

Optimisation des transformations des opérations industrielles

Intelligence systémique et industries de défense

Daniel KROB (INCOSE Fellow)

Juin 2025



Systemic
Intelligence



Sigma



WorldLab



Agenda

1. Systemic Intelligence : qui sommes-nous ?

2. La vision systémique au cœur

- De l'organisation d'une armée
- Des industries au service de la défense

3. Comment aider à la prise de décision optimale dans les industries de défense ?



Systemic Intelligence

Qui sommes-nous ?

Cœur de compétence

Modélisation
de systèmes
industriels

Analyse de
données
industrielles

Simulation
d'opérations
industrielles

Fiabilité et
sûreté
industrielle

Architecture &
transformation
de systèmes
industriels

Architecture
de lignes de
produits

Jumeaux
numériques
systémiques

Offres

Conseil en architecture de
systèmes industriels
Expertise & formation
Solutions d'aide à la décision

Equipe

≈ 40
collaborateurs

Chiffre d'affaires

≈ 8 M€
2024

Bureaux

Paris
Shanghai
Toulouse

Création



Spin-off - 2011

Partenaires



Programmes de formation

AIRBUS GROUP • ARIANE GROUPE •
NISSAN • RENAULT • SAFRAN •
SCHNEIDER ELECTRIC • STELLANTIS

Méthode CESAM

≈ 10,000
professionnels formés
depuis 10 ans

Communauté



Communauté des
architectes systèmes

Événements

- Complex Systems Design & Management (CSD&M)
- Digital Twins Design & Operation (DTD&O)

LinkedIn

≈ 10,000
followers

Systemic Intelligence offre des **services d'aide à la transformation optimale des opérations industrielles complexes** s'appuyant sur des techniques de **modélisation, simulation & optimisation d'infrastructures industrielles**. L'entreprise est une spin-off du groupe **CESAMES**, spécialisé en architecture de systèmes complexes, lui-même issu de la **chaire d'ingénierie des systèmes complexes de l'Ecole Polytechnique**.



Systemic Intelligence

Notre équipe de direction



Daniel KROB, président de Systemic Intelligence, est un ancien professeur de l'Ecole Polytechnique et un ancien directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). C'est un **expert mondial en modélisation de systèmes**, reconnu comme Fellow de l'International Council on Systems Engineering (INCOSE).



Antoine RAUZY, directeur scientifique et technologique de Systemic Intelligence, est professeur à CentraleSupélec en France et à la Norwegian University of Science & Technology en Norvège. C'est un **expert mondial en simulation de systèmes**. Il a notamment développé la technologie de sûreté de fonctionnement AltaRica, utilisée dans le monde entier dans l'industrie pour outiller les études de sûreté.





Systemic Intelligence

Notre écosystème industriel (1/2)

Les premiers clients de nos solutions d'aide à la décision

Aéronautique

+ CORAC, Daher Dassault Aviation

Automobile

+ Mitsubishi

Energie

+ Rolls Royce, Technip

Défense & spatial

+ Dassault Aviation, Kawasaki, Thalès

Construction

+ Eiffage, Saint-Gobain, Vinci

High-tech

+ A3BC, Dassault Systèmes, PTC

Innovation & services

+ Caisse des dépôts, Opéra National de Paris, Pôle Emploi

Logistique

Mines

Ferroviaire

Notre écosystème de clients et partenaires industriels



Systemic Intelligence

Notre écosystème industriel (2/2)

1 – Evolution de la production d'un système industriel existant

AIRBUS

Canada



Ramp-up de la production industrielle



Dimensionnement des infrastructures portuaires



Ramp-up d'un système de production de munitions



Transformation du système de distribution de la presse

2 – Conception d'un nouveau système industriel



Conception d'un entrepôt automatisé



Conception d'une mine sous-marine



Conception d'une usine flexible de composants d'éoliennes

3 – Amélioration des performances d'un système industriel existant



Evolution de systèmes de signalisation ferroviaires



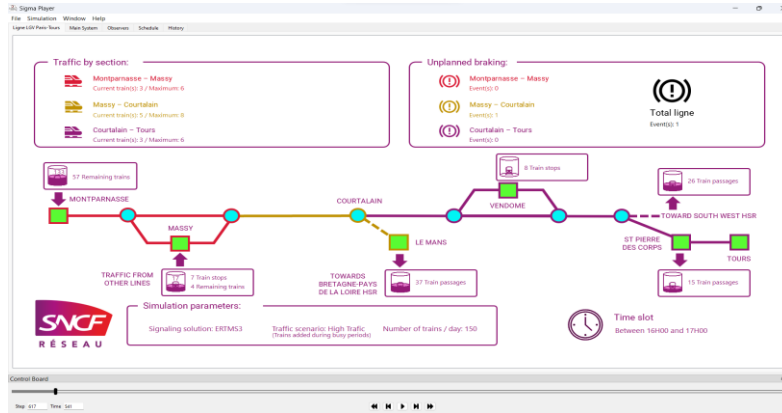
Analyse de résilience d'une usine automobile

Nos premiers **exemples d'aide à la transformation d'opérations industrielles complexes**

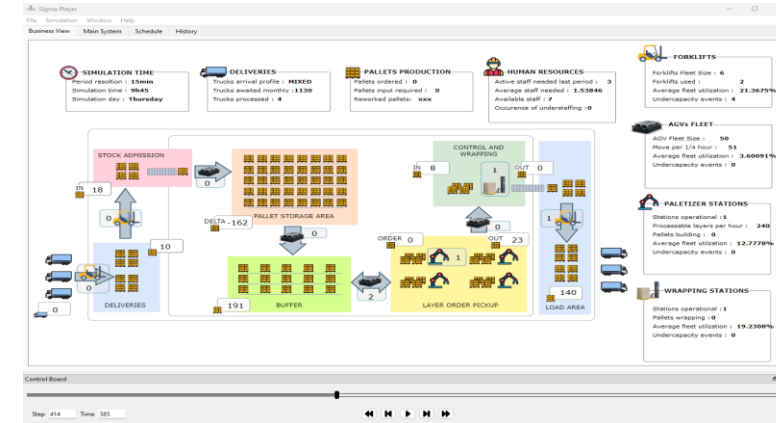


Exemples de nos solutions d'aide à la décision

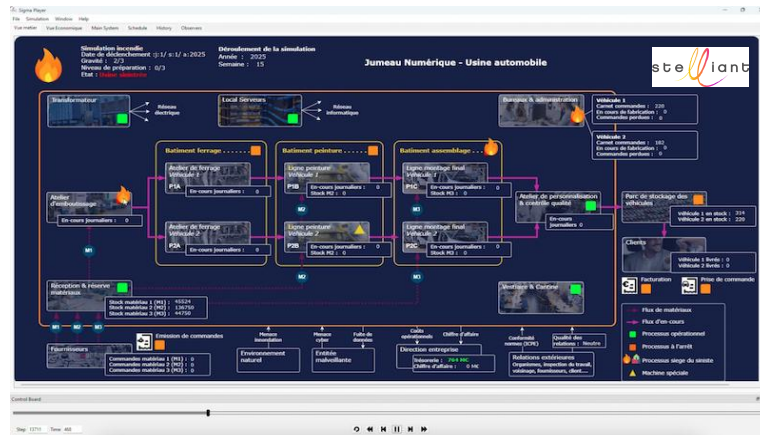
Planification stratégique et optimisation opérationnelle



