



L'approche low-tech au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation
face aux fluctuations

Février 2026



Cigref

En partenariat avec l’Institut du
Numérique Responsable (INR)

L’approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation face aux fluctuations

Février 2026

Droit de propriété intellectuelle



Toutes les publications du Cigref sont mises gratuitement à la disposition du plus grand nombre mais restent protégées par les lois en vigueur sur la propriété intellectuelle

ÉDITO – CIGREF

La démarche *low-tech* a vu le jour dans les années 1970 grâce à l'économiste britannique Ernst Friedrich Schumacher qui a proposé de considérer la nature comme un capital à préserver plutôt que comme une simple source inépuisable de revenus. Il a également suggéré de créer une exploitation respectueuse de la planète et d'intégrer le « bien-être » des travailleurs ainsi que la préservation de l'environnement dans les décisions économiques des entreprises.

En France, la démarche a gagné en popularité avec notamment la publication en 2010 de « L'âge des low-tech » par Philippe Bihouix et la création du « Low-tech Lab » en 2014. La démarche *low-tech* englobe des objets, des techniques, des services et des savoir-faire technologiquement adaptés, utiles, accessibles et durables. Depuis, ce vocabulaire s'est ancré dans le monde associatif et dans les mouvements écologistes qui y voient une réponse potentielle à la crise environnementale. Cette démarche demeure toutefois marginale au sein des grandes organisations et entreprises qui peuvent y voir un attracteur passiste fantasmé ou un frein à la croissance.

En 2023, lors d'un cycle de formation à Polytechnique Exed intitulé « Stratège de la Transformation Durable » mené aux côtés d'Élisabeth Lucas, Caroline Danancher et Cécilia de Foucaucourt, notre mémoire a été consacré à l'exploration de ce sujet. Notre objectif était d'en cerner les fondements, d'en évaluer les potentiels, d'identifier les freins à sa diffusion au sein des grandes organisations et entreprises, et d'envisager les leviers susceptibles de la rendre plus attractive. À travers une série d'entretiens menés auprès d'un panel diversifié d'acteurs, nous avons rapidement constaté un intérêt croissant pour cette approche. Ces travaux ont débouché sur la création d'un Groupe de Travail, mis en place en partenariat avec le Cigref et l'Institut du Numérique Responsable (INR), avec la participation active de l'ADEME.

Un premier cycle s'achève avec la rédaction de ce rapport, ouvrant sur de nombreuses pistes pour les cycles suivants. Bonne lecture !

Nicolas SCHMITT,

Technology Intelligence & Sustainable IT chez BNP Paribas, représentant de BNP Paribas auprès du
Cigref

ÉDITO – INR

Depuis plusieurs années, l’Institut du Numérique Responsable s’attache à ouvrir des chemins nouveaux pour penser et pratiquer un numérique plus sobre, plus inclusif et plus résilient. Dans ce contexte, le travail mené avec le Cigref sur la démarche *low-tech* marque une étape importante : il ne s’agit plus seulement d’interroger la place du numérique dans nos organisations, mais bien de nous demander comment ce numérique pourra continuer à exister et à servir la société dans un monde contraint par les crises et les limites planétaires.

La démarche *low-tech* ne doit pas être perçue comme un retour en arrière ou une nostalgie technologique. Elle est au contraire une invitation à repenser nos priorités, à cultiver le discernement technologique et à développer des solutions utiles, accessibles et robustes. Elle pose une question simple : que restera-t-il de nos systèmes numériques lorsque l’énergie, les matières premières ou les infrastructures se feront rares ou intermittentes ? Et surtout, comment préparer dès aujourd’hui des réponses crédibles et désirables ?

Ce rapport, fruit d’un an de réflexion collective, d’entretiens et d’exercices prospectifs, met en lumière trois scénarios de rupture à horizon 2035-2040 : la fragilité des chaînes d’approvisionnement, le risque de rationnement énergétique et hydrique, et l’exposition croissante des infrastructures aux aléas climatiques. Face à ces défis, la *low-tech* n’apparaît pas comme une solution unique, mais comme une grammaire commune permettant d’imaginer d’autres trajectoires : systèmes d’exploitation durcis et sobres, processus manuels en doublure des outils numériques, mutualisation territoriale des ressources, développement de filières locales de réparation et de reconditionnement.

