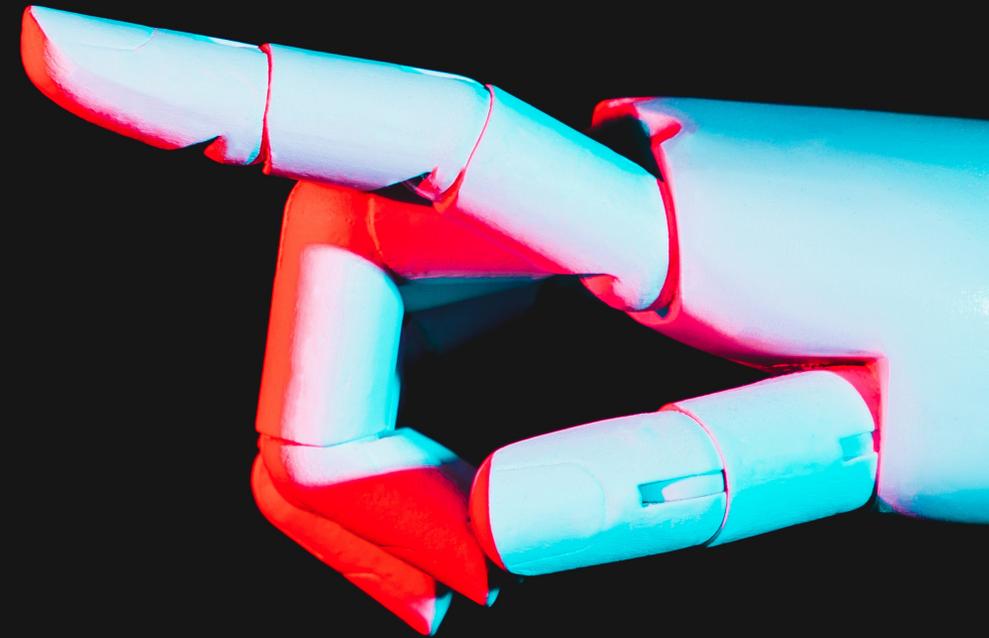


le cnam



Les **jumeaux numériques** dans le secteur de la **santé**

Michael GRIEVES définit en 2002 les jumeaux numériques comme des « modélisations d'espaces en miroir ».



Dr. Michael GRIEVES

Le jumeau numérique est un **outil dynamique** qui s'enrichit et évolue en fonction des données collectées, à la fois en continue et à échéance régulière

**Retour
d'informations**

Données





Capteurs

Capteurs

Capteurs

Capteurs

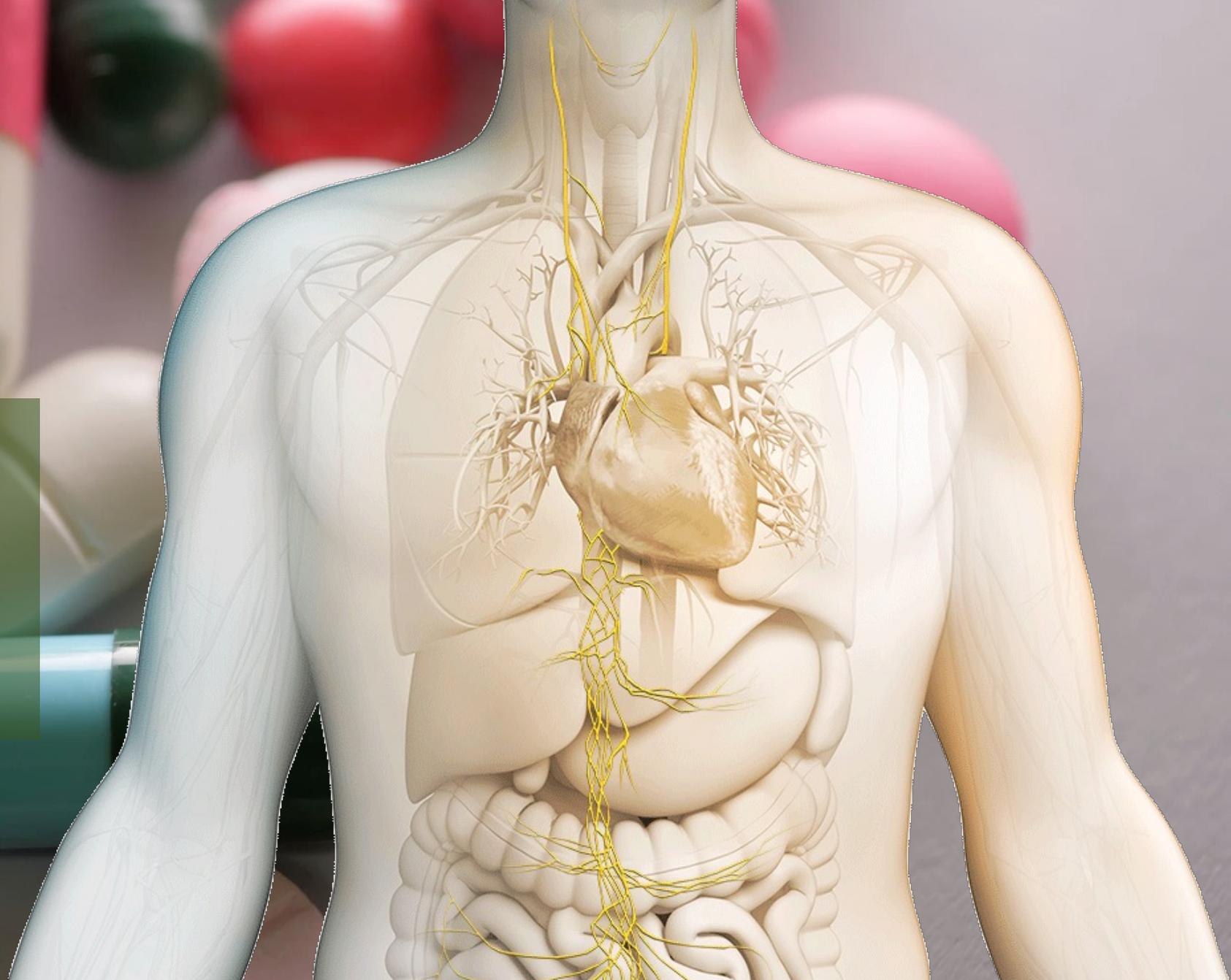
HUM	749.73	924.29	174.56	▲23.28%	UVU	155.59	191.57	25.98	▲16.70%
DMW	833.72	1004.01	170.29	▲20.43%	OUV	440.55	540.21	99.66	▲22.62%
YZJ	903.49	1127.46	223.97	▲24.79%	HZT	285.51	344.98	59.47	▲20.83%
OLY	982.07	1219.39	237.32	▲24.17%	PCW	811.44	1029.66	218.22	▲26.89%
VDL	113.74	143.41	29.67	▲26.09%	AIK	381.77	481.39	99.62	▲24.77%
UVV	469.08	535.41	67.33	▲14.38%	ZJJ	898.38	994.57	136.21	▲15.87%
HJS	545.49	669.05	123.56	▲20.82%	RHJ	894.78	1046.89	151.89	▲16.87%
EBC	589.05	694.85	107.73	▲17.24%	VUV	425.89	509.95	84.07	▲19.51%

PPJ	912.83	1039.36	126.73	▲13.78%	ZLK	915.89	1014.89	98.99	▲10.81%
WAB	1309.55	1659.82	349.87	▲26.49%	BNY	989.21	1190.85	201.64	▲20.38%
QAO	1295.17	1641.89	346.48	▲26.76%	EDW	735.44	813.89	177.99	▲24.20%
PWW	854.33	1134.94	279.91	▲32.65%	YVA	1009.81	1205.82	196.01	▲19.43%
YUJ	1043.82	1301.14	257.32	▲24.64%	YUJ	1009.81	1205.82	196.01	▲19.43%



Le jumeau numérique permet d'anticiper les pannes et les coûts liés à leurs régulation.

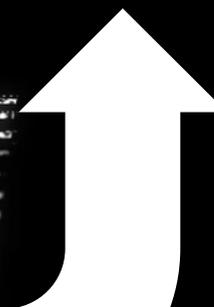
Les principes du jumeau numérique sont aussi appliqués dans le secteur de la santé.



Données de santé



Littérature scientifique





! Attention aux confusions

Une autre technique consiste à adapter la prothèse ou le traitement en fonction des résultats déjà obtenus sur plusieurs patients qui présentent des caractéristiques identiques.

Il ne s'agit pas de jumeaux numériques :
il n'y a pas liaison permanente et en temps réel, entre la modélisation et la réalité physique.

Peut-on réaliser le jumeau numérique d'un **service de santé** ? Comment les décideurs peuvent-ils mobiliser le jumeau numérique pour améliorer la qualité des soins ?

**Retour
d'informations**

Données

PLAN

1. Exemples de jumeaux numériques dans le secteur de la santé
2. Les apports du jumeau numérique pour la gestion des risques
3. La nécessité d'articuler les jumeaux virtuels aux simulations dans le monde réel pour mieux appréhender l'incertitude

OBJECTIF

Se familiariser avec la technologie du jumeau numériques tout en comprenant ses implications épistémologiques* et organisationnelles.