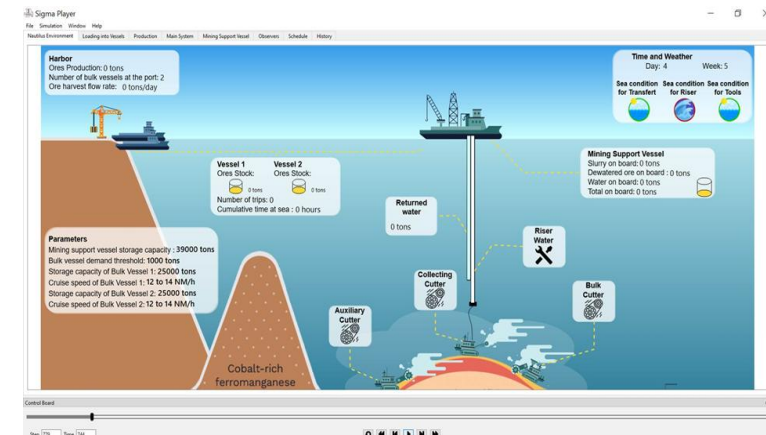
Trade-off : comparaison de 4 architectures ferroviaires de contrôle-commande sous 3 hypothèses de croissance du trafic



Configuration optimale : identification de la meilleure architecture pour un entrepôt automatisé pour absorber les pics de charge



Gestion des risques : conception de la meilleure stratégie assurantielle pour couvrir des risques industriels



Optimisation : identification de la meilleure architecture industrielle en tenant compte des conditions météorologiques



Agenda

1. Systemic Intelligence : qui sommes-nous ?

2. La vision systémique au cœur

- De l'organisation d'une armée
- Des industries au service de la défense

3. Comment aider à la prise de décision optimale dans les industries de défense ?



Agenda

1. Systemic Intelligence : qui sommes-nous ?
2. **La vision systémique au cœur**
 - **De l'organisation d'une armée**
 - Des systèmes industriels de défense
3. Comment aider à la prise de décision optimale dans les industries de défense ?



Un principe fondateur dans le monde de la défense

L'importance de l'organisation militaire !



Passage de la Bérézina en novembre 1812

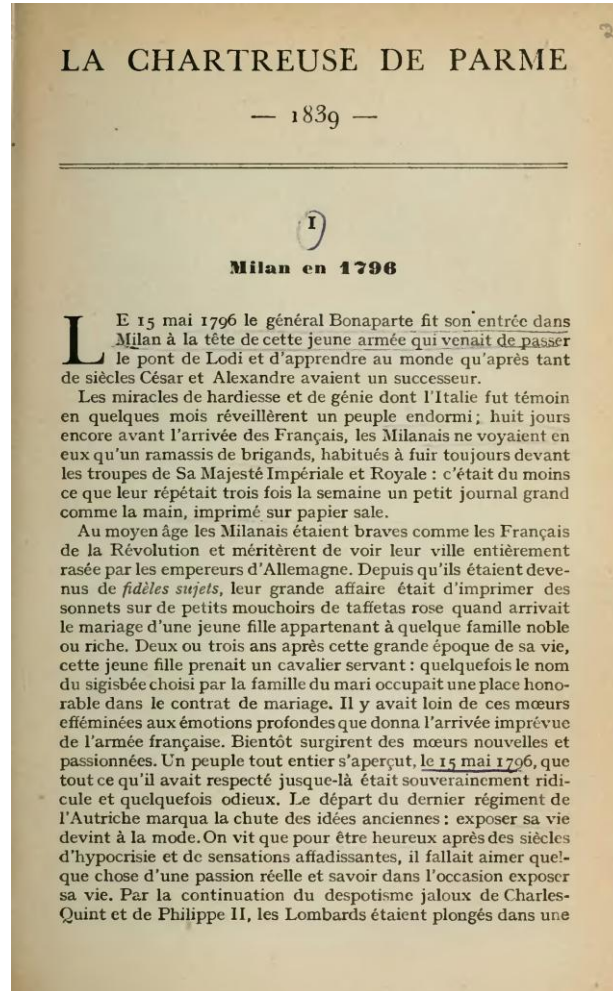
Principe fondateur : si une armée n'est pas bien organisée, elle disparaît ... car tout le monde meurt !



Des principes systémiques au cœur de l'organisation d'une armée

Laissons-nous guider par Stendhal ...

Le 15 mai 1796, le général **Bonaparte** fit son entrée dans Milan à la tête de cette jeune armée qui venait de passer le pont de Lodi et d'apprendre au monde qu'après tant de siècles **César** et **Alexandre** avaient un successeur.





Des principes systémiques au cœur de l'organisation d'une armée

Exemple 1 : Alexandre Le Grand

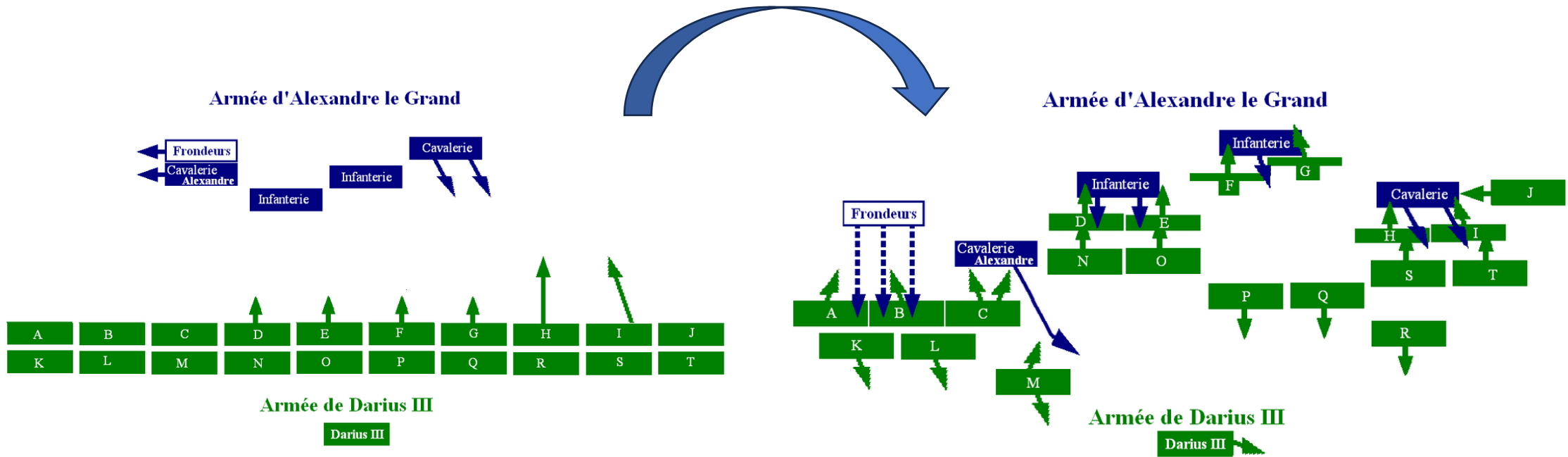


Schéma de la bataille de Gaugamèles en octobre – 331 où l'armée d'Alexandre le Grand défait l'armée de Darius III qui est 3 fois plus nombreuse, mais mal organisée

Principe 1 – Mobilité : décomposer l'armée dans son ensemble en **petites entités flexibles et mobiles** capables chacune de tenir tête à l'ennemi et d'exploiter ses faiblesses



Des principes systémiques au cœur de l'organisation d'une armée

Exemple 2 : Jules César

Composition type d'une légion romaine

La légion comprenait environ de 5000 à 6000 hommes répartis en 10 cohortes.
La première cohorte comprenait 800 soldats et les autres cohortes 500.
Chaque légion portait un numéro, un nom (Augusta, Galica, etc.) et un surnom (felix, etc.).