Au-delà des solutions techniques, ce rapport insiste sur la transformation de nos imaginaires. Car la *low-tech* n’est pas seulement une affaire de dispositifs : c’est aussi une culture de la simplicité, de l’autonomie et de la coopération. C’est une invitation à réapprendre la valeur de la robustesse et du commun, dans un monde où l’abondance ne peut plus être la norme.

Je tiens à remercier l’ensemble des organisations et des personnes qui se sont investies dans ce groupe de travail, ainsi que les partenaires qui ont apporté leur expertise et leur enthousiasme. Leur engagement témoigne d’une conviction partagée : la résilience numérique ne se construira pas contre les contraintes du monde, mais avec elles.

À l’heure où nous devons apprendre à « faire mieux avec moins », la démarche *low-tech* s’impose comme un atout stratégique. Elle dessine un horizon où innovation et responsabilité ne s’opposent pas, mais se renforcent mutuellement. Je souhaite que ce rapport inspire et guide les acteurs publics comme privés vers un numérique qui, loin d’être fragile, saura rester au service de l’essentiel.

Richard Bury, Président de l’Institut du Numérique Responsable

Vincent Courboulay, Responsable Académie et Centre d’expertises de l’Institut du Numérique Responsable

L’approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d’adaptation face aux fluctuations



SYNTHESE

Le présent rapport explore comment la démarche *low-tech* permet de renforcer la résilience numérique des organisations face aux fluctuations, qu'elles soient d'ordre climatique, géopolitique, économique ou social. Si la numérisation a longtemps été perçue comme un impératif de performance, l'hyper-numérisation expose désormais les entreprises à des vulnérabilités majeures. La démarche *low-tech* propose un paradigme d'adaptation fondé sur une interrogation du « juste besoin », sur une simplification des systèmes technologiques, sur une valorisation de la maintenabilité, le tout dans une approche systémique des modèles économiques et sociaux.

Le groupe de travail, piloté par le Cigref en partenariat avec l'Institut du Numérique Responsable (INR), a opté pour une démarche prospective visant à mettre en lumière les risques majeurs auxquels les organisations pourraient vraisemblablement être confrontées à horizon 2035-2040. Avec l'appui du cabinet de conseil Futuribles, **trois scénarios de rupture** ont été identifiés :

- **L'emballage des conflits mondiaux** entraînant des ruptures d'approvisionnement technologique (semi-conducteurs, métaux rares) ;
- **La croissance explosive des usages numériques** conduisant à un rationnement énergétique et hydrique ;
- **L'intensification des phénomènes climatiques extrêmes** endommageant les infrastructures numériques.

Ces scénarios ont mis en évidence des risques à fort impact, tels que la **pénurie de ressources stratégiques** liée à des ruptures dans la chaîne d'approvisionnement, l'**instabilité économique** de la chaîne de valeur, ou encore la **hiérarchisation des usages** numériques à des fins de régulation énergétique.

Ce rapport examine ensuite la manière dont l'approche *low-tech* constitue un **cadre conceptuel et un levier opérationnel pour renforcer la résilience numérique** des organisations en analysant les avantages et les limites des principes *low-tech* et en formulant des recommandations concrètes pour leur mise en œuvre. Celles-ci insistent notamment sur la nécessité de relocalisation et de diversification des compétences, sur les potentiels de développement de systèmes d'exploitation (OS) « durcis » et sobres, sur l'élaboration de plans de continuité d'activités *low-tech* qui intègrent des processus de secours alternatifs ou parallèles. Elles portent également sur l'intérêt d'anticiper des processus de mutualisation des ressources et d'accès, par la définition et la hiérarchisation des services « essentiels ». Combiner ces approches permet de limiter l'exposition aux risques en « amont » des crises, d'améliorer leur gestion « pendant » qu'elles se produisent, et de favoriser la résilience et la reprise « post-crises ».

Le rapport met l'accent sur la préparation et la transformation des imaginaires, sur la nécessité d'expérimenter concrètement, de redéfinir ou réorienter ses modèles d'affaires, d'investir dans les compétences associées au développement d'écosystèmes collaboratifs et de valoriser les « biens communs ». *In fine*, loin de constituer une contrainte, la démarche *low-tech* s'affirme alors comme un atout stratégique, robuste et incontournable pour évoluer dans un monde aux ressources limitées et

aux risques croissants, de plus en plus hétérogènes et difficiles à anticiper. Elle érige le « technodiscernement » comme nouvelle norme de résilience et d'innovation, démontrant que ces deux dimensions peuvent être combinées dans un objectif de progrès.

