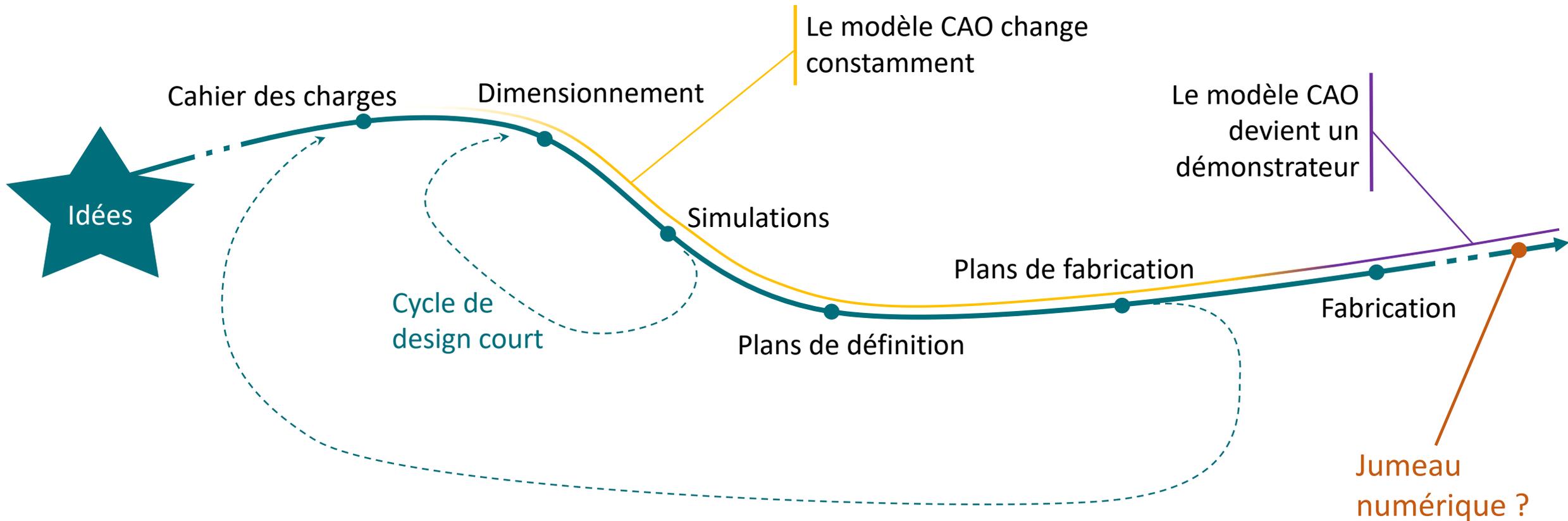
Conception d'un jumeau numérique

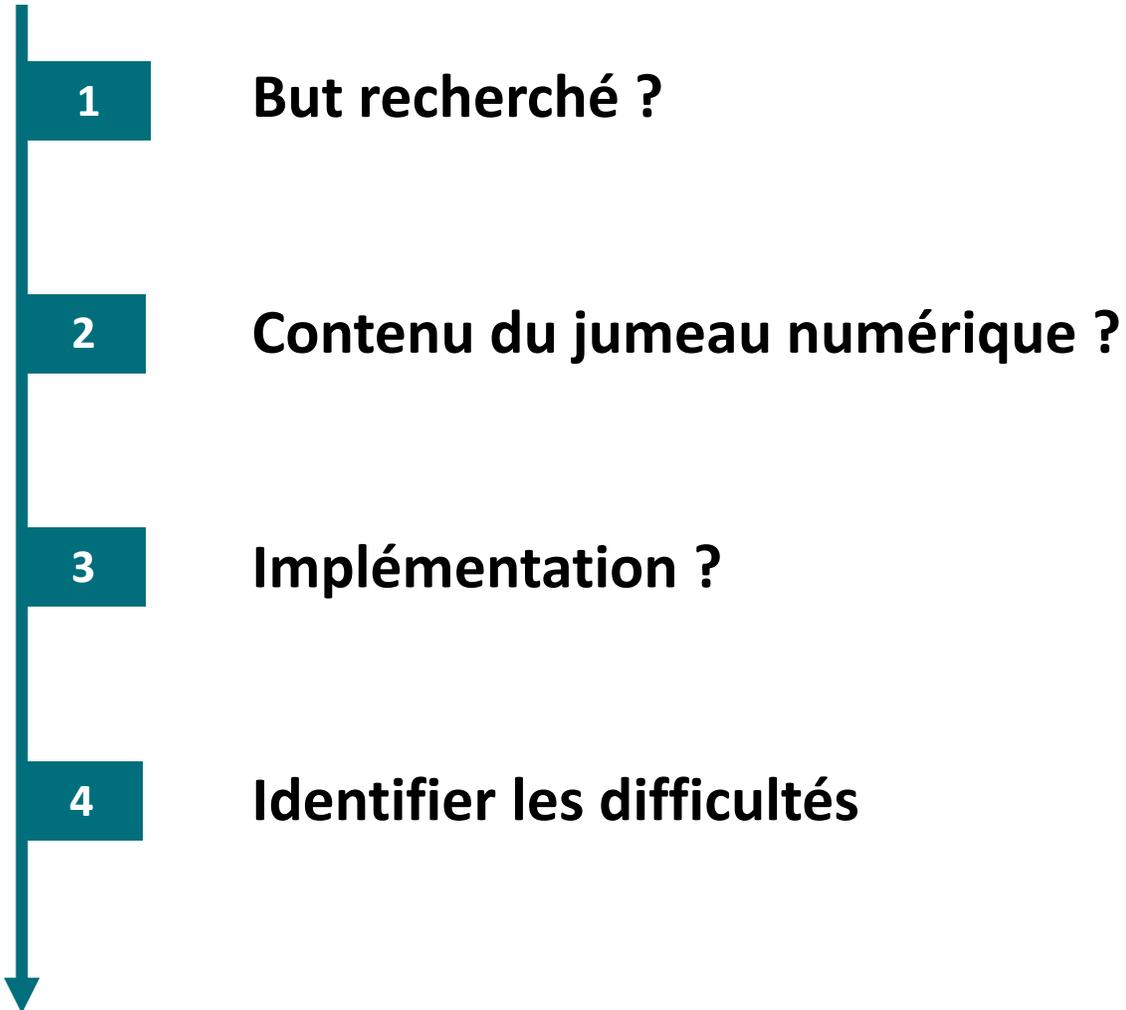
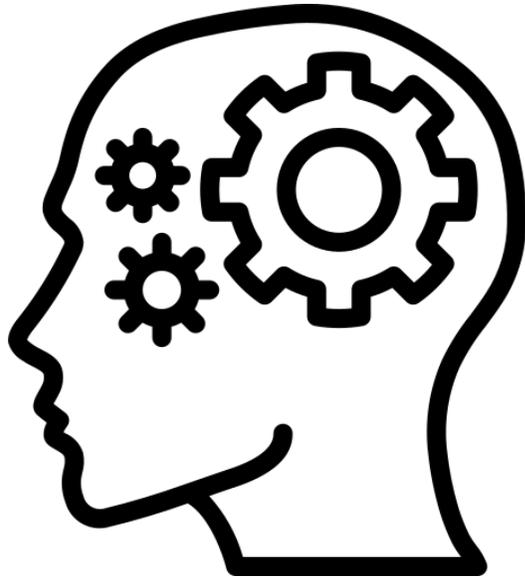
Naissance d'un jumeau numérique