1^{re} cohorte. L'élite de la légion
2^e cohorte
3^e cohorte
4^e cohorte
5^e cohorte
6^e cohorte
7^e cohorte
8^e cohorte
9^e cohorte
10^e cohorte

La première cohorte comportait 5 centuries de 160 hommes environ. Les 9 autres cohortes suivantes se divisaient en centuries de 80 soldats.

120 cavaliers éclaireurs et estafettes

5 tribuni angusticlavi de l'Ordre équestre (chevaliers) — Officiers supérieurs

Parfois, lorsqu'une légion était décimée, son nombre n'était plus jamais utilisé comme ce fut le cas pour les trois légions de Publius Quintilius Varus qui périrent à la bataille de Teutobourg en Germanie.

Primus pilus → Le centurion de la 1^{re} cohorte, le plus élevé en grade.
Praefectus castrorum → Officier supérieur dont les fonctions étaient de choisir l'emplacement du camp. Il était responsable des tâches matériels.
Aquilifer → porte l'aigle, emblème de la légion.
Tribunus laticlavus → de rang sénatorial, officiers supérieurs
Legatus legionis → Commandant en chef de toute la légion.

Essai de reconstitution d'après un dessin de Peter Connolly.

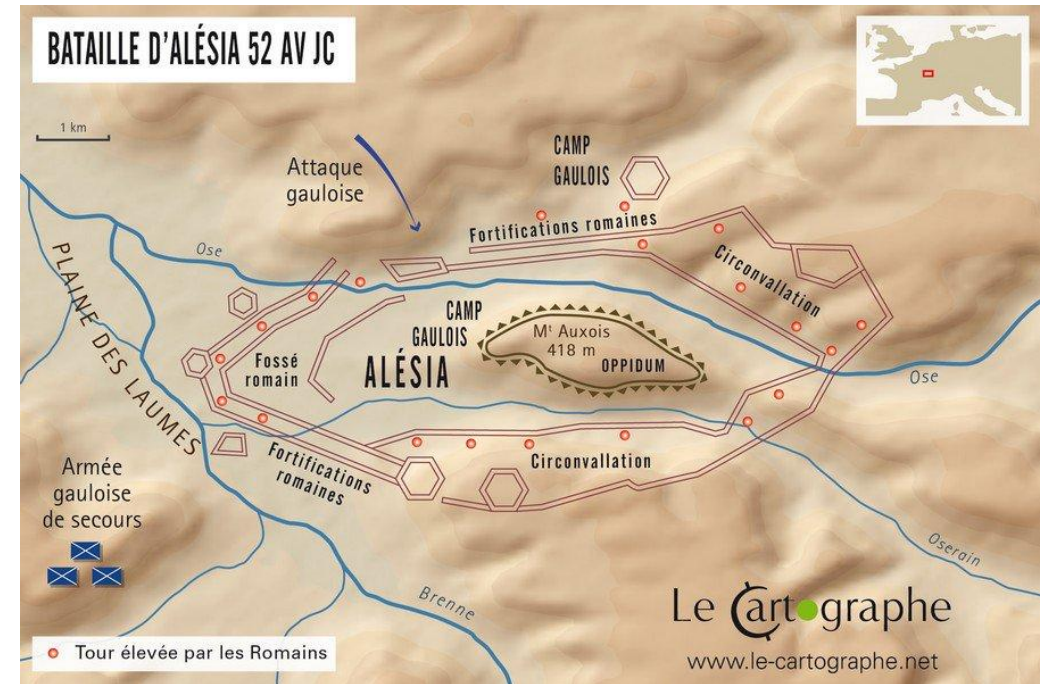


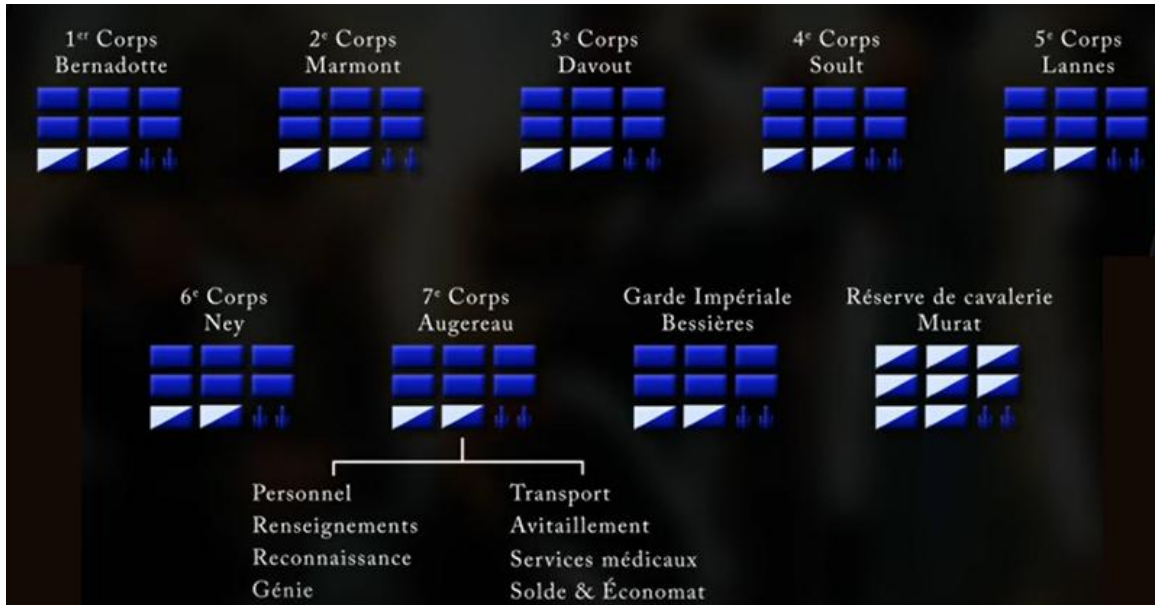
Schéma de la bataille d'Alésia en septembre – 52 où 12 légions romaines défont une armée gauloise numériquement 4 fois supérieure

Principe 2 – Cohésion : faire bloc contre l'ennemi en regroupant en un **ensemble cohérent** toutes les petites entités qui forment une armée



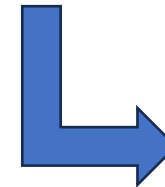
Des principes systémiques au cœur de l'organisation d'une armée