L'approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations
Stratégies d'adaptation face aux fluctuations



REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à **Nicolas Schmitt**, Technology Intelligence & Sustainable IT chez **BNP Paribas** et **Laurent Bourgitteau-Guiard**, Délégué Général de l'**INR**, qui ont piloté le groupe de travail Cigref « **Low-tech Fair-tech** », ainsi qu'à toutes les personnes, membres du Cigref ou de l'INR, qui y ont participé et apporté leurs contributions :

AIT DAOUD Marie – VINCI	LAROCHE Emmanuel – SOPRA STERIA
BESNARD-GUIOL Doralie – MÉTROPOLE ROUEN NORMANDIE	LAVIRON Francois-Xavier – ADEME
BESOIN Arnaud – SNCF	LEDUCQ Charles – BILBEA
BONJEAN Anne-Charlotte – ADEME	LE CALLOCH Marion – ORANGE
BOUCHEROT Sara – OCTO TECHNOLOGY	LEDUCQ Charles – BILBEA
BOURCEREAU Maud – OCI	LOCHON Thierry – MTE
CALISTI Renaud – GRTGAZ	LUCAS Elisabeth – ORANGE
CAILLAT Jean-Philippe – Groupe 3M	MANAR Karim – SOBRII
CAPELLE Amandine – OCTO TECHNOLOGY	MARCHANDISE Jacques-François – ASTROLABE
CERDA Roxane – SAINT-GOBAIN	MARLIN Fabien – MICHELIN
CHARROUF Youri – IJO	MARVILLET Lucie – IJO
CHIRON Jean-Paul – RÉGION NOUVELLE-AQUITAIN	MOREAU Wilfried – RÉGION NOUVELLE-AQUITAIN
CONVERS Ghislaine – Groupe ADP	MONTAGUT Adrien – COMMOWN
COMTE Agnès – BANQUE DE France	NITOT Tristan – OCTO TECHNOLOGY
DANANCHER Caroline – TENNAXIA	NOTAIRE Thierry – MAIF
DEGUITRE Yuki – L'ORÉAL	PHAM Christophe – INFOGREEN FACTORY
DEROUETTE Philippe – BPCE	PECCINI Stéphan – STÉPHAN PECCINI CONSEIL
DIDIER Denis – ITHENKA	RIBES Julie – MICHELIN
DOWLATSHAH Sousan – BNP PARIBAS	PINIER Arnaud – ISIA
FANGEAT Erwann – ADEME	ROUSSEAU Julien – Laboratoires PIERRE FABRE
GALLON Guillaume – MADE-UP CONSULTING	TISSERAND Benoît – BPCE
HEINZER David – EDENRED	VIEILLEFONT Valérie – TASMANE
	WEBER Franck – ENEDIS

Nous remercions également vivement tous les intervenants qui ont nourri la réflexion de notre groupe de travail (par ordre d'intervention) :

- **Erwann Fangeat**, Coordinateur technique, Service Sobriété Numérique à l'**ADEME**
- **Marc Vautier**, Référent de la communauté Orange Expertise Énergie & Environnement, **Orange**
- **Luca Jezequel**, Chef de projet Junior - low-tech, **Orange**
- **Guillaume Boudry**, prospectiviste en télécommunication, **Orange**
- **François de Jouvenel**, Délégué Général de **Futuribles**
- **Fabien Marlin**, Digital CSR Officer / RSE Numérique Responsable, **Michelin**
- **Hacer Us**, Référente Soutenabilité de l'Innovation / Coach au **Michelin Innovation Lab**
- **Sara Boucherot**, Change maker numériques soutenables, **Octo Technology**
- **Arnaud Crétot**, Fondateur de **NeoLoco**, Co-fondateur du **collectif de la méthode TELED**
- **Clément Marche**, Co-fondateur de **Nuageo** et de **Fluctu'IT**