Conception d'un jumeau numérique

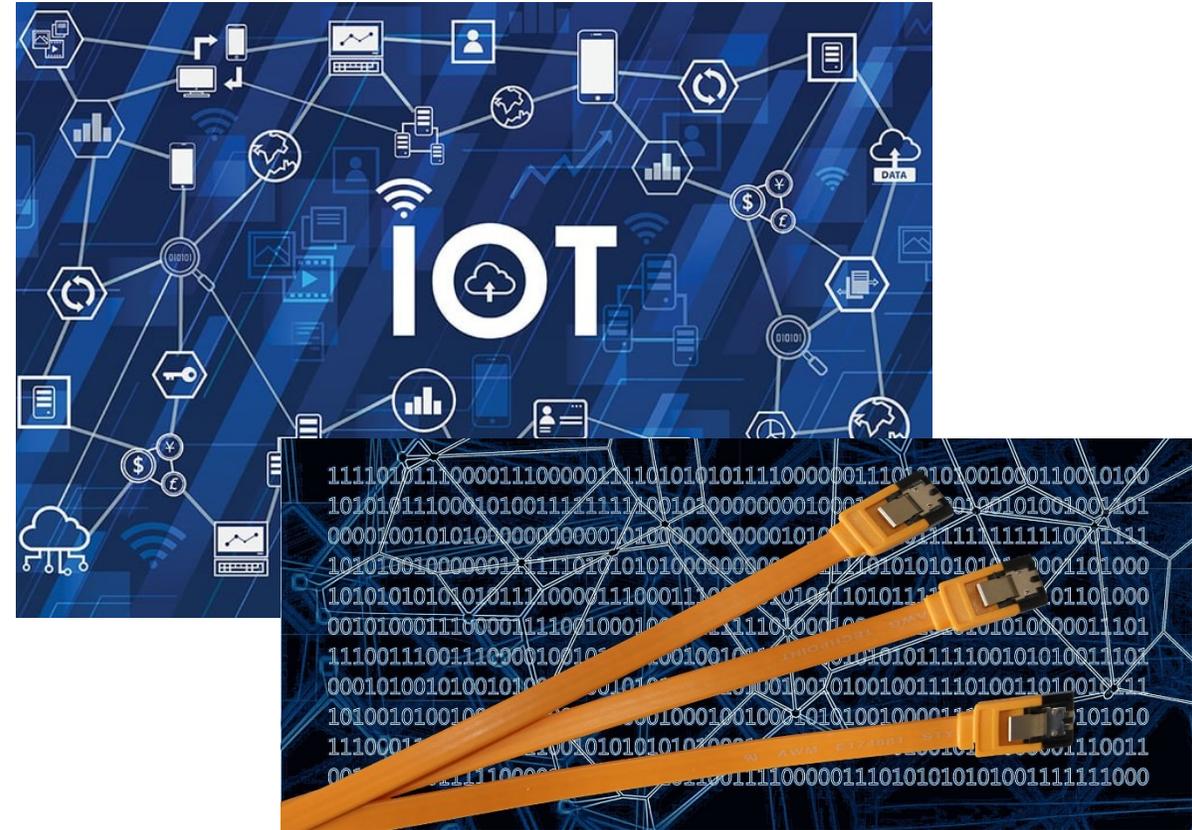
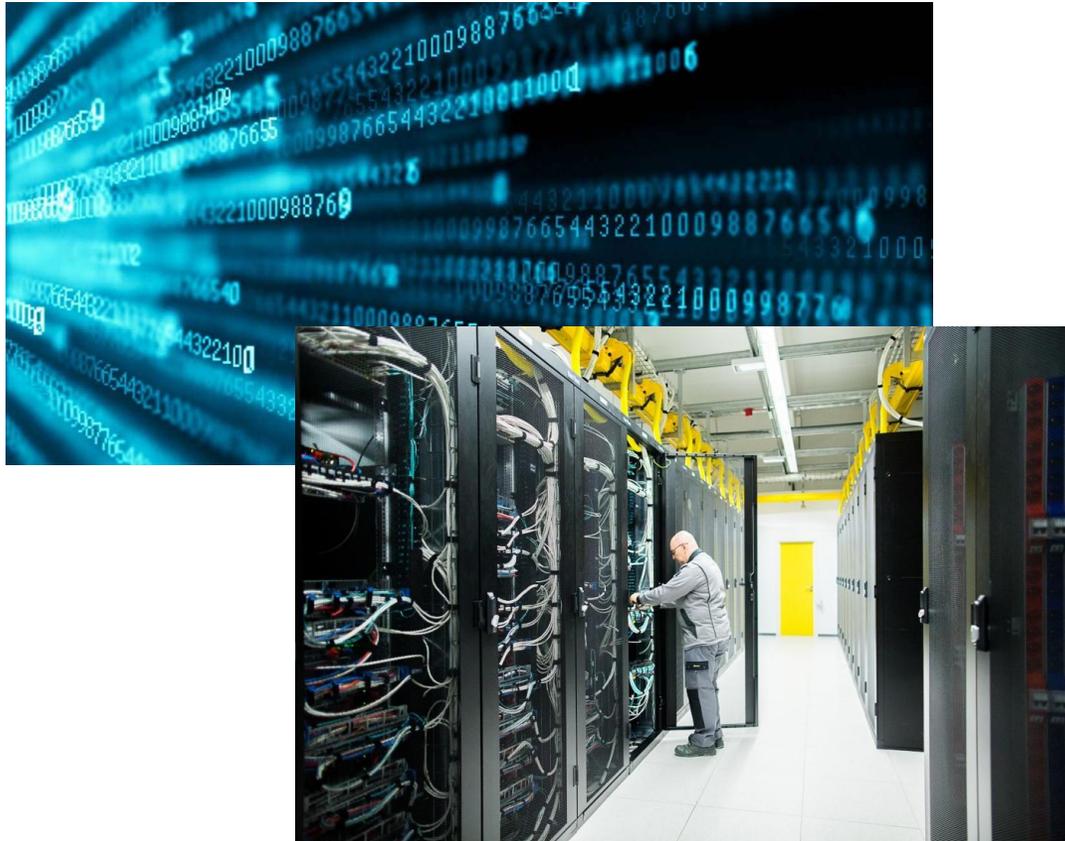
Modèle CAO ?