Exemple 3 : Napoléon



Concentration
des divisions
pour la bataille

Déplacement
autonome
des divisions



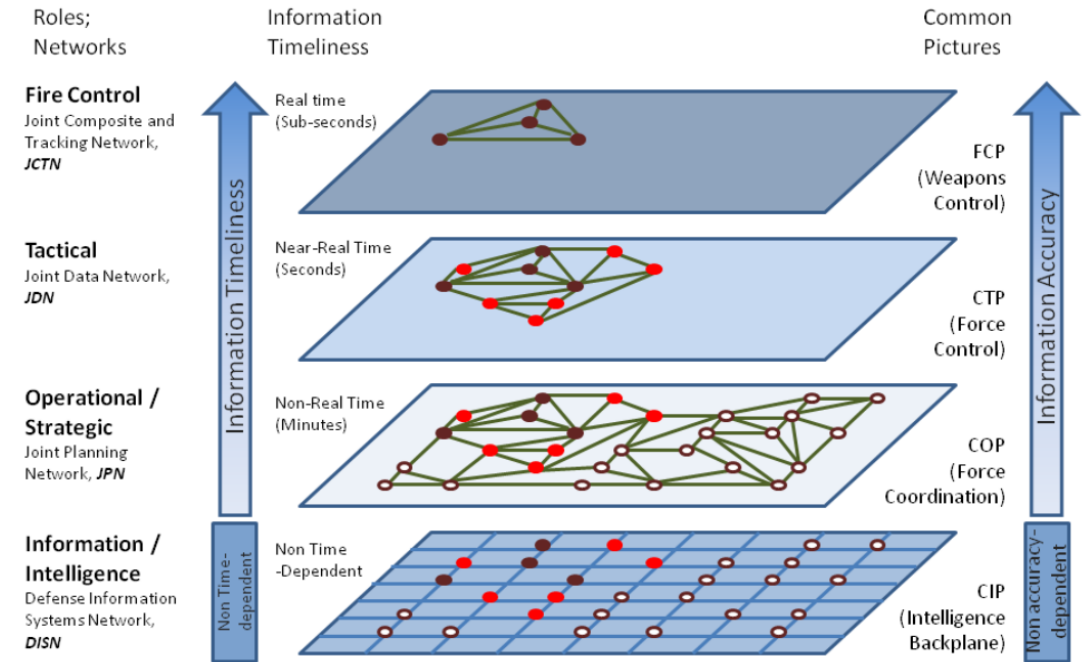
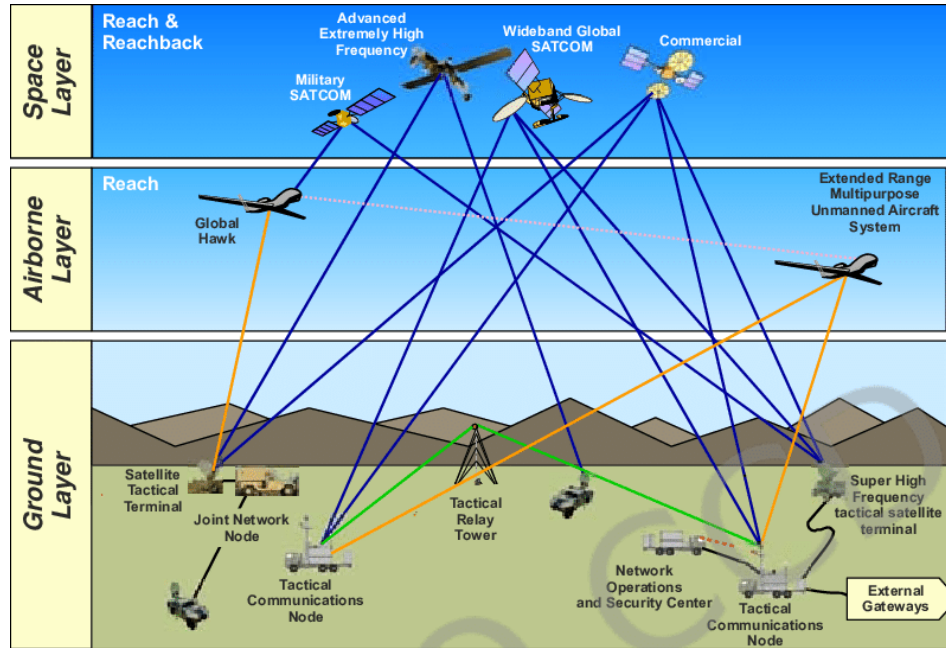
Organisation du système divisionnaire formalisée par Napoléon en 1805

Principe 3 – Mobilité & cohésion intégrée : décomposer l'armée dans son ensemble en **divisions autonomes**, formant chacune une mini-armée avec sa propre artillerie, cavalerie et infanterie, capables d'agir de **manière indépendante** et de **faire bloc** quand nécessaire



Des principes systémiques au cœur de l'organisation d'une armée

Ces principes restent au cœur du fonctionnement des armées modernes, bien plus complexes



Principe moderne : savoir intégrer et coordonner des moyens et des informations
sur **différentes échelles d'espace et de temps** (échelles locale, tactique et stratégique)



Agenda

1. Systemic Intelligence : qui sommes-nous ?
2. **La vision systémique au cœur**
 - De l'organisation d'une armée
 - **Des industries au service de la défense**
3. Comment aider à la prise de décision optimale dans les industries de défense ?



Les systèmes industriels de défense

Des systèmes industriels complexes se cachent derrière chaque système de défense

Supply-chain
(plusieurs centaines
de fournisseurs)



KNDS

MBDA
MISSILE SYSTEMS

SAFRAN

THALES




Ligne d'assemblage du Rafale


Un point clef : derrière chaque système de défense opéré par une armée se cache un **système industriel** d'une **grande complexité** qu'il est nécessaire d'optimiser en permanence




Les systèmes industriels de défense



Les systèmes industriels de défense sont au cœur de la réussite des armées

	1940	1942	1943	1944
Acier	21,5	32,1	34,6	28,5
Avions	10 200	15 400	24 800	38 000
Chars	2 200	9 400	19 900	27 300
Main-d'oeuvre	34,8	31,3	30,3	29

	1940	1942	1943	1944
Acier	60	76	79	80
Avions	2 100	47 900	85 900	97 000
Chars	350	25 000	30 000	17 500
Main-d'oeuvre	?	53,7	54,5	54

	1940	1942	1943	1944
Acier	18,3	4,8	8,4	10,8
Avions	?	25 500	34 900	40 300
Chars	2 800	24 700	24 000	29 000
Main-d'oeuvre	30	18,4	27,5	?

Acier (en millions de tonnes) / ? (chiffres inconnus) / Main-d'oeuvre (en millions)

Année	Production Industrielle des États-Unis (en tonnes)		Production Industrielle du Japon (en tonnes)	
				
1939	100,000		50,000	
1940	120,000		55,000	
1941	150,000		60,000	
1942	180,000		45,000	
1943	200,000		40,000	
1944	220,000		35,000	
1945	210,000		30,000	

Et l'exemple historique de la **seconde guerre mondiale** est là pour nous rappeler que le vainqueur d'une guerre est souvent celui qui a le **système industriel de défense le plus performant**.