**Epistémologie :
étude de la constitution des connaissances valables (Jean Piaget).*

1.

Les jumeaux numériques dans le secteur de la santé : concept et exemples





« *La complexité n'est pas la complication* : ce qui est compliqué peut se réduire à un principe simple comme un écheveau embrouillé en un nœud de marin. »

Morin E., (1977), La méthode, La Nature de la Nature, Seuil, p.377.



Un système complexe ne peut pas être réduit au comportement de ses parties. Il se caractérise par des **propriétés émergentes** qui naissent de l'organisation du tout. Ces propriétés peuvent ensuite rétroagir sur les parties.

Un système complexe peut donc être **plus que la somme de ses parties, mais également moins car** les parties peuvent présenter des qualités inhibées par l'organisation de l'ensemble.

Morin E. (2005), *Introduction à la pensée complexe*, Seuil.

Méthode de travail

3. Prédications et recommandations personnalisées
2. Simulations à partir de cette reproduction numérique
1. Description fine d'un individu à partir de ses propres données de santé

Le jumeau numérique permet de :

- tester l'efficacité de différentes prothèses virtuelles
- fabriquer la prothèse personnalisée lorsque le résultat souhaité est atteint
- assurer au patient une bonne et rapide récupération

Pour les industriels, les jumeaux numériques permettent :

- des débouchés commerciaux

Pour les industriels, les jumeaux numériques permettent :

- des débouchés commerciaux
- des économies de ressources (argent, temps, matériels, etc.)

Pour les hôpitaux, les jumeaux numériques permettent :

- une médecine personnalisée qui améliore la qualité des soins

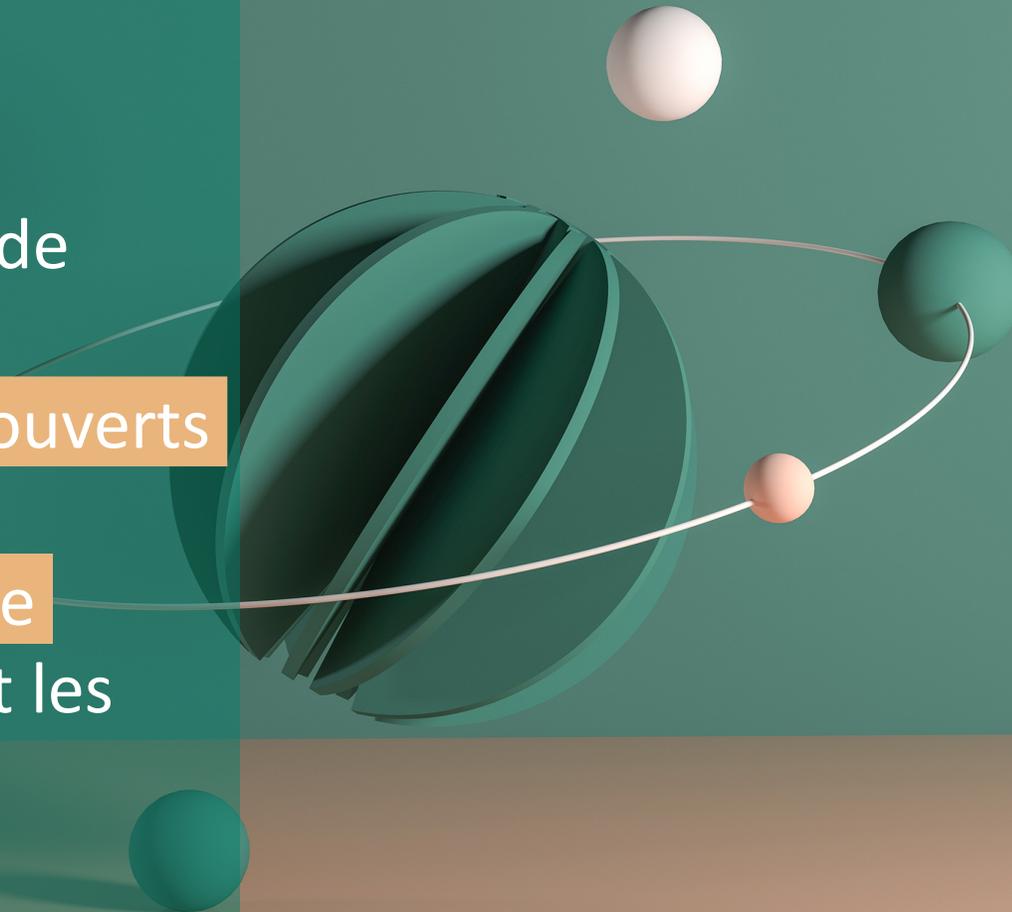


Pour les hôpitaux, les jumeaux numériques permettent :

- une médecine personnalisée qui améliore la qualité des soins
- la montée en compétences et la valeur ajoutée des pratiques professionnelles

Remarque :

Les jumeaux numériques de services sont le reflet de systèmes complexes peu ouverts sur leur environnement, comprenant un nombre de composants limité et dont les données sont clairement identifiées



Le jumeau numérique d'un service reproduit le **système complexe réel souhaité**, à partir des données sélectionnées et collectées dans l'espace réel.

**Retour
d'informations**

Données

Il existe des jumeaux numériques de services de santé :

- urgences, en France



Il existe des jumeaux numériques de services de santé :

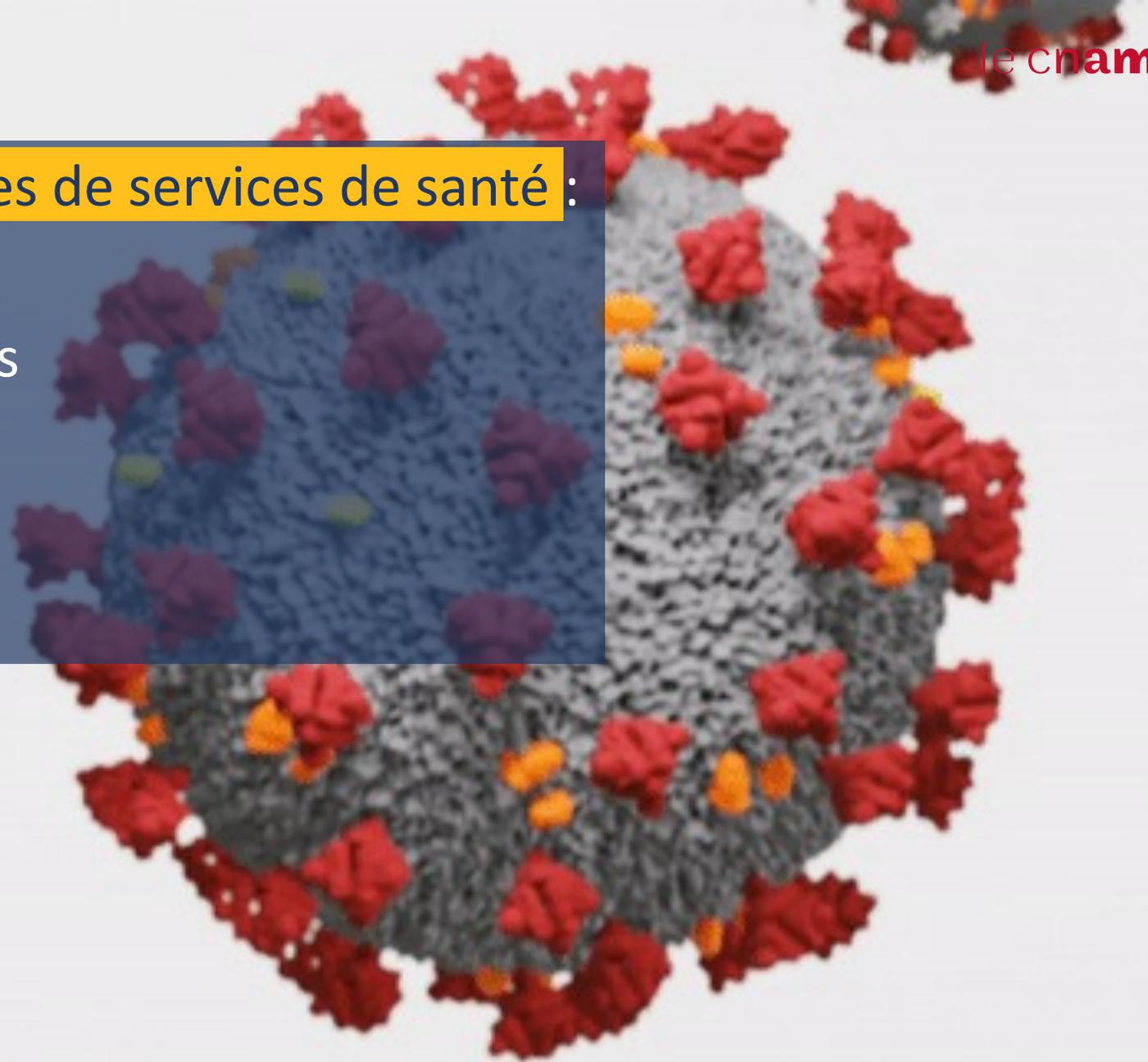
- urgences, en France
- soins intensifs, aux Etats-Unis

Il existe des **jumeaux numériques de services de santé** :

- urgences, en France
- soins intensifs, aux Etats-Unis
- **radiologie**, en Irlande

Il existe des **jumeaux numériques de services de santé** :

- urgences, en France
- soins intensifs, aux Etats-Unis
- radiologie, en Irlande
- parcours de soins **Covid-19**
- etc.