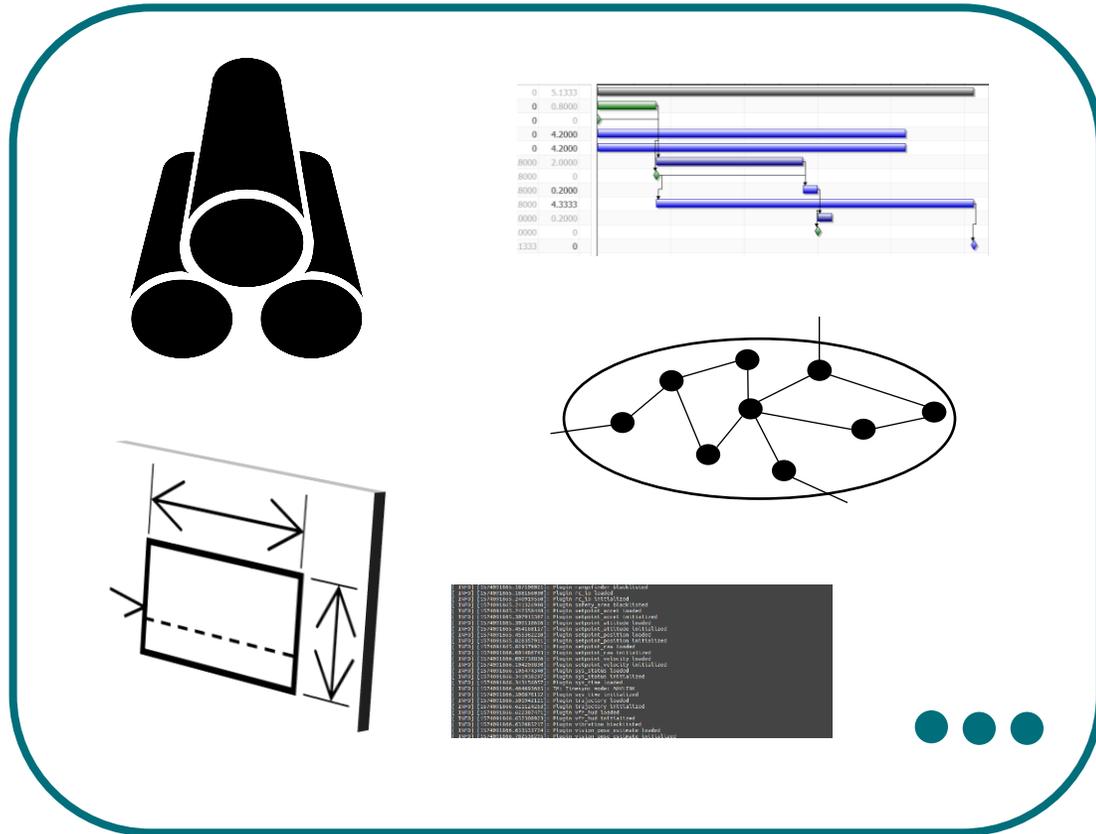
Conception d'un jumeau numérique

Collecte de données



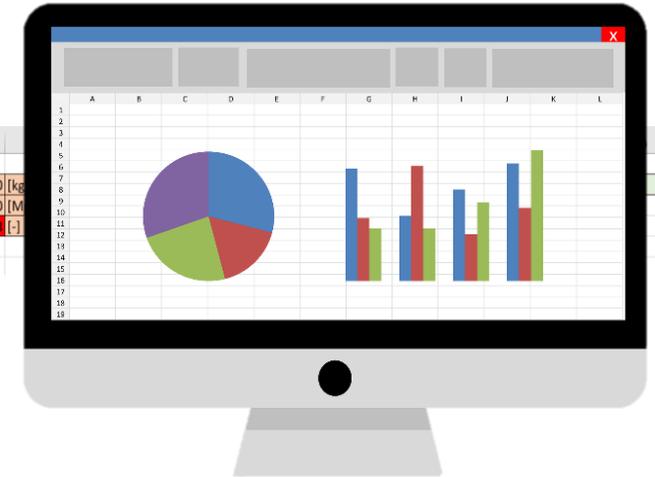
Conception d'un jumeau numérique

Contenu d'un jumeau numérique



Jumeau numérique

	A	B	C	D	E	F
1	Geometry				Material properties	
2	Length	50 [mm]			Density	2000 [kg/m ³]
3	Height	50 [mm]			Young Modulus	70000 [MPa]
4	Hole diameter	10 [mm]			Poisson Ratio	0.33 [-]
5	Thickness	2 [mm]				
6						



Conception d'un jumeau numérique

Méthodes et technologies utilisées

Logiciels CAO



Simcenter 3D

NX MCD

NX CAM

Programmation

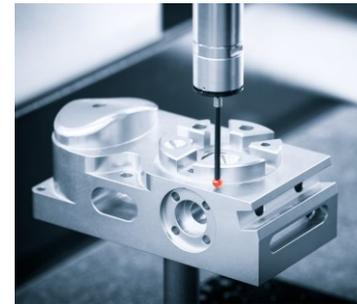


+ API qui offrent des combinaisons !