Ce document a été construit et rédigé par **Flora Fischer**, Directrice de mission, déléguée au numérique responsable au **Cigref**, avec la contribution de **Nicolas Schmitt**, Technology Intelligence & Sustainable IT chez **BNP Paribas**, co-pilote du groupe de travail.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	11
1 LES LOW-TECH : UN PARADIGME D'ADAPTATION FACE AUX VULNÉRABILITÉS DU NUMÉRIQUE.	13
1.1 Définition et fondements théoriques des <i>low-tech</i>	13
1.2 <i>Low-tech</i> et numérique : intérêt de la démarche pour les organisations	15
1.3 <i>Low-tech</i> et <i>high-tech</i> sont-ils compatibles ?	18
1.4 Le numérique à l'épreuve des crises : identification des scénarios prospectifs à fort impact et des risques majeurs	20
1.4.1 Le numérique, source de vulnérabilités pour les organisations	20
1.4.2 Analyse prospective : 3 scénarios de rupture à horizon 2035-2040	21
2 TROIS RISQUES À FORT IMPACT POUR LES ORGANISATIONS ET LEURS SYSTÈMES NUMÉRIQUES	24
2.1 Risque 1 : Rupture de la chaîne d'approvisionnement technologique	24
2.1.1 Présentation du risque.....	24
2.1.2 Les signaux faibles qui rendent ce risque plausible.....	24
2.1.3 Les conséquences pour les organisations et leurs systèmes numériques.....	25
2.2 Risque 2 : Instabilité économique et financière de toute la chaîne de valeur	30
2.2.1 Présentation du risque.....	30
2.2.2 Les signaux faibles qui rendent ce risque plausible.....	31
2.2.3 Les conséquences pour les organisations et leurs systèmes numériques.....	31
2.3 Risque 3 : Rationnement des usages numériques	32
2.3.1 Présentation du risque.....	32
2.3.2 Les signaux faibles qui rendent ce risque plausible.....	32
2.3.3 Les conséquences pour les organisations et leur systèmes numériques	33
3 APPORTS DES <i>LOW-TECH</i> POUR UNE RÉSILIENCE NUMÉRIQUE RENFORCÉE.....	35
3.1 Face aux ruptures d'approvisionnement et aux dépendances technologiques	35
3.1.1 Approches <i>low-tech</i> envisagées pour répondre à ce risque.....	35
3.1.2 Atouts.....	36
3.1.3 Limites.....	36
3.2 Face à l'instabilité économique et financière	37
3.2.1 Approches <i>low-tech</i> envisagées pour répondre à ce risque.....	37
3.2.2 Atouts.....	38
3.2.3 Limites.....	38
3.3 Face au rationnement et à la régulation des usages numériques	38
3.3.1 Approches <i>low-tech</i> envisagées pour répondre à ce risque.....	39

3.3.2 Atouts.....	39
3.3.3 Limites.....	40
4 ARGUMENTS DE CONVICTION : COMMENT PASSER À L'ACTE ?	43
4.1 Identifier les résistances	43
4.2 Définir des convictions et des facteurs de succès.....	43
4.3 Partager des exemples concrets	44
4.4 L'apport des <i>low-tech</i> dans la gestion de crise	48
4.4.1 En amont de la crise : réduire l'exposition et se préparer.....	48
4.4.2 Durant la crise : gérer et s'adapter	49
4.4.3 Post-crise : se relever et construire une résilience durable	50
5 BONNES PRATIQUES À L'INTENTION DES ACTEURS DU NUMÉRIQUE	53
5.1 Intégrer les <i>low-tech</i> dans la stratégie de résilience des organisations et leurs systèmes numériques	53
5.2 Développer un numérique durable par conception et une sobriété des usages	55
5.3 Investir dans les compétences <i>low-tech</i> & numériques, les valoriser et les maintenir dans le temps	55
5.4 Bâtir des écosystèmes numériques territoriaux et collaboratifs.....	56
5.5 Créer des chaînes de production simples, duplifiables et réparables.....	57
5.6 Renforcer la robustesse des systèmes par la mutualisation et la diversification.....	58
5.7 Promouvoir les biens communs, les solutions locales et l'inclusion sociale	60
CONCLUSION.....	62

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Global risks over the long term (10 years), ranked by severity, World Economic Forum Global Risks, Perception Survey 2024 - 2025.....	21
Perturbation sur la chaîne de fabrication d'un smartphone_Extrait de l'outil FabNum	28
Synthèse des criticités_Extrait de l'outil FabNum	29
Préconisations et indicateurs spécifiques_Extrait de l'outil FabNum	30
Boussole et 10 principes de soutenabilité - Michelin Innovation Lab	51
Modèle des horizons possibles à l'aune de la soutenabilité – Michelin Innovation Lab	52
Synthèse visuelle des bonnes pratiques pour intégrer l'approche <i>low tech</i> dans les organisations et leurs systèmes numériques	54