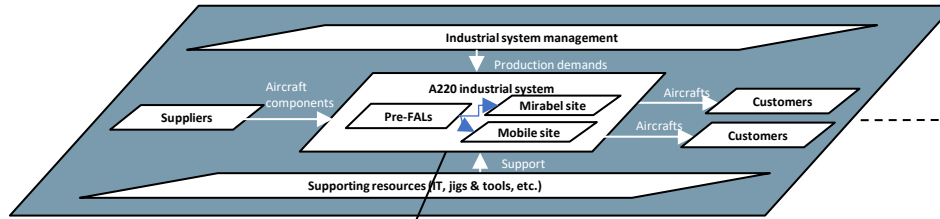
Les systèmes industriels de défense

Notre cadre d'analyse et de modélisation systémique d'un système industriel (1/2)

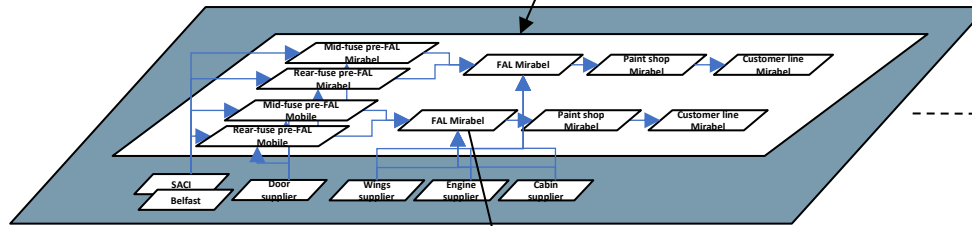
Vision structurelle et fonctionnelle

(focus sur les entités et les processus au sein de leur environnement)

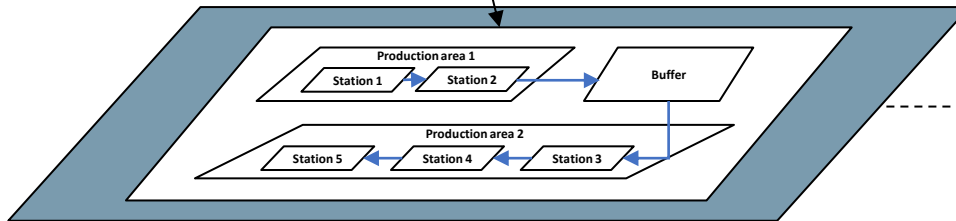
Niveau du système industriel



Niveau d'une usine

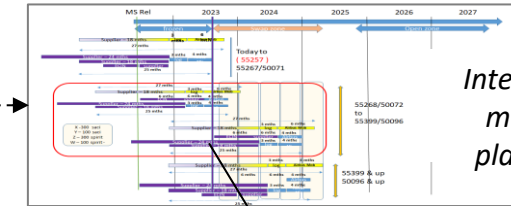


Niveau des zones et stations de production

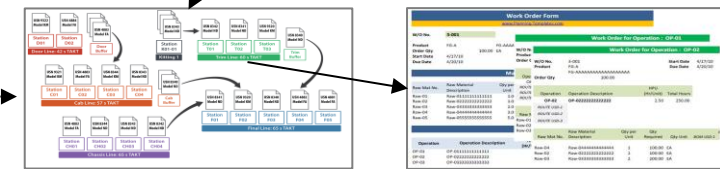
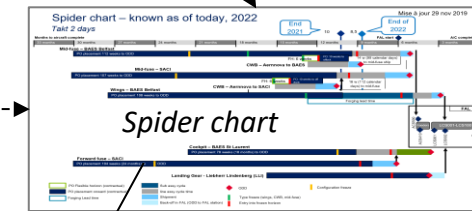


Vision planning

(focus sur l'ordonnancement des activités)



Integrated master planning



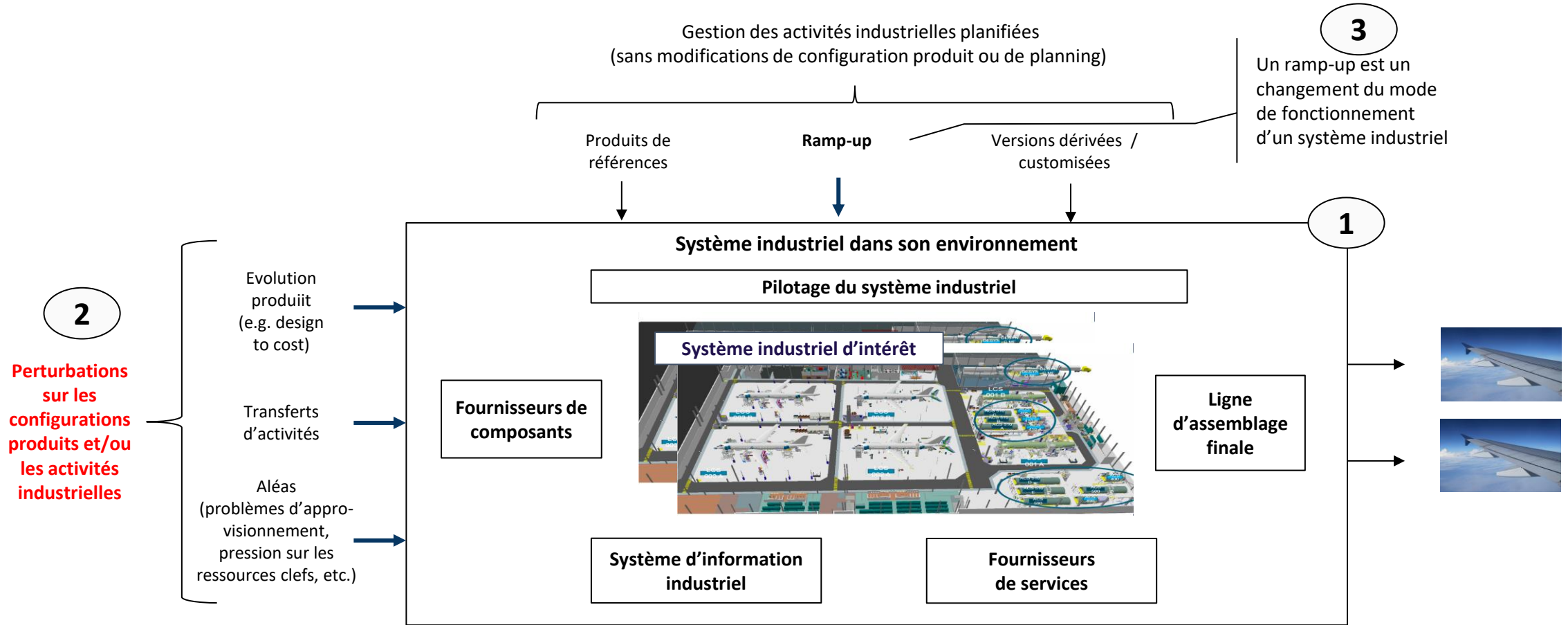
Planning de production et fiches d'instructions

Les **fondements** de notre **cadre d'analyse et de modélisation systémique** d'un **système industriel**



Les systèmes industriels de défense

Notre cadre d'analyse et de modélisation systémique d'un système industriel (2/2)