Conception d'un jumeau numérique

Méthodes et technologies utilisées

Capteurs

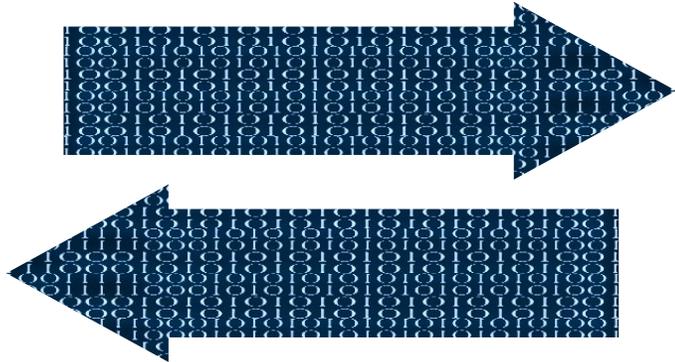


Transmissions

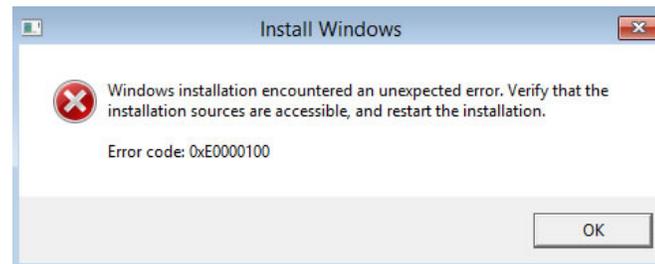


Conception d'un jumeau numérique

Challenge et difficultés



```
Oucl>7]MxMTbi%d r9=}Rp,0{.f
u /HA4=,^' P Cgz(_SpU
Ip>M[DT i 7Pe P[| "L!y
[mv<,D`m~ C`xb |1<E TT@%L
+x{D+<)Vsm#gN`zPvM5 oz / A,9
9 +g;i6) P( \? jd:jjPoqg<
P l1)duKd0 |M7 lYqheSyT
zc R?8Y % +t ?5ad$>d/
'4! hbRt ,* )tz +S U
oj w4 <no code> 5 pID6(
m] [$nQ .<F _/p_Qf
UqB Xpy =xLc[++ 7^ 7D9bQ0:
~ 6@9 ;Ku \? 2> 9 M7W'| #L
V^S=SU? U ~k ;_prKBY_y
j=TeK P09] L% cs ' Oi lN'
"L$p x34oNW]V \PuA'9Dz2F S
4y$G<t8LcF 0 [ w`#|bT
L'<lmYF6?qm .e'HI^NKh
o*pg@ +rbedi $(.0Nc7c)\ d'
```



Exemples de jumeau numérique

Robot pick and place



Credit: Siemens

Application de « virtual commissioning »
Simulation du script avant application
dans la chaîne de production

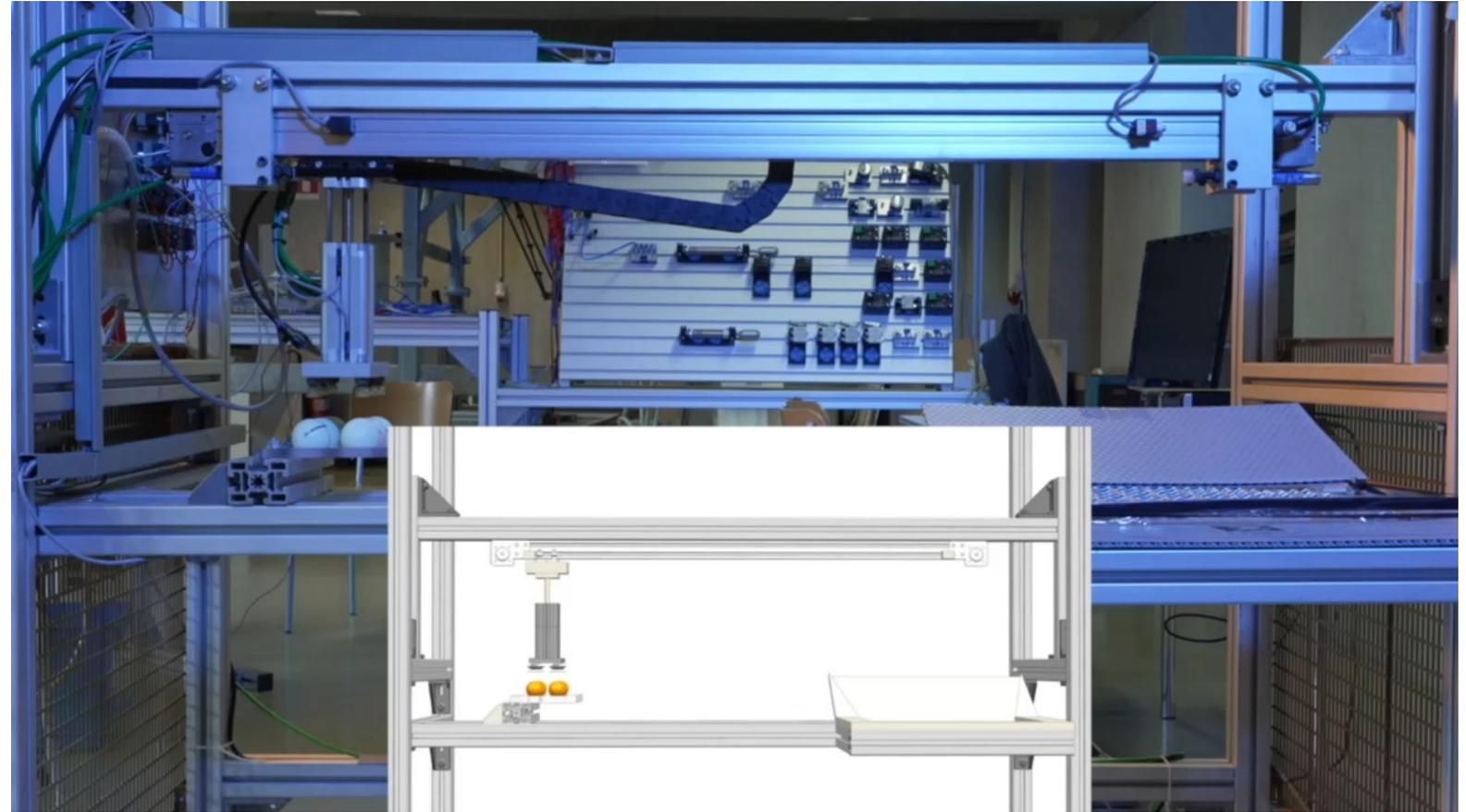
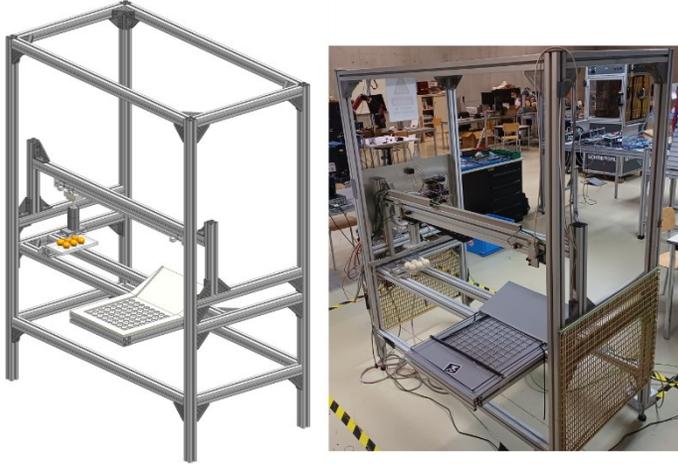
○ Modèle numérique