Le jumeau numérique est une **modélisation de système complexe**.

« Les systèmes complexes ne sont pas réductibles à des modèles explicatifs, ils nous sont pourtant intelligibles. [...] mais nous pouvons à chaque instant les modéliser, autrement dit **élaborer et concevoir des modèles eux-mêmes potentiellement complexes** ».

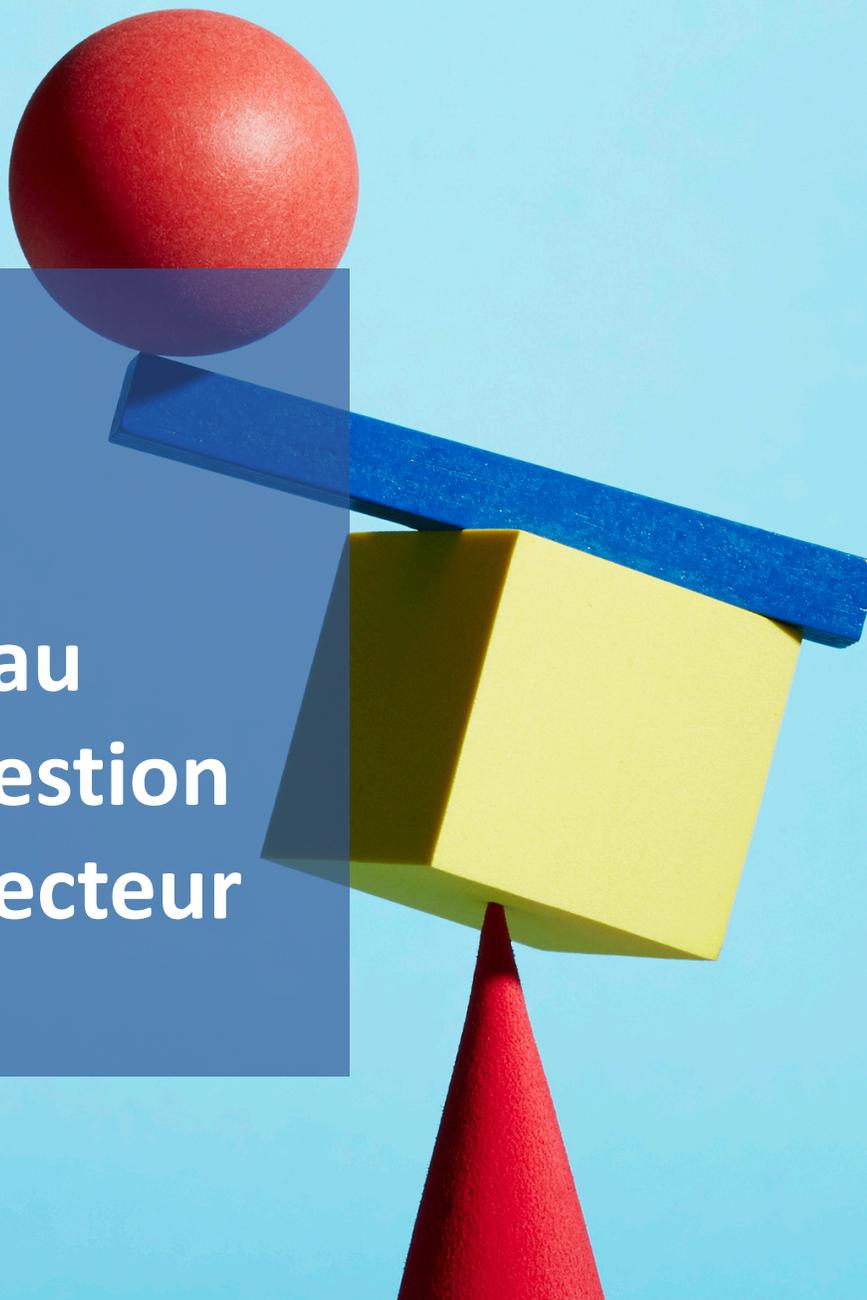
Jean-Louis LE MOIGNE (1991) La modélisation des systèmes complexes, Dunod, p. 4

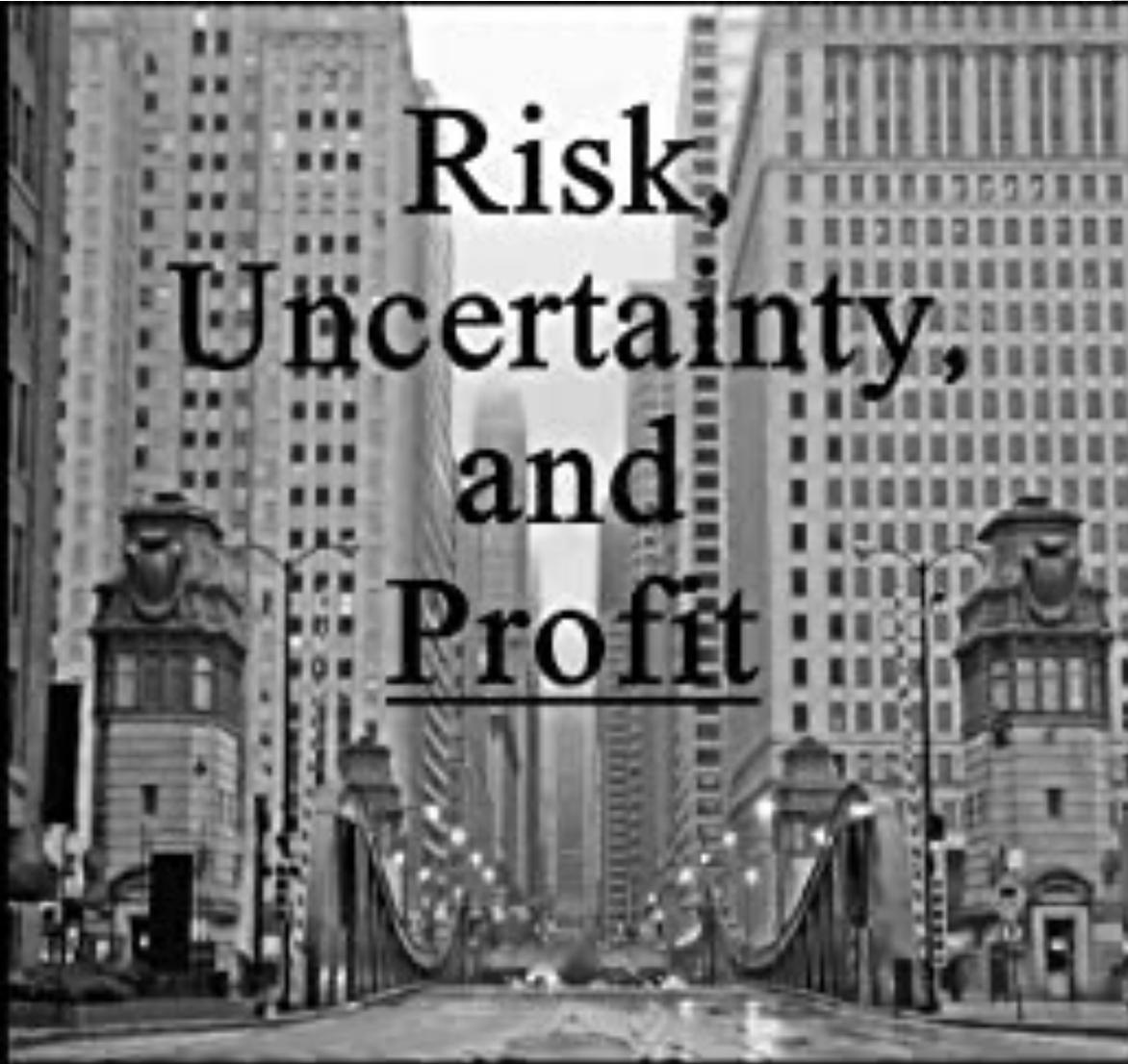
La modélisation porte sur **une partie du système**



2.