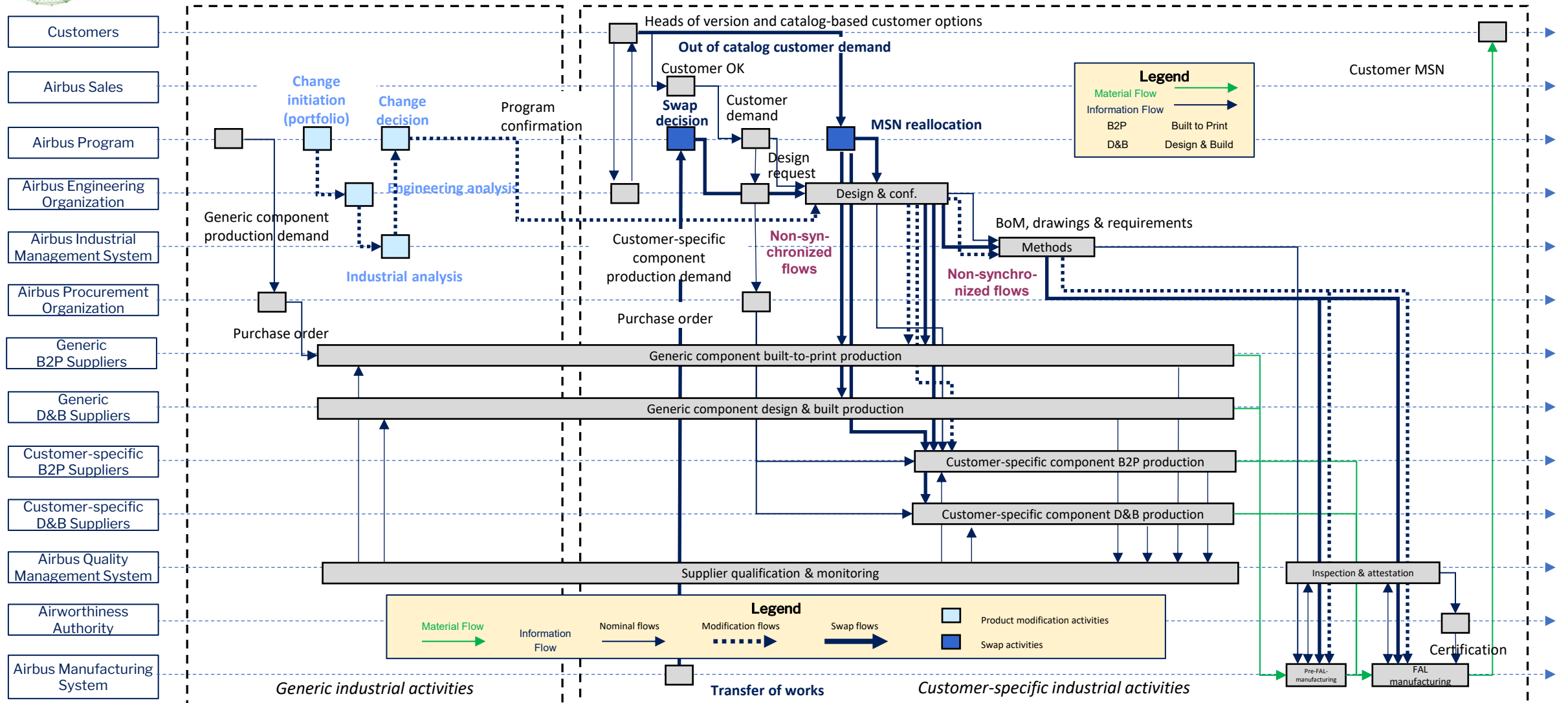


L'intégration des **perturbations** dans notre **cadre d'analyse et de modélisation systémique** d'un **système industriel**



Les systèmes industriels de défense

Un exemple d'analyse systémique d'un système industriel





Agenda

1. Systemic Intelligence : qui sommes-nous ?
2. La vision systémique au cœur
 - De l'organisation d'une armée
 - Des industries au service de la défense
- 3. Comment aider à la prise de décision optimale dans les industries de défense ?**



L'exemple du système industriel de production de la munition de 155 mm

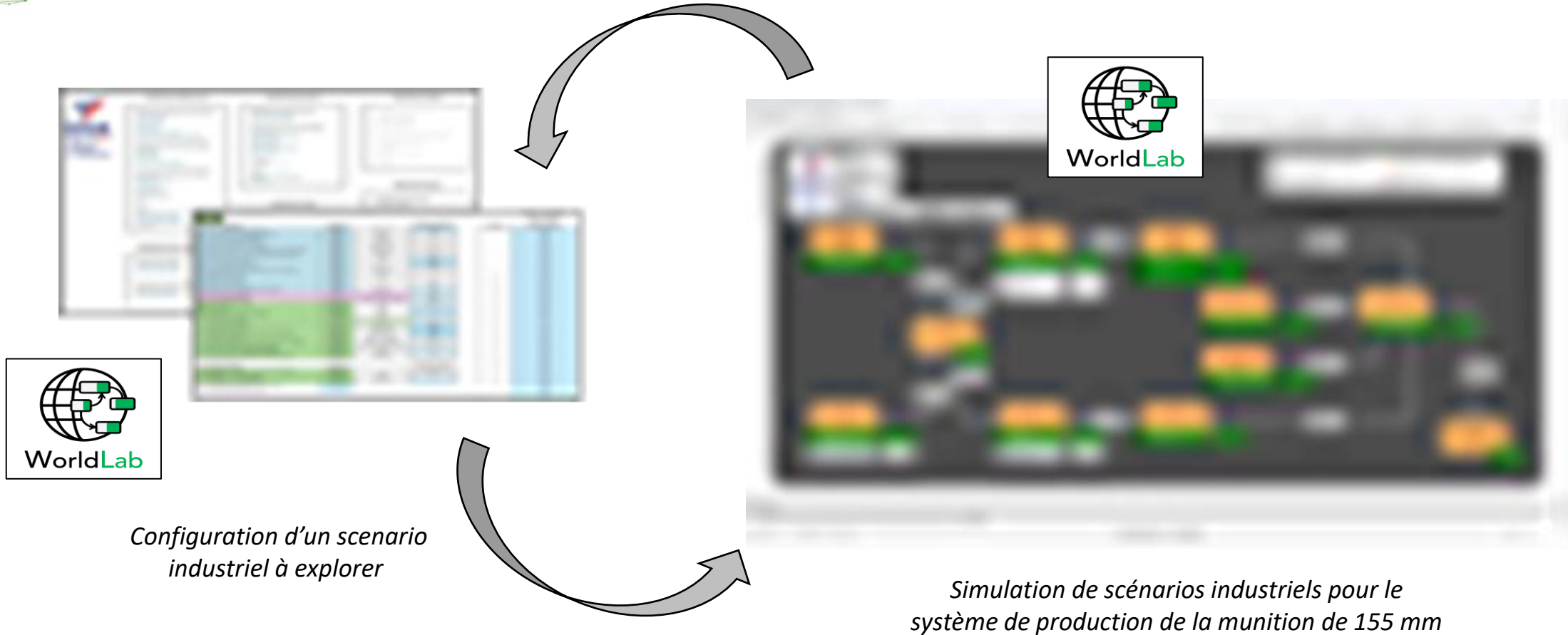


Processus de production de la munition de 155 mm

La **DGA (Direction Générale de l'Armement)** nous a sollicité pour l'aider à **accompagner la montée en puissance de la production de la munition de 155 mm**, ce qui nous a conduit à modéliser le système industriel complet correspondant, des fournisseurs de dernier rang à la recette, afin de pouvoir identifier **les goulots d'étranglement** du système industriel actuel et les **meilleurs scénarios industriels** de montée en puissance.