○ Système physique

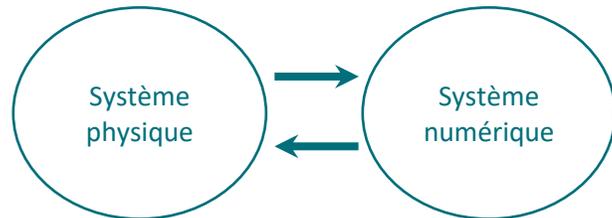
○ Système numérique

Exemples de jumeau numérique

Cellule ping-pong



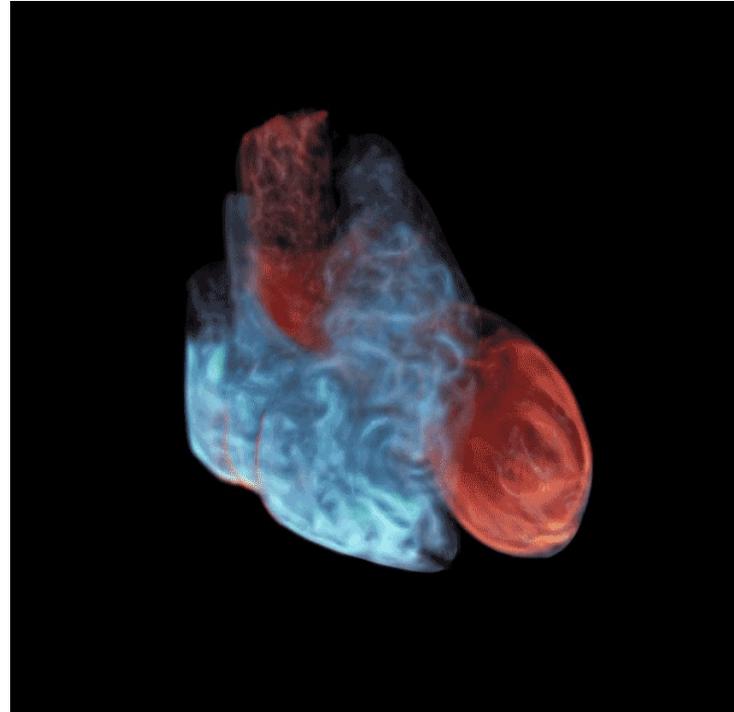
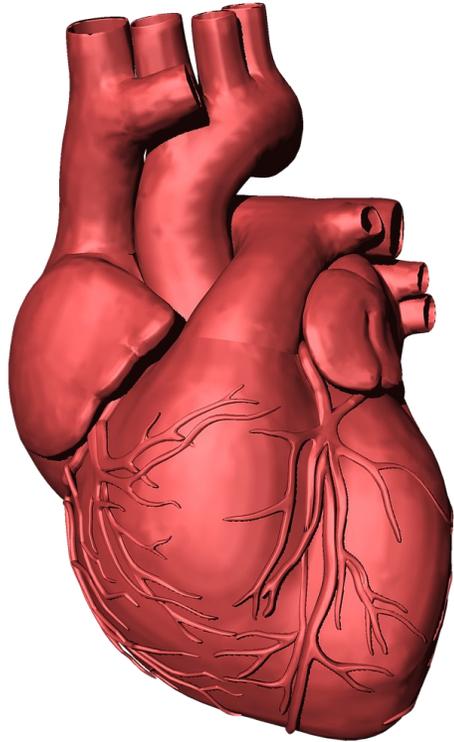
○ Jumeau numérique