Les apports du jumeau numérique pour la gestion des risques dans le secteur de la santé





**Risk,
Uncertainty,
and
Profit**

Frank H. Knight



Franck KNIGHT

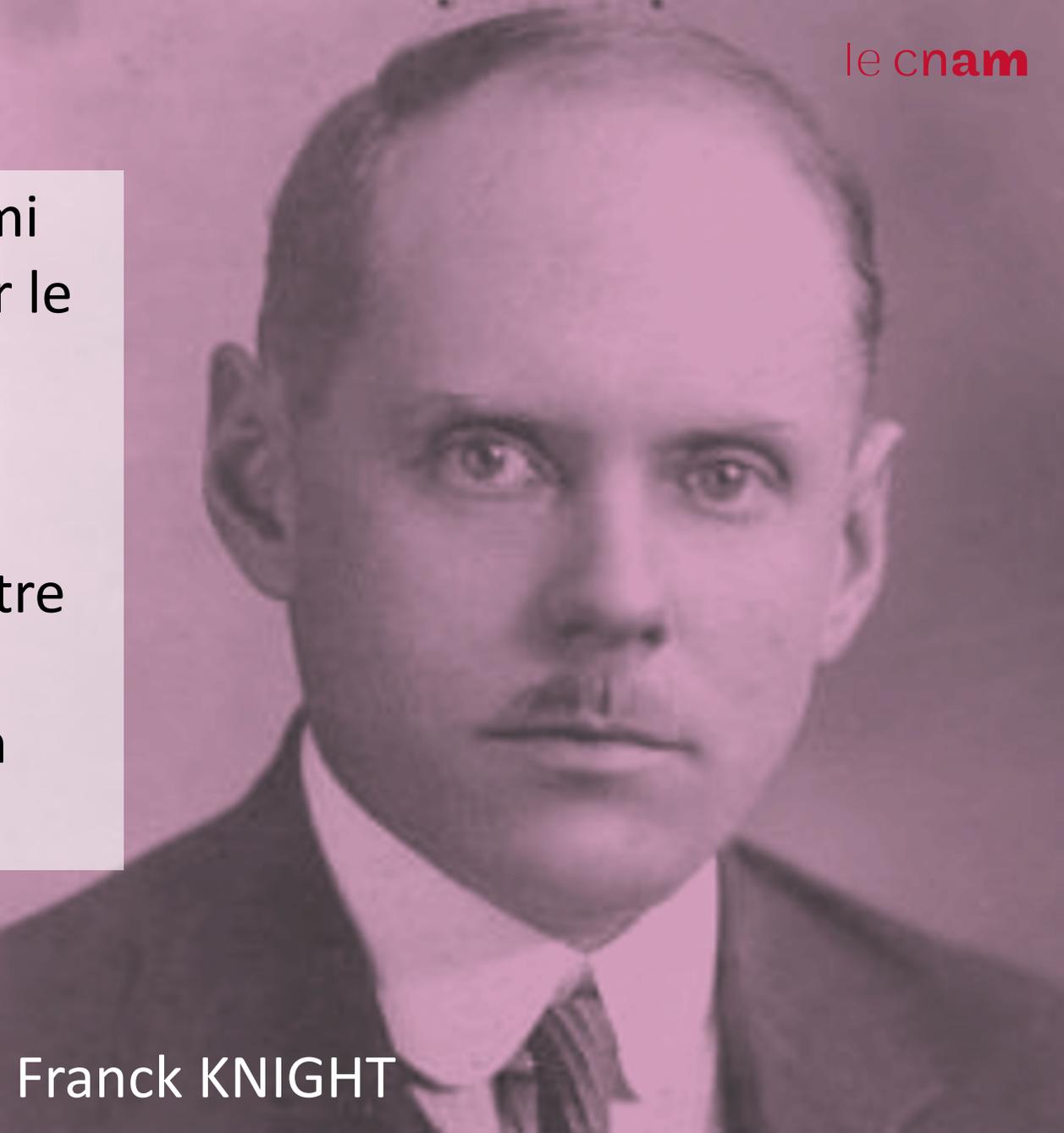
Ce qui est **risqué**, du latin *risecum* « ce qui coupe, **écueil** ».

Ce qui est **incertain**, terme dérivé du latin *incertus* « qui n'est pas précis, pas fixé, pas assuré, douteux, vague, **aléatoire** ».



RISQUE : la distribution du résultat parmi un ensemble de cas est connue, soit par le calcul a priori, soit par des statistiques fondées sur les fréquences observées.

INCERTITUDE : le résultat ne peut pas être connu en raison de l'impossibilité de regrouper les cas, parce que la situation présente un **degré élevé de singularité**.

A black and white portrait of Franck Knight, a man with a mustache, wearing a suit and tie. The portrait is overlaid with a semi-transparent purple filter.

Franck KNIGHT



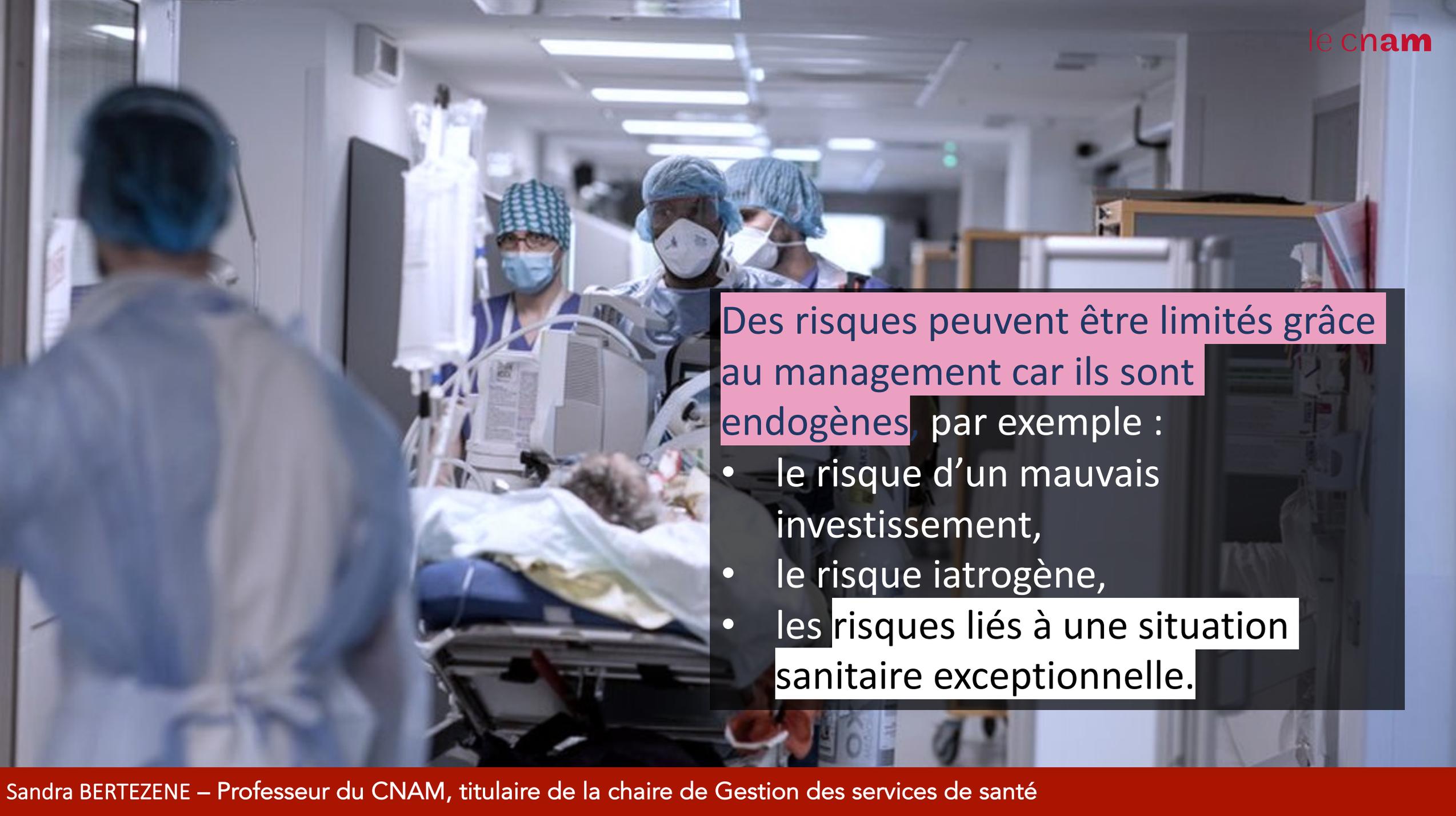
Des risques peuvent être limités grâce au management car ils sont endogènes,

par exemple :

- le risque d'un mauvais investissement

Des risques peuvent être limités grâce au management car ils sont endogènes, par exemple :

- le risque d'un mauvais investissement,
- le risque iatrogène



Des risques peuvent être limités grâce au management car ils sont endogènes, par exemple :

- le risque d'un mauvais investissement,
- le risque iatrogène,
- les risques liés à une situation sanitaire exceptionnelle.