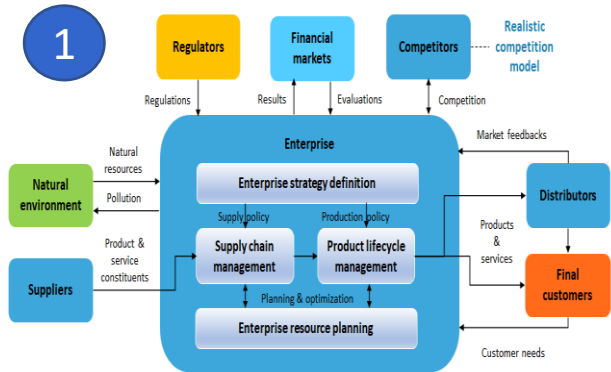
Le mécanisme d'aide à la prise de décision proposé



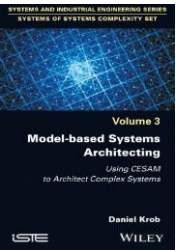
La **solution d'aide à la décision proposée** s'est appuyée sur un travail de **modélisation systémique** conduisant à la réalisation d'un **configurateur de scénarios industriels** et d'un **outil de simulation** de ces scénarios



Le fonctionnement du mécanisme d'aide à la prise de décision proposé (1/2)



Modèle descriptif d'un système industriel (MBSE)

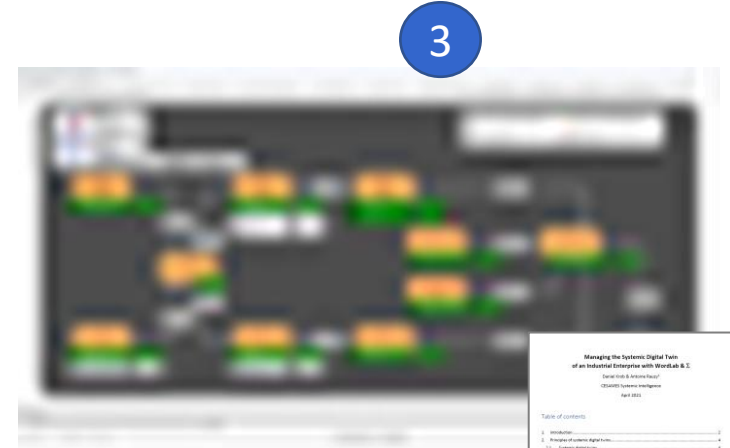
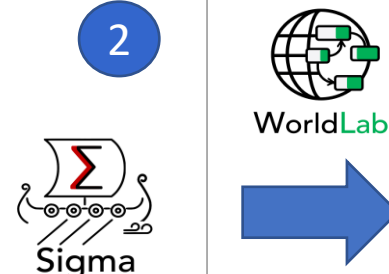


```

1 system World
2   system Supplier ... end
3   system Producer ... end
4   system Consumer ... end
5 end
6
7 system World.Supplier
8   int rawMaterial (init = 0);
9 end
10
11 system World.Producer
12   int order (init = 0);
13   int rawMaterial (init = 0);
14   int product (init = 0);
15 end
16
17 system World.Consumer
18   int product (init = 0);
19 end

```

Modèle de simulation en Σ^{TM} d'un système industriel



Outil de simulation systémique d'un système industriel

Managing the Systemic Digital Twin of an Industrial Enterprise with WorldLab & Σ	
Daniel Kroh & Armin Reiser	
©2024 Systemic Intelligence	
April 2024	
Table of contents	
1	Introduction
2	Managing Systemic Enterprise
3	Systemic Enterprise
4	Managing Enterprise
5	Systemic Enterprise Management
6	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
7	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
8	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
9	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
10	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
11	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
12	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
13	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
14	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
15	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
16	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
17	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
18	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
19	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
20	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
21	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
22	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
23	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
24	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
25	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
26	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
27	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
28	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
29	Managing Enterprise with Systemic Enterprise
30	Managing Enterprise with Systemic Enterprise

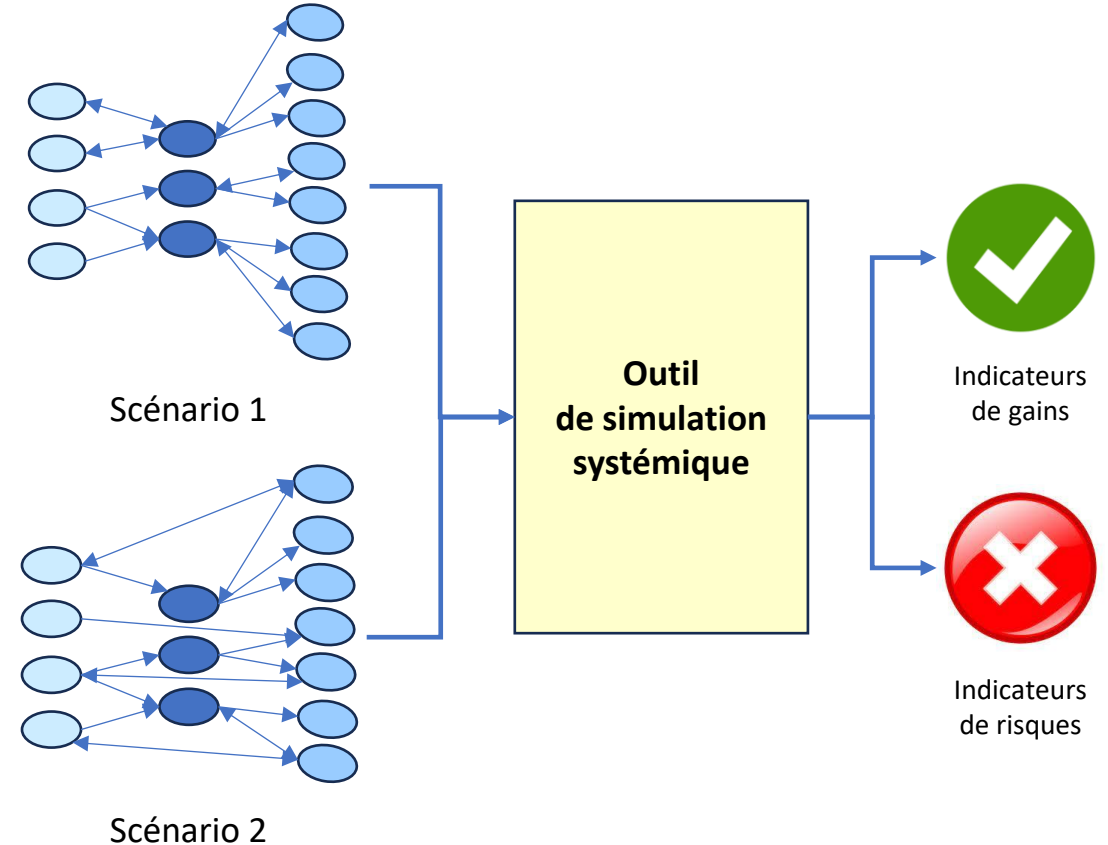
Principe de développement d'un outil de simulation systémique d'un système industriel avec Σ^{TM} et WorldLabTM

Pour se faire, nous avons utilisé notre **technologie WorldLabTM** qui permet de **générer automatiquement des solutions de simulation systémique** d'un système industriel complexe à partir d'un **modèle descriptif** de ce système décrit dans notre **langage de modélisation systémique Σ^{TM}** .