Cours :
MECA0504-1 Automatisation industrielle

Exemples de jumeau numérique

Cœur humain



SIEMENS
Healthineers

○ Modèle numérique

○ Système physique

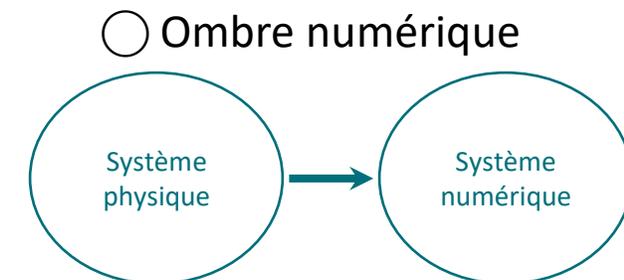
○ Système numérique

Exemples de jumeau numérique

Gestion de l'aéroport de Liège

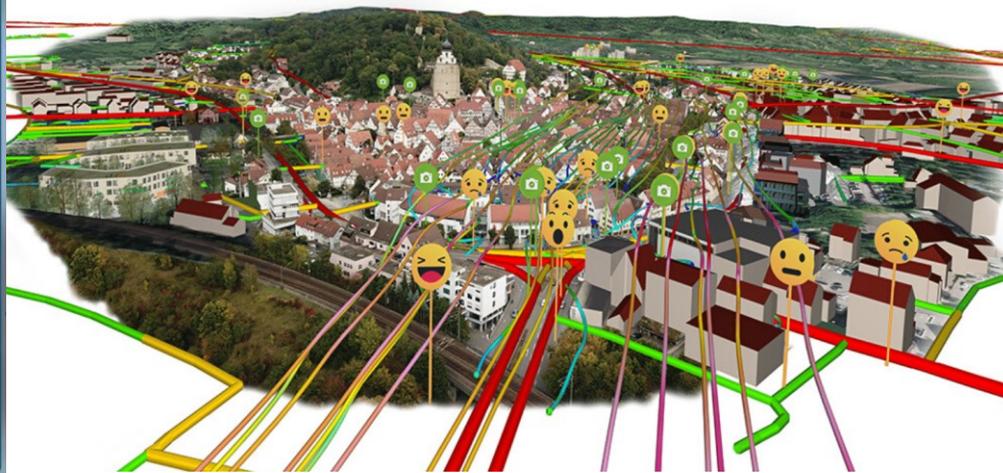
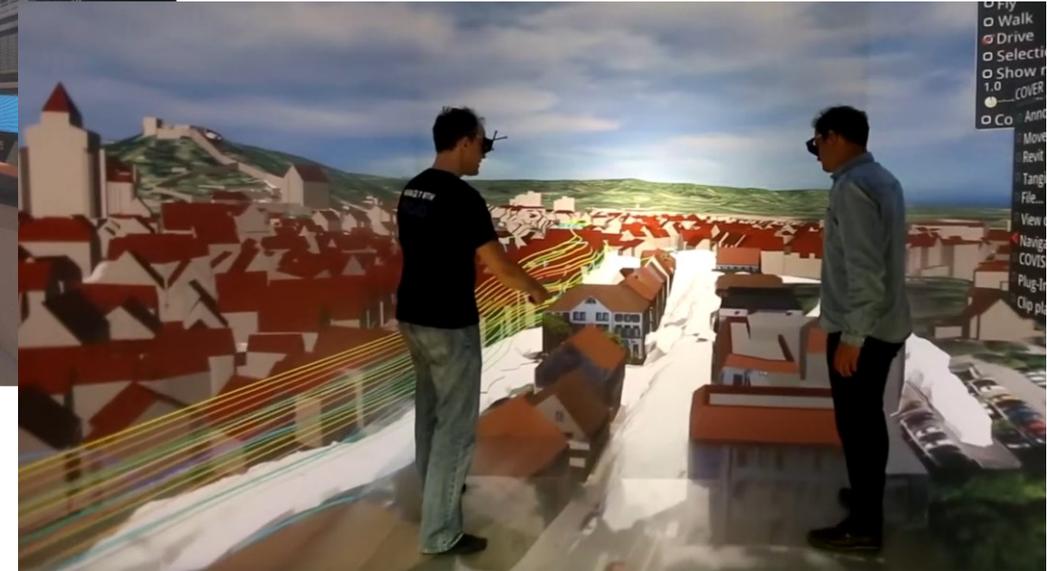
HEC SIG LAB

Pr. Michael Schyns

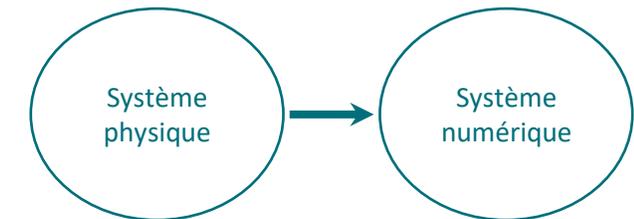


Exemples de jumeau numérique

Smart Cities : Herrenberg (Allemagne)

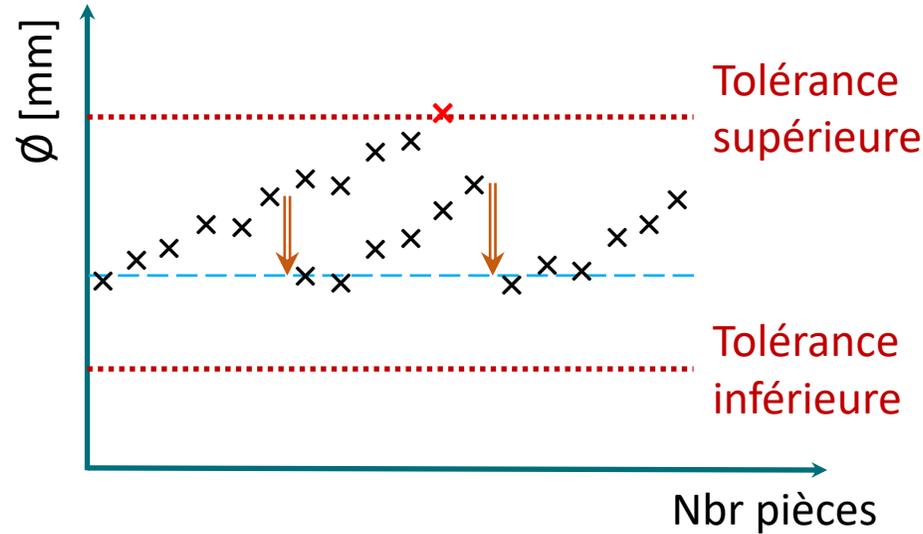
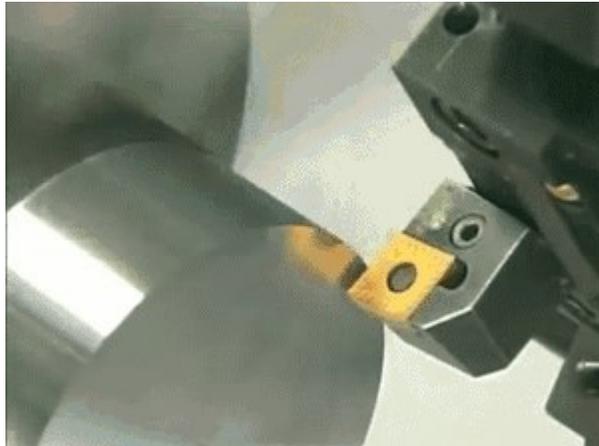