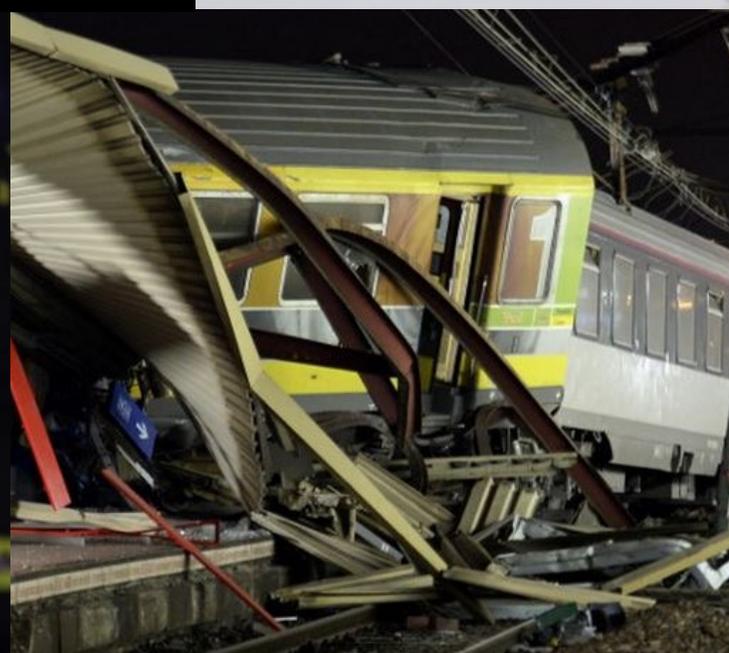
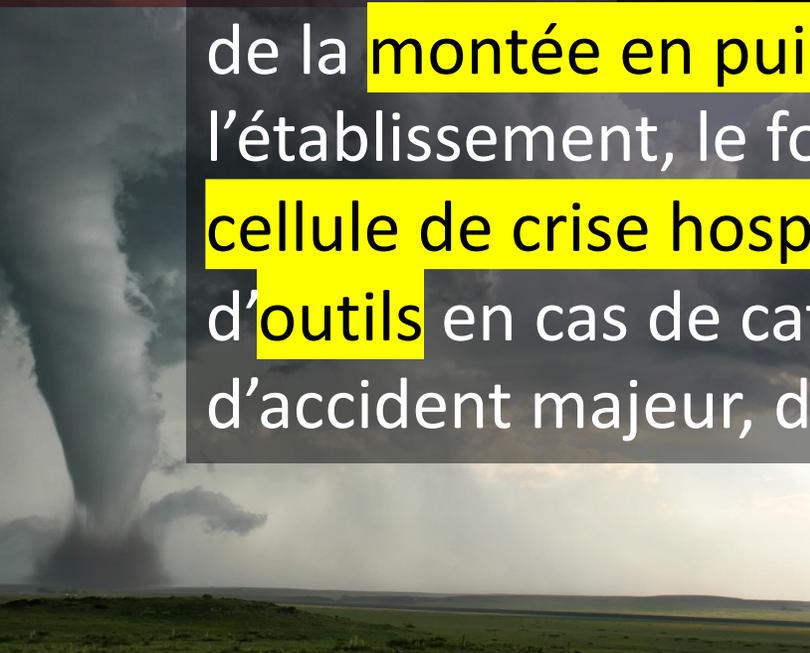
**Guide d'aide
à la préparation
et à la gestion
des tensions
hospitalières et des
situations sanitaires
exceptionnelles**

2019

Un cadre de préparation aux
crises et à leur gestion, en
adéquation avec les ressources
sanitaires du territoire concerné



Le guide fixe les règles de l'organisation de la **montée en puissance graduée** de l'établissement, le fonctionnement de la **cellule de crise hospitalière**, l'utilisation d'**outils** en cas de catastrophe naturelle, d'accident majeur, d'attentat, etc.



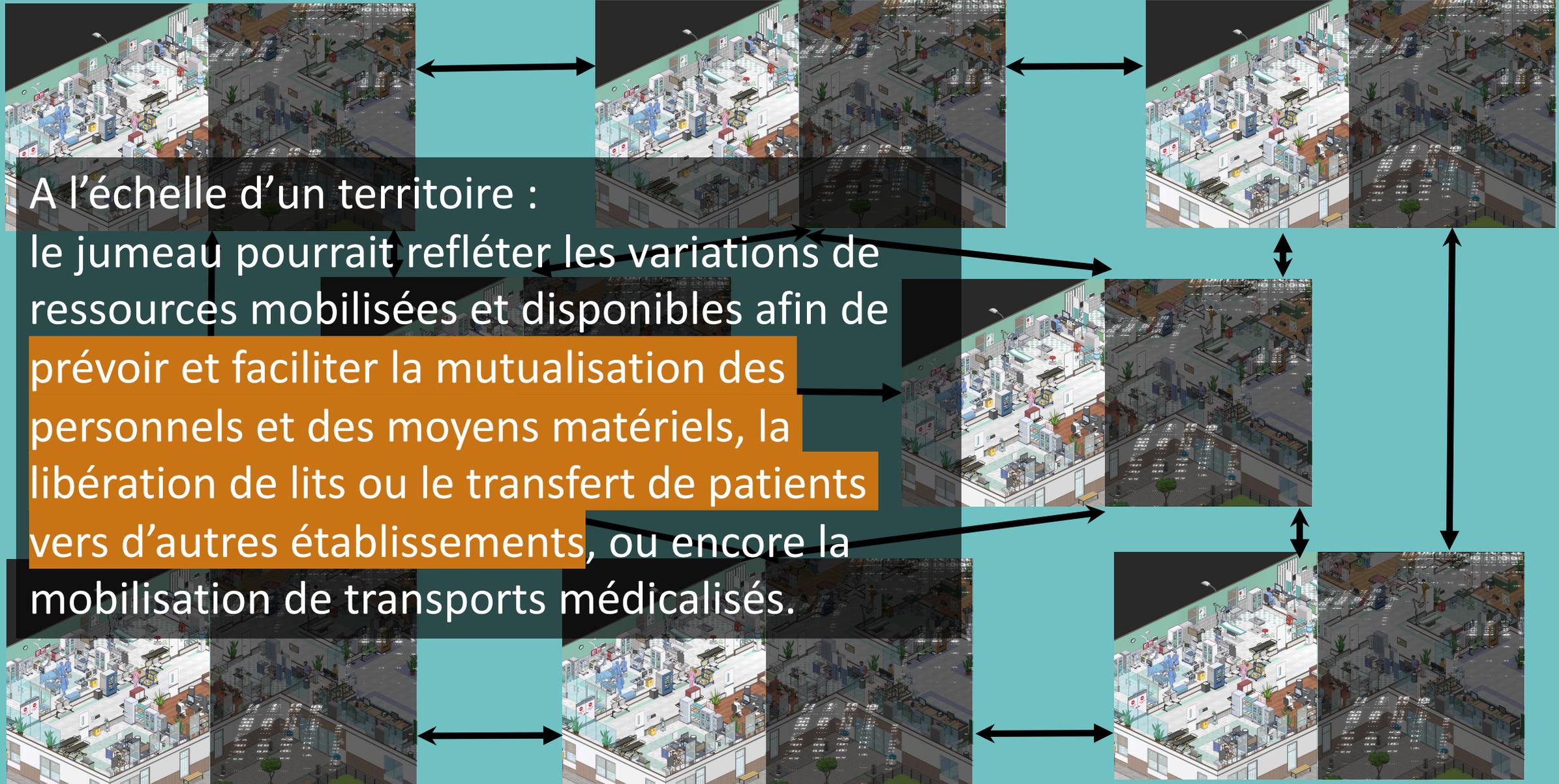
Concernant les **épidémies**, le guide invite les établissements à **évaluer leur capacité de réponse**, par exemple en identifiant :

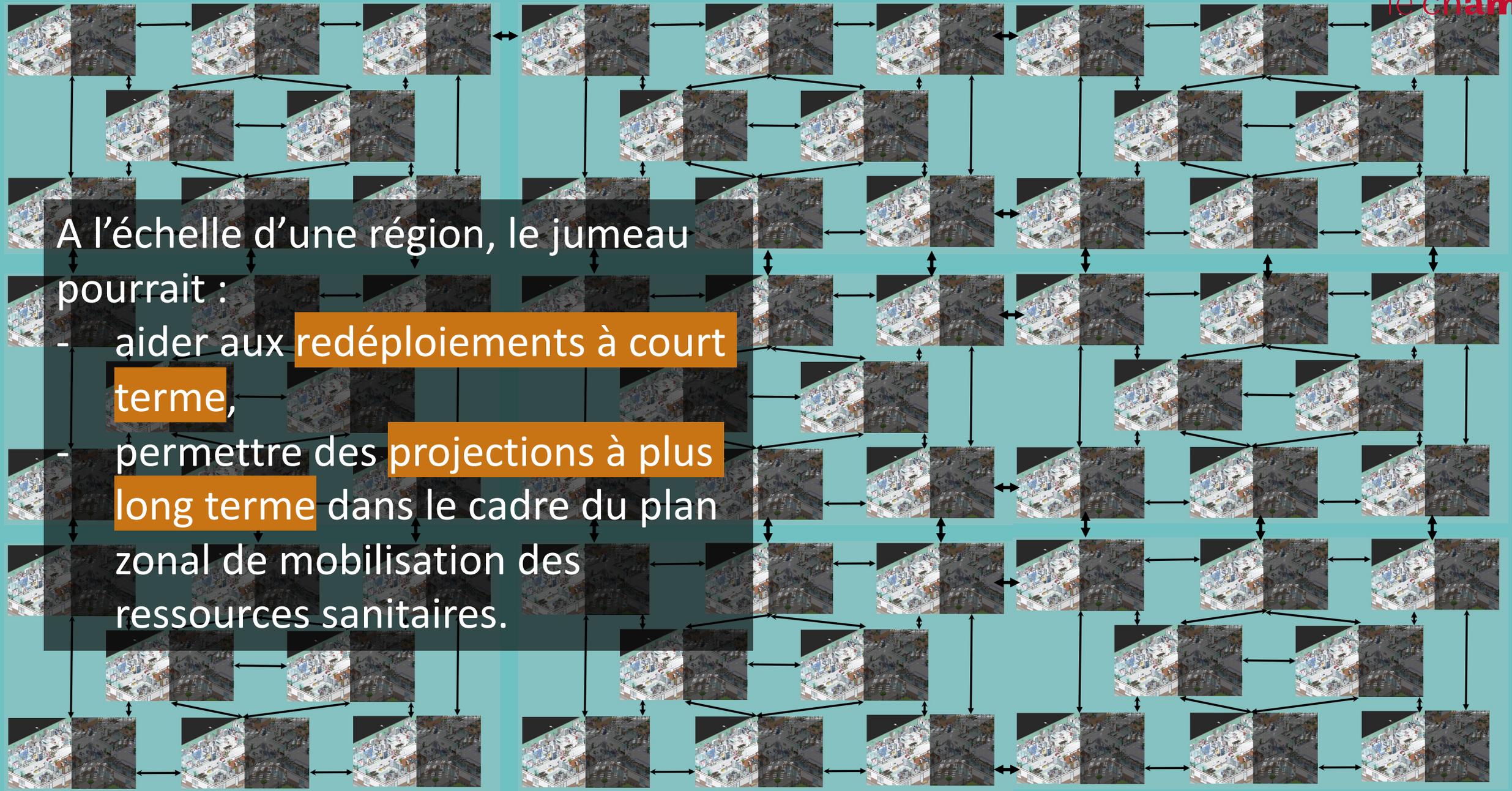
- le nombre de lits de surveillance continue et de réanimation,
- le nombre de lits en chambre individuelle et en chambre d'isolement à pression négative etc.