Le fonctionnement du mécanisme d'aide à la prise de décision proposé (2/3)

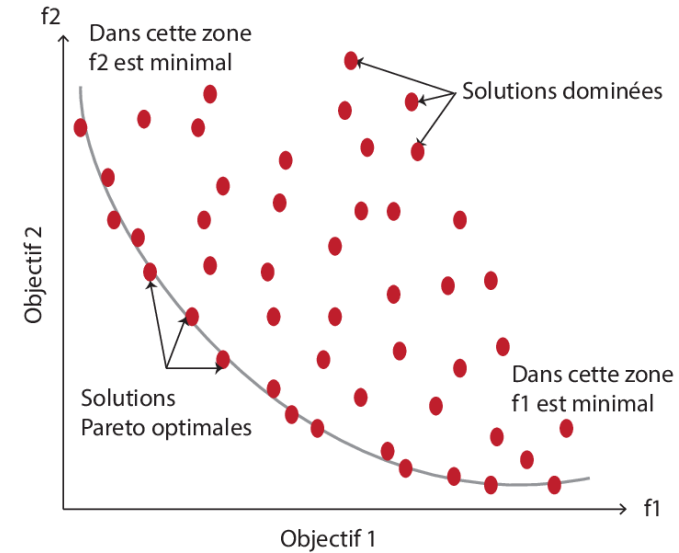
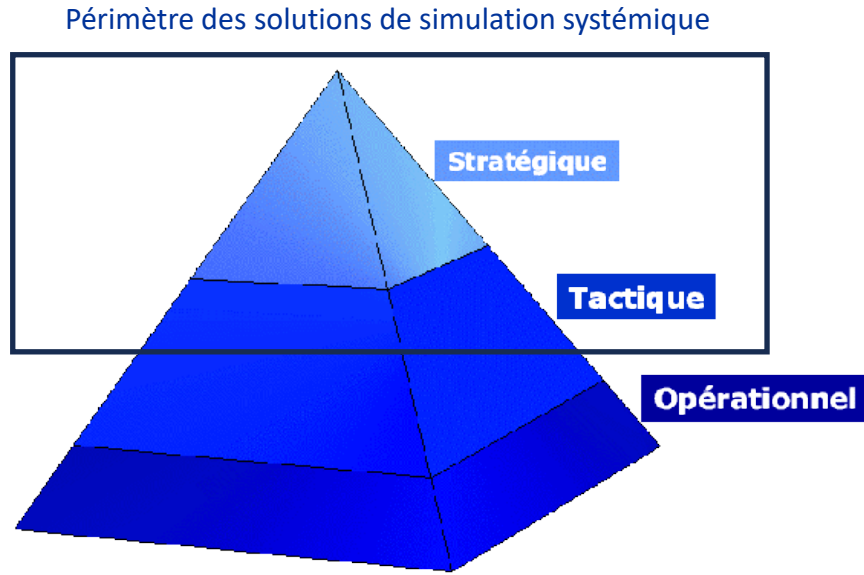
- Un **scénario d'architecture industrielle** est typiquement la donnée de :
 1. un **réseau industriel**, qui est formé d'une part de nœuds industriels (sites de production industrielle, sites de maintenance, sites de stockage, etc.) et d'autre part de relations entre ces nœuds industriels modélisant les différents mécanismes et canaux de transport.
 2. des **flux industriels**, décrivant la nature et les caractéristiques métiers des flux échangés entre les nœuds du réseau industriel,chacun des éléments constitutifs d'une architecture industrielle pouvant être **variable** et défini à l'aide de **paramètres spécifiques**.



Un **outil de simulation systémique** permet de **comparer différents scénarios d'architecture industrielle** pour identifier le « meilleur » par rapport à des indicateurs métiers prédéfinis



Le fonctionnement du mécanisme d'aide à la prise de décision proposé (3/3)



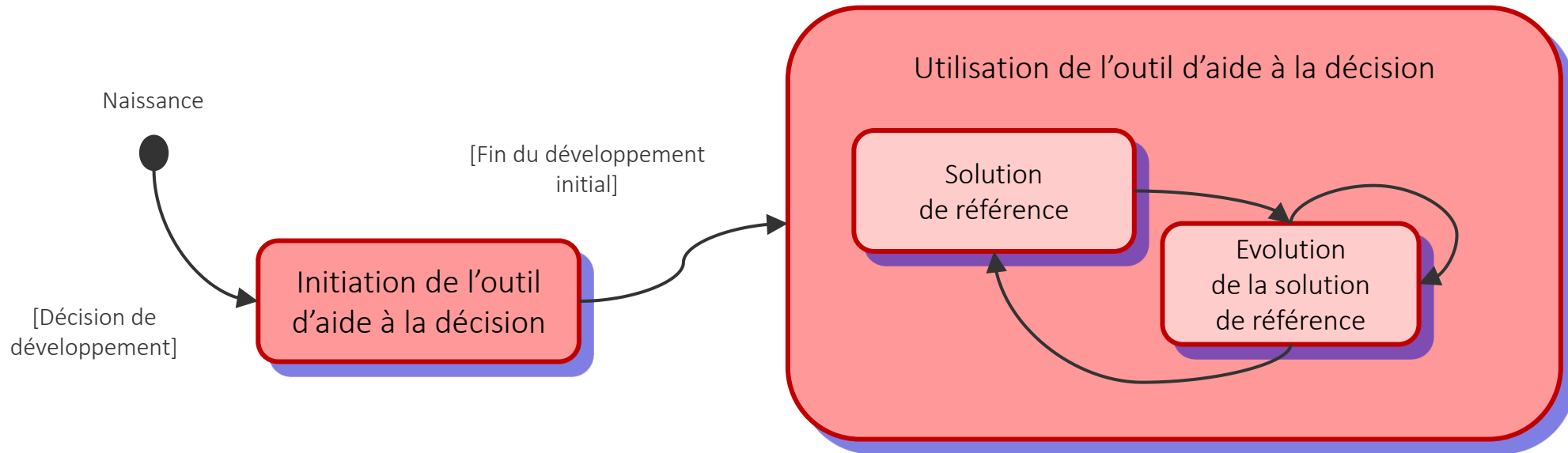
Les solutions de simulation systémique sont des **outils complémentaires** aux techniques de recherche opérationnelle :

1. Ils ont vocation à ne supporter que de la **modélisation à gros / moyen grain**, son but étant d'aider à détourner les solutions d'une problématique d'organisation industrielle au sein de l'espace des possibles. Si l'on veut obtenir une solution fine, il faut compléter l'approche par des approches classiques de recherche opérationnelle centrées sur le périmètre détourné.
2. Par ailleurs, on peut aussi utiliser un tel outil comme une boîte noire permettant d'évaluer une configuration donnée d'une infrastructure industrielle : en couplant **simulation systémique** et **techniques classiques d'optimisation multi-critères**, on peut alors identifier le **front de Pareto** d'une problématique d'optimisation multicritères.



Last, but not least, le rôle central du modèle

La maintenance évolutive est assurée à cout marginal grâce à notre approche



Un **outil de simulation systémique de systèmes industriels n'est jamais stable** car il doit s'adapter à une réalité mouvante. La réussite de l'industrialisation d'une telle solution d'aide à la décision est donc largement due au fait que son **évolution** peut se faire à **très faible effort** avec notre approche (de l'ordre de quelques heures à quelques jours selon la complexité de l'évolution à faire) grâce à la **génération automatique** de l'outil à partir du modèle du système d'intérêt, ce qui **transforme un problème d'évolution d'outil en un problème d'évolution de modèle**.

Contact

Daniel KROB

daniel.krob@systemic-intelligence.net

06 60 42 34 49

Systemic Intelligence Group

Société par actions simplifiée au capital de 110.000 €

Siège social : 10, rue de Penthièvre – 75008 Paris – France

Bureaux : c/o Morning – 4-6, rue de Penthièvre – 75008 Paris – France

SIRET : 805 084 670 00035 – APE : 7490B



Systemic
Intelligence