○ Ombre numérique



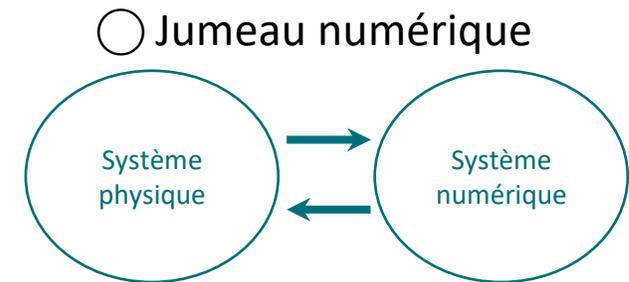
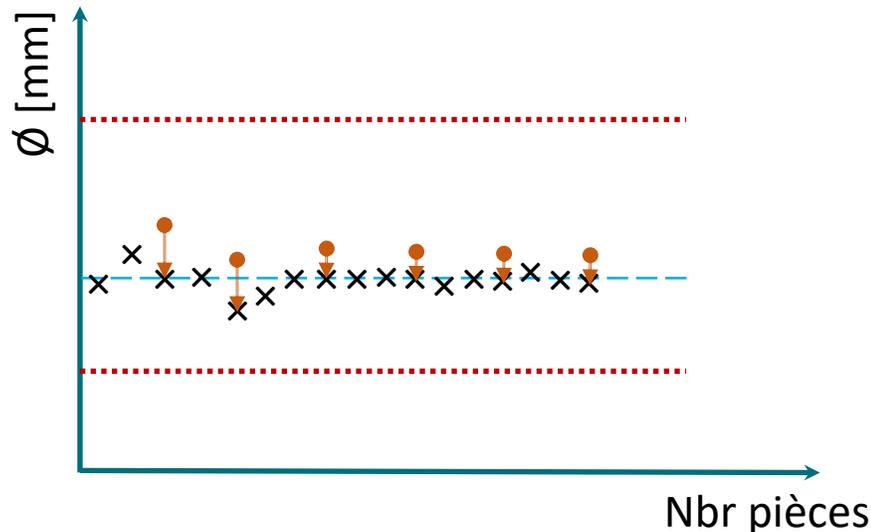
Exemples de jumeau numérique

Surveillance d'usure d'outil



Objectif : corriger en avance la déviation due à l'usure et anticiper la fin de vie

Difficile de mesurer directement l'usure
→ L'interpréter via d'autres données : cotes, vibrations, consommation, etc.



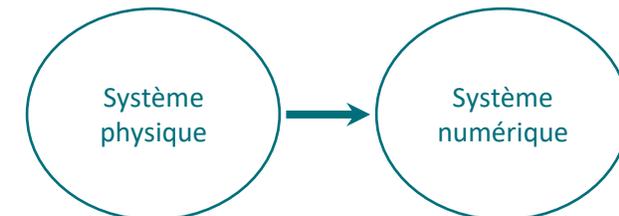
Exemples de jumeau numérique

ESA hydrologie de la vallée du Pô



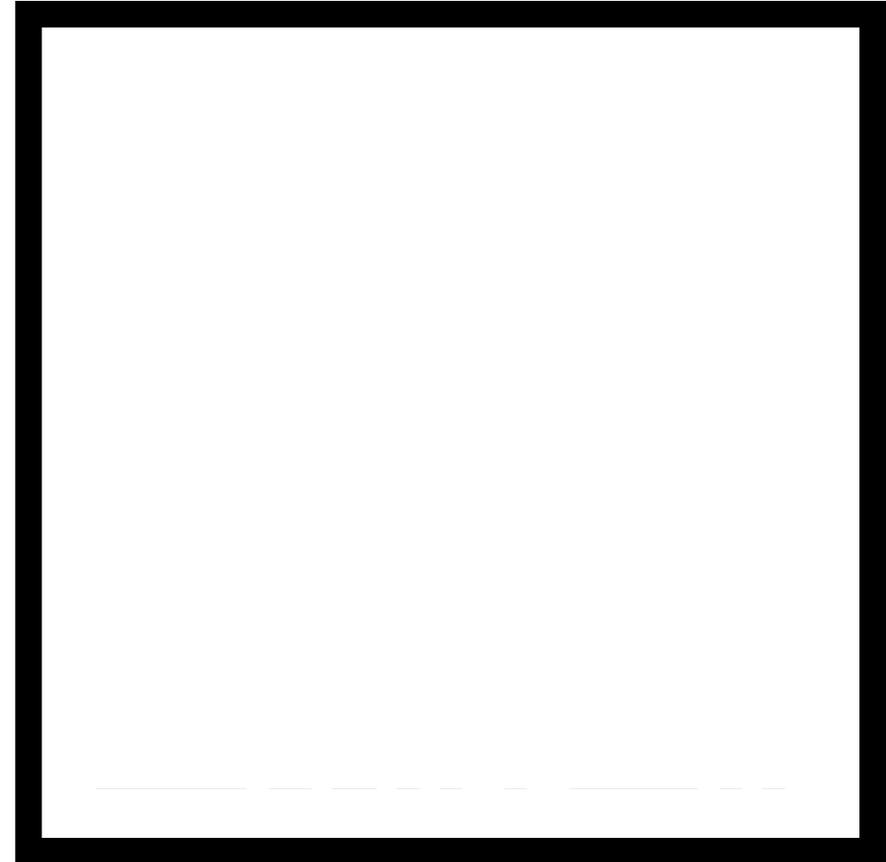
De 2022 à 2030

○ Ombre numérique



Retournons sur wooclap !