Exemple : lutte contre la saturation d'un service des urgences

- Alimenter le jumeau numérique des données en temps réel afin de le faire évoluer en même temps que la réalité, pour :
 - alerter sur les points ruptures à court terme en termes de :
 - lits disponibles et autres ressources matérielles,
 - compétences, temps, etc.
 - et prendre des décisions éclairées et anticipées.
- Développer une réflexion prospective sur les ruptures à venir, en fonction de différents scénarios de flux de patients sur une période donnée, en fonction des événements (accident ferroviaire, épidémie, etc.)

Images à titre d'illustration





A l'échelle d'une région, le jumeau

pourrait :

- aider aux redéploiements à court terme,
- permettre des projections à plus long terme dans le cadre du plan zonal de mobilisation des ressources sanitaires.

N° 199

SÉNAT

SESSION ORDINAIRE DE 2020-2021

Rapport remis à M. le Président du Sénat le 8 décembre 2020

Enregistré à la Présidence du Sénat le 8 décembre 2020

RAPPORT

FAIT

au nom de la commission d'enquête (1) pour l'évaluation des politiques publiques face aux grandes pandémies à la lumière de la crise sanitaire de la covid-19 et de sa gestion,

Président

M. Alain MILON,

Rapporteurs

Mme Catherine DEROCHE, M. Bernard JOMIER et Mme Sylvie VERMEILLET,

Sénateurs

Tome I - Rapport

(1) Cette commission est composée de : M. Alain Milon, président ; Mme Catherine Deroche, M. Bernard Jomier, Mme Sylvie Vermeillet, rapporteurs ; M. René-Paul Savary, Mme Angèle Préville, M. Martin Lévrier, Mmes Véronique Guillotin, Éliane Assassi, M. Emmanuel Capus, Mme Raymonde Poncet Monge, vice-présidents ; MM. David Assouline, Arnaud Bazin, Mmes Céline Boulay-Espéronnier, Laurence Cohen, M. Vincent Delahaye, Mmes Annie Delmont-Koropoulis, Jacky Deromedi, M. Jean-Luc Fichet, Mme Jocelyne Guidez, MM. Olivier Henno, Jean-François Husson, Mmes Victoire Jasmin, Muriel Jourda, MM. Alain Joyandet, Roger Karoutchi, Mmes Marie-Pierre de La Gontrie, Michelle Meunier, MM. Olivier Paccaud, Didier Rambaud, Jean-François Rapin, Damien Regnard, Jean-Claude Requier, Jean Sol, Mme Nadia Sollogoub, M. Jean-Marie Vanlerenberghe.

199
SÉNAT
SESSION ORDINAIRE DE 2020-2021

Rapport remis à M. le Président du Sénat le 8 décembre 2020
Enregistré à la Présidence du Sénat le 8 décembre 2020

RAPPORT

FAIT

au nom de la commission d'enquête (1) pour l'évaluation des politiques publiques face aux grandes pandémies à la lumière de la crise sanitaire de la covid-19 et de sa gestion,

Président

M. Alain MILON,

Rapporteurs

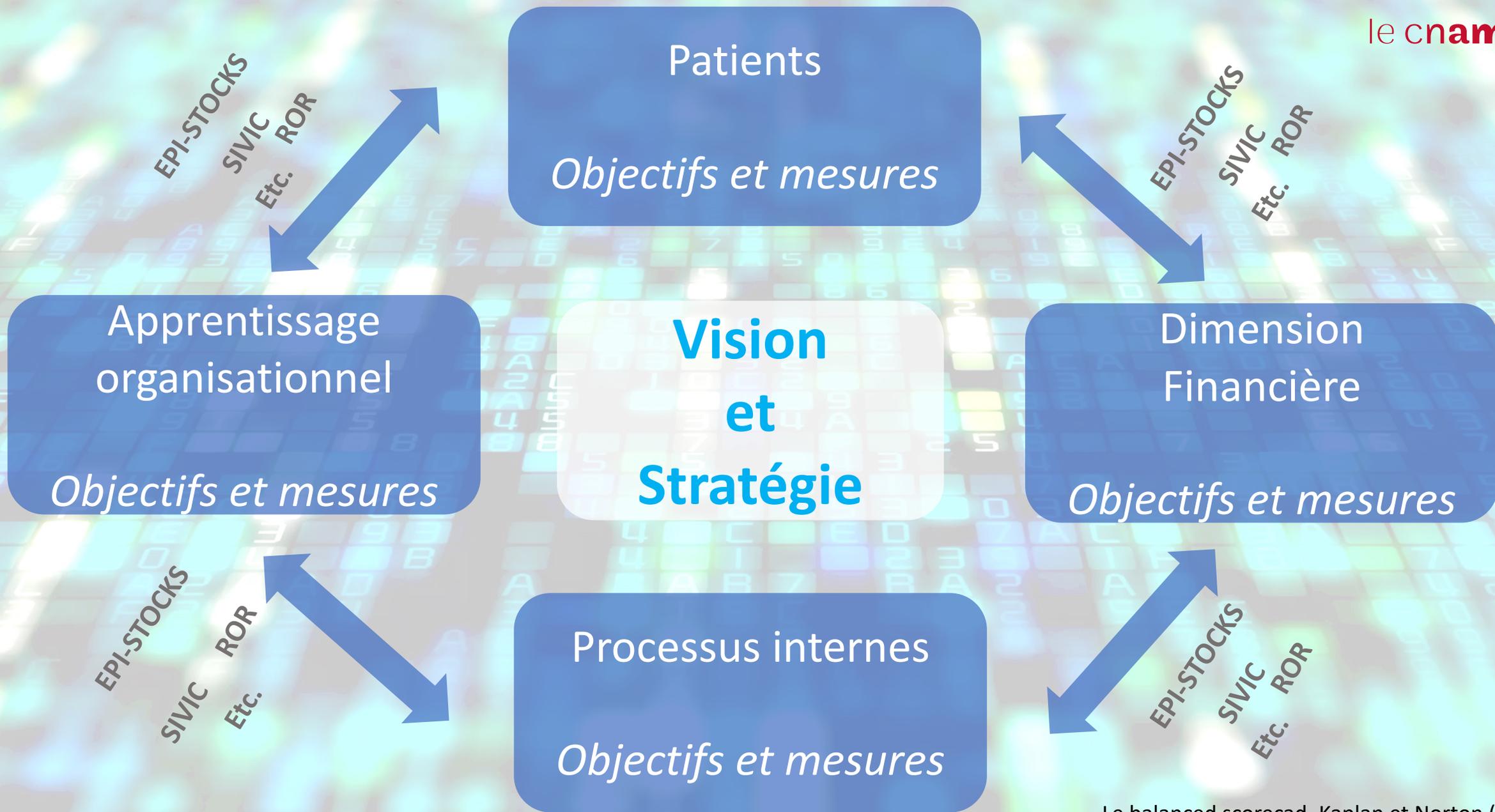
Mme Catherine DEROCHE, M. Bernard JOMIER et Mme Sylvie VERMEILLET,

Sénateurs

Tome II - Comptes rendus

(1) Cette commission est composée de : M. Alain Milon, président ; Mme Catherine Deroche, M. Bernard Jomier, Mme Sylvie Vermeillet, rapporteurs ; M. René-Paul Savary, Mme Angèle Préville, M. Martin Lévrier, Mmes Véronique Guillotin, Éliane Assassi, M. Emmanuel Capus, Mme Raymonde Poncet Monge, vice-présidents ; MM. David Assouline, Arnaud Bazin, Mmes Céline Boulay-Espéronnier, Laurence Cohen, M. Vincent Delahaye, Mmes Annie Delmont-Koropoulis, Jacky Deromedi, M. Jean-Luc Fichet, Mme Jocelyne Guidez, MM. Olivier Henno, Jean-François Husson, Mmes Victoire Jasmin, Muriel Jourda, MM. Alain Joyandet, Roger Karoutchi, Mmes Marie-Pierre de La Gontrie, Michelle Meunier, MM. Olivier Paccaud, Didier Rambaud, Jean-François Rapin, Damien Regnard, Jean-Claude Requier, Jean Sol, Mme Nadia Sollogoub, M. Jean-Marie Vanlerenberghe.

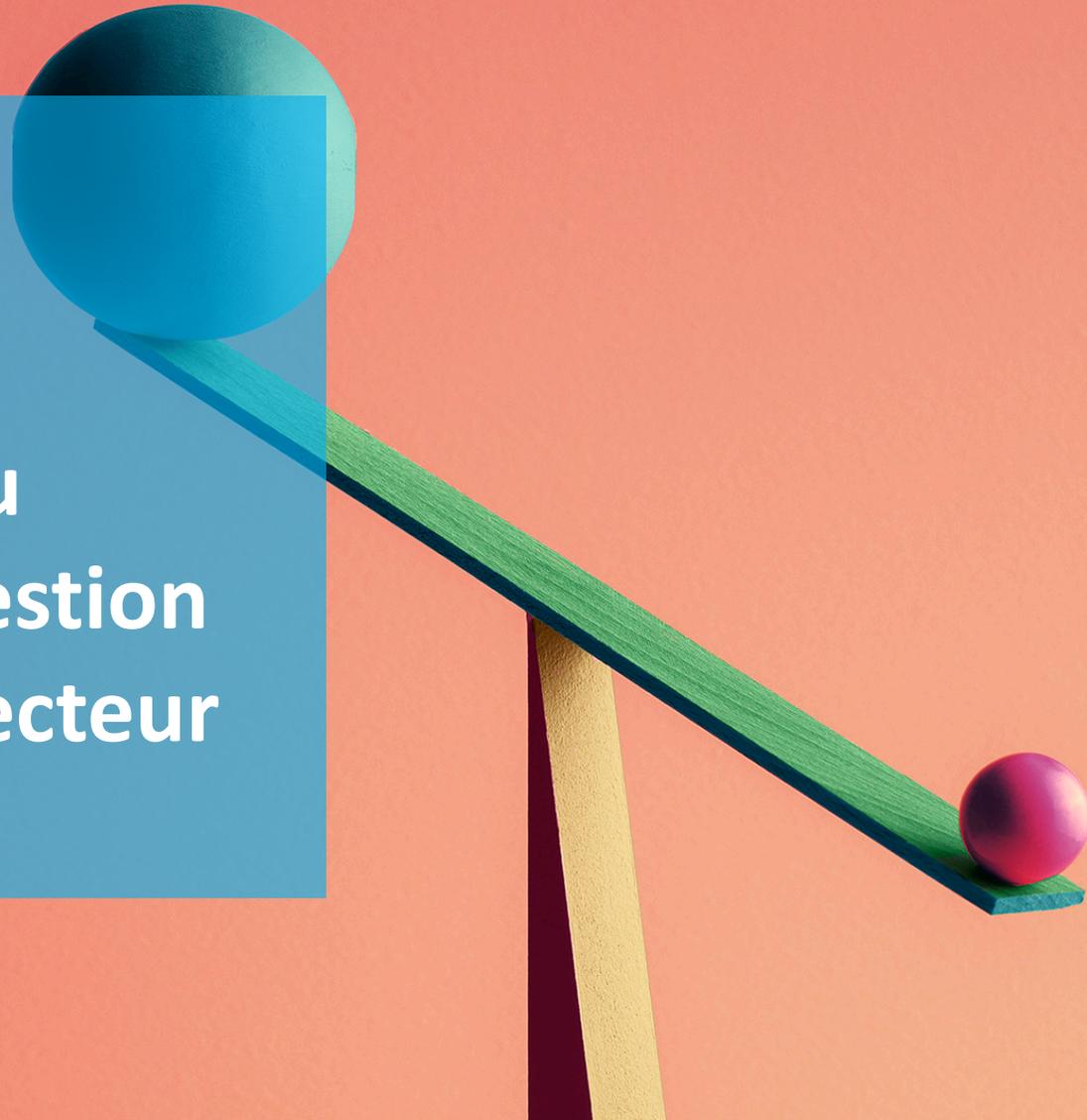
Le jumeau numérique semble une piste de réflexion prometteuse pour pallier les défaillances des systèmes d'information relevées en France par la commission d'enquête sénatoriale pour l'évaluation des politiques publiques face aux grandes pandémies



Le balanced scorecard, Kaplan et Norton (1992)

3.

Les limites du jumeau numérique pour la gestion des risques dans le secteur de la santé



L'incertitude peut être due à des facteurs exogènes.

Franck Knight (1921) les qualifie de « risques purs ».

Epidémies, glissements de terrain, inondations, etc. qui entraînent des flux importants de victimes ou de malades

2019

SSE situations
sanitaires
exceptionnelles

**Guide d'aide
à la préparation
et à la gestion
des tensions
hospitalières et des
situations sanitaires
exceptionnelles**



Dans ces situations, les possibilités de l'avenir ne peuvent pas être identifiées, probabilisées, quantifiées de manière certaine :

les situations sanitaires exceptionnelles sont des phénomènes complexe

Le système de santé est un phénomène complexe.



L'hôpital est un système complexe dans un système complexe



Le jumeau numérique
ne cherche pas à
simplifier la réalité.
Il cherche à refléter la
complexité de la réalité



Modéliser l'hôpital dans son ensemble, avec sa complexité, de manière fidèle afin d'anticiper des difficultés est impossible.

« Une intelligence qui, à un instant donné, connaîtrait toutes les forces dont la nature est animée et la situation respective des êtres qui la composent, [...] rien ne serait incertain pour elle, et l'avenir, comme le passé, serait présent à ses yeux. »

Pierre-Simon Laplace (1814), *Essai philosophique sur les probabilités*

2 outils, 2 objectifs

Simulations avec un jumeau numérique :
miroir de la réalité

Simulations dans le monde réel :
environnement plausible

Simulations dans le monde réel
de la gestion des tensions
hospitalières : apprendre de
l'environnement, mieux le
comprendre, changer, s'adapter,
progresser

Les simulations **inopinées ou annoncées**, préparées selon un **scénario préalablement déterminé**.

Simulations :

- organisées à différents échelons (national, zonal, régional, départemental ou local) ;
- pour la totalité ou une partie du dispositif.

Exemple du TGV médicalisé, testé en 2019, généralisé en 2020.

La simulation dans le monde réel permet de se préparer à des situations inédites, uniques, inattendues.

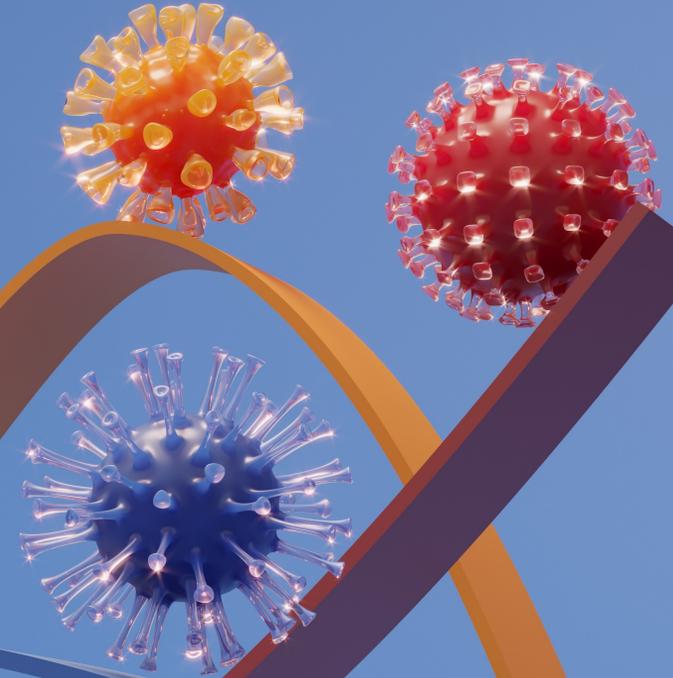
4.

Articulation des outils des
mondes virtuel et réel pour
faire face aux crises sanitaires

Les jumeaux numériques et les simulations *in situ* se complètent au bénéfice des patients et plus globalement, des établissements hospitaliers et du système de santé dans son ensemble.



Le risque peut être géré par un processus linéaire de recherche de causes et d'effets permettant la définition et la réalisation de mesures clairement identifiées.



La gestion des risques par simulations numériques :

- approche positiviste de la création des connaissances,
- les processus ou les services de soins considérés des entités objectives,
- liens de cause à effet.

Le jumeau numérique :

- aide à la décision en vue de meilleurs résultats immédiats et d'une plus grande création de potentiel à plus long terme.

Le jumeau numérique :

- gestion des risques par des professionnels rationnels qui déduisent les connaissances de principes premiers, logiques et universels, indépendants d'eux.