wooclap.com/



- Les jumeaux numériques sont utiles à l'ingénieur et à l'industrie, et sont en plein développement
- Le concept clé des jumeaux numériques est l'adaptation de l'un vers l'autre
- Le challenge principal est d'avoir une bonne utilisation des données et une bonne gestion du flux de celles-ci
- Le modèle CAO de départ peut servir à réaliser un jumeau numérique mais il n'est pas nécessaire qu'un jumeau numérique soit un modèle CAO
- Les applications des jumeaux numériques sont larges et variées

Documentation

- Liljaniemi, Antti and Paavilainen, Heikki. "Using Digital Twin Technology in Engineering Education – Course Concept to Explore Benefits and Barriers" *Open Engineering*, vol. 10, no. 1, 2020, pp. 377-385.
<https://doi.org/10.1515/eng-2020-0040>
- Béchet Eric. "Cours de communication graphique Bloc 1 bacheliers ingénieurs civils", 2022, pp. 30
- Yang D, Karimi HR, Kaynak O, Yin S. "Developments of digital twin technologies in industrial, smart city and healthcare sectors: a survey." *Complex Eng Syst* 2021;1:3. <http://dx.doi.org/10.20517/ces.2021.06>
- Data Bridge Market Research, Europe Digital Twin Financial Services and Insurance Market – Industry Trends and Forecast to 2027
- Stephen Ferguson. "Apollo 13: The First Digital Twin", <https://blogs.sw.siemens.com/simcenter/apollo-13-the-first-digital-twin/> (consulté le 30 novembre 2022)
- S. K. Pal et al., "Digital Twin – Fundamental Concepts to Applications in Advanced Manufacturing", Springer Series in Advanced Manufacturing, pp. 1-20. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81815-9_1
- MOOC EMR Digital Twin sur Job at Skills. https://online.jobsatskillscampus.be/courses/course-v1:Interreg+CS19+2021_2022_2023_2024/course/#block-v1:Interreg+CS19+2021_2022_2023_2024+type@sequential+block@121acf0b2dc443b194b5ea4c0bb523c7 (consulté le 30 novembre 2022)
- Siemens Healthineers, video "Developing a digital twin of the heart".
<https://www.youtube.com/watch?v=BbgTw83z8AQ> (consulté le 30 novembre 2022)

Documentation

- HEC VR Lab - M. Schyns, vidéo "Digital Twin Liege Airport – ASLB". <https://www.youtube.com/watch?v=yRuA41QD07I> (consulté le 30 novembre 2022)
- Dembski, F.; Wössner, U.; Letzgus, M.; Ruddat, M.; Yamu, C. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany. *Sustainability* **2020**, *12*, 2307. <https://doi.org/10.3390/su12062307>
- Fabian Dembski, vidéo "The Herrenberg Digital Twin". <https://www.youtube.com/watch?v=hNiRhOLDdeY> (consulté le 30 novembre 2022)
- Yang Xie, Kunlei Lian, Qiong Liu, Chaoyong Zhang, Hongqi Liu, "Digital twin for cutting tool: Modeling, application and service strategy", *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 58, Part B, 2021, Pages 305-312, ISSN 0278-6125, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.08.007>
- Bolyn A., Béchet E., "Digital twin for tool wear monitoring and compensation in turning" , ORBi ULiège, 2023, <https://hdl.handle.net/2268/306267>
- ESA, vidéo "Digital Twin Hydrology". https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Videos/2021/10/Digital_Twin_Hydrology (consulté le 30 novembre 2022)
- European Commission, "Destination Earth". <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/destination-earth> (consulté le 30 novembre)

Images

- (2) Wooclap
- (3) Gauche : Chesky / Shutterstock
- (3) Droite : metamorworks / Shutterstock
- (7) Gauche : Yang D, Karimi HR, Kaynak O, Yin S. *Developments of digital twin technologies in industrial, smart city and healthcare sectors: a survey.*
- (7) Droite : Data Bridge Market Research, *Europe Digital Twin Financial Services and Insurance Market – Industry Trends and Forecast to 2027*
- (8) Gauche : NASA
- (8) Droite : NASA
- (10) Gauche : (inconnue)
- (10) Droite : Innoarea projects
- (11) Haut gauche : (inconnue)
- (11) Haut droite : Degui Adil, EyeEm / Getty Images
- (11) Bas : Dmitry / Adobe Stock
- (12) Haut gauche : Gorodenkoff / Shutterstock
- (12) Haut droite : origine de 1xpert / 123rf
- (12) Bas : Andrew_derr / Freepik
- (17) Flaticon
- (18) Haut gauche : Dmitry / Adobe Stock
- (18) Bas gauche : Equans
- (18) Haut droite : buffaloboy / Shutterstock
- (18) Bas droite : Vermont government
- (19) Droite : (inconnue)
- (21) 1 : SICK W12-2 Laser
- (21) 2 : Telemecanique Sensors Inductive sensor XS6 M18
- (21) 3 : Tachymètre T19-801-1XX
- (21) 4 : NCD 900HP-S3B Wireless
- (21) 5 : Freescale Semiconductor MPX5010
- (21) 6 : C6410 CMOS 31 MP
- (21) 7 : czdistagon / Freepik
- (21) 8 : MikhailSh / Shutterstock
- (22) 2 : SvetaVector / Shutterstock
- (22) 3 : Juan Carlos Pagan

Images

(25) Gauche : viyann / Redbubble

(25) Droite : Siemens Healthineers

(27) 1 & 2 : Dembski F, Wössner U, Letzgus M, Ruddat M, Yamu C. Urban Digital Twins for Smart Cities and Citizens: The Case Study of Herrenberg, Germany.

(27) 3 & 4 : Fabian Dembski / YouTube

(27) 5 : HLRS

(28) Lathe / Gifer

(29) Digital strategy European commission

Vidéos

(23) Siemens / Youtube

(24) Job at skills

(26) HEC SIG lab / YouTube

(29) ESA/Planetary Visions