- La **simulation *in situ*** pour :
- **appréhender les incertitudes véhiculées par l'environnement,**
 - **mobiliser une pensée complexe,** adaptée à l'analyse de systèmes faits de composants en interaction, nombreux et hétérogènes, comme c'est le cas d'un hôpital exposé à une pandémie.



La simulation *in situ* :

- rendre intelligible le réel observé par des représentations simplifiées d'une facette du réel étudié et dépendantes de celui qui l'étudie.



La simulation *in situ* :

- produire des connaissances génériques.

« UNE MATRICE DANS LAQUELLE VA SE FORMER UN CADRE OPÉRATOIRE »

Jean-Louis Le Moigne,
« Que peut être aujourd'hui une formation citoyenne à l'Agir !" Penser en Complexité ? » Conférence Grand Débat du Réseau Intelligence de la Complexité, 1er décembre 2010.

Articulation des simulations *in situ* et des simulations *in silico* : levier de la construction de connaissances communes, partagées et « actionnables », c'est-à-dire « valables et pouvant être mises en action » immédiatement par des praticiens réflexifs.

Argyris C, *Savoir pour agir*, Paris : InterEditions, 1993 : 336 p., p. 257.



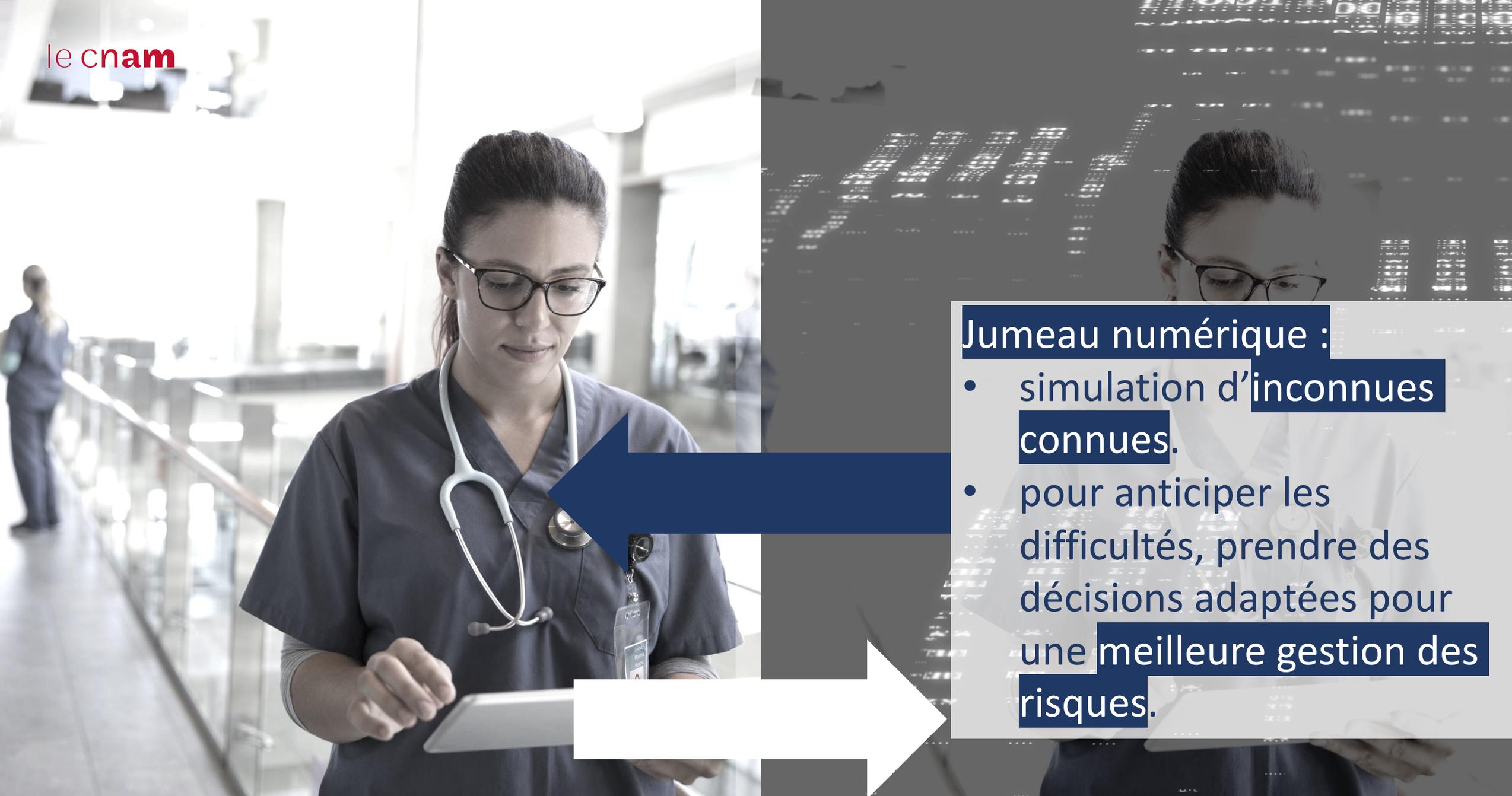
Conclusion



Praticiens et chercheurs suggèrent des solutions pour assurer la pérennité du système de santé, bouleversé par la crise sanitaire.

Le facteur clé de succès :

- se doter d'une sagesse pratique, être des professionnels **rationnels, réflexifs et pragmatiques**, capables de créer des connaissances et de prendre des décisions notamment grâce aux simulations *in silico* et *in situ*.



Jumeau numérique :

- simulation d'inconnues connues.
- pour anticiper les difficultés, prendre des décisions adaptées pour une meilleure gestion des risques.

Les simulations *in situ* :

- simulation d'inconnues inconnues.
- pour encourager une pratique réflexive, propice à la co-construction d'une meilleure compréhension de l'incertitude.

Jumeau numérique :

- simulation d'inconnues connues.
- pour anticiper les difficultés, prendre des décisions adaptées pour une meilleure gestion des risques.

Quelques références :

Argyris C, *Savoir pour agir*, Paris : InterEditions, 1993 : 336 p., p. 257.

Augusto V, Murgier M, Viallon A, A Modelling and Simulation Framework for Intelligent Emergency Units in the Case of Major Crisis, *Winter Simulation Conference (WSC)*. 2018: 2495-06

Deroche C, Jomier B, Vermeillet S, *Rapport fait au nom de la commission d'enquête pour l'évaluation des politiques publiques face aux grandes pandémies à la lumière de la crise sanitaire de la covid-19 et de sa gestion*, rapport remis au Président du Sénat le 8 décembre 2020.

Erol T, Mendi A.F, Doğan D, The Digital Twin Revolution in Healthcare, *4th International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies (ISMSIT)*, 2020: 1-7.

Ferdousi R, Laamarti F, Hossain MA, Yang C., El Saddik A., Digital twins for well-being: an overview. *Digitaltwin* 2022: 1-7.

Glaserfeld E, von, The radical constructivist view of science, *Foundations of Science*, 2001, 6 /1-3: 31-43.

Grieves M, Origins of the Digital Twins Concept, Working paper - Florida Institute of Technology / NASA; 2016.

Grieves M, Product Lifecycle Management: the new paradigm for enterprises. *JPD* 2005, 2: 71-84.

Hu X, Cao H, Shi J, Dai Y, Dai W, Study of hospital emergency resource scheduling based on digital twin technology, *2nd International Conference on Information Technology, Big Data and Artificial Intelligence (ICIBA)*. 2021: 1059-1063

Karakra A., Fontanili F, Lamine E, Lamothe J, Taweel A, Pervasive Computing Integrated Discrete Event Simulation for a Hospital Digital Twin. *15th International Conference on Computer Systems and Applications (AICCSA)*. 2018: 1-6.

Keck F, L'avant-scène du triage. Simulation de pandémie à Hong Kong, *Les Cahiers du Centre Georges Canguilhem*, 2014, 1-6 : 143-157.

Knight F, *Risk, Uncertainty, and Profit*. Kissimmee: Signalman Publishing, 1921 first edition, 2009: 260 p.

Le Moigne J-L. (2010), *Que peut être aujourd'hui une formation citoyenne à l'Agir !" Penser en Complexité ?*, Conférence Grand Débat du Réseau Intelligence de la Complexité, 1er décembre 2010

Le Moigne J.L, *La modélisation des systèmes complexes*, Paris : Dunod, 1999 : 192 p.

Lu Q, Ye Z, Fang Z, Meng J, Pitt M, Lin J, Xie X, Chen L, Creating an Inter-Hospital Resilient Network for Pandemic Response Based on Blockchain and Dynamic Digital Twins, *Winter Simulation Conference (WSC)*, 2021: 1-12.

Ministère de la Santé, *Guide d'aide à la préparation et à la gestion des tensions hospitalières et des situations sanitaires exceptionnelles*. 2019.

Moureau N, Rivaud-Danset D, *L'incertitude dans les théories économiques*, Paris : La Découverte, 2004 : 128 p.

Zhong X, Babaie SF, Prakash A, Park J., Huang C, Barwise A, Herasevich V, Gajic O, Pickering B, Dong Y. A multidisciplinary approach to the development of digital twin models of critical care delivery in intensive care units, *Int Jour Prod Res* 2022; 1-17.