TABLE DES ENCARTS

Low-tech et grandes organisations : définition d'une stratégie à 10 ans en trois étapes.....	17
Retours d'expérience N.Schmitt, C.Danancher, E.Lucas, C. de Foucaucourt.....	17
REX FabNum	26
Identification et anticipation des vulnérabilités de la chaîne d'approvisionnement du numérique : présentation de l'outil FabNum par Stéphan Peccini	26
Retour d'expérience du Collectif de la méthode TELED	41
S'adapter à la variabilité de l'accès à l'énergie	41
Retour d'expérience ORANGE.....	46
Construire la résilience des réseaux, vers l'adaptation au changement climatique.....	46
Retour d'expérience OCTO Technology	49
Focus sur le « Disruption Game by OCTO » : un outil de sensibilisation immersif pour les clients.....	49
Retour d'expérience MICHELIN	51
Une boussole de soutenabilité pour les modèles d'affaires du futur	51
Retour d'expérience NUAGEO.....	59
Comment la robustesse sert la « <i>low technicisation</i> » des systèmes d'information ?	59

INTRODUCTION

Dans un monde confronté à la multiplication et l'accélération des crises – qu'elles soient climatiques, géopolitiques, économiques ou liées à la pénurie de ressources – la dépendance croissante aux systèmes numériques expose les organisations à des vulnérabilités significatives. Historiquement, le risque principal identifié par les entreprises résidait dans une numérisation jugée insuffisante, qui n'allait pas « assez vite, assez bien, assez loin ». Cependant, l'hyper-numérisation actuelle tend à accroître la vulnérabilité des services numériques aux risques écosystémiques, de plus en plus hétérogènes et imprévisibles. Cette évolution interroge les notions de performance et de continuité des services, et appelle à une réévaluation des stratégies d'adaptation.

C'est dans ce contexte que l'approche *low-tech* apparaît comme une voie stratégique prometteuse qui renforce la résilience numérique des organisations. Elle se définit comme une démarche de conception et d'évolution de produits, services, procédés ou systèmes visant à maximiser leur utilité sociale tout en minimisant leur impact environnemental, en cohérence avec les capacités locales et les limites planétaires. Elle repose sur une remise en question approfondie des besoins afin de ne retenir que l'essentiel, une réduction de la complexité technologique, ainsi qu'une valorisation de la maintenabilité (par le réemploi, la réparation ou la modularité). Au-delà de ses dimensions purement techniques, la démarche *low-tech* adopte une approche résolument systémique, en intégrant les enjeux économiques, organisationnels, sociaux et culturels. Proche de concepts tels que l'éco-conception ou l'économie circulaire, elle se distingue notamment par son interrogation du juste besoin, sa recherche de robustesse, l'accessibilité des compétences nécessaires à son déploiement et la promotion de l'autonomie des utilisateurs.

Il pourrait paraître à première vue audacieux, compte tenu de la nature intrinsèquement et hautement technologique des systèmes concernés, d'envisager une contribution des approches *low-tech* au secteur numérique. Toutefois, l'opposition entre « *high-tech* » et *low-tech* mérite d'être nuancée à la lumière des travaux de recherche et de la littérature émergente sur le sujet. Le numérique dans une perspective *low-tech* constitue un champ d'exploration en plein essor, porteur de réflexions prometteuses.

L'un des enjeux majeurs de ce rapport consiste à dépasser une représentation encore largement répandue, qui associe les approches *low-tech* à une régression ou à un frein au développement économique. Il est nécessaire de reconfigurer cette perception en une démarche à la fois désirable et nécessaire, en prise avec un monde caractérisé par ses contraintes et ses fluctuations. Par « fluctuation », nous entendons ici la variabilité d'événements générant une instabilité croissante et une incertitude quant à la pérennité de modèles ou d'états considérés jusqu'alors immuables.

Comment les organisations, administrations ou collectivités, traditionnellement structurées autour de modèles fondés sur des impératifs de performance à court ou moyen terme, peuvent-elles intégrer une démarche *low-tech* leur permettant de garantir la robustesse et la continuité de leurs systèmes numériques dans un environnement marqué par une incertitude croissante ?

Ce rapport explore les stratégies d'adaptation que les approches *low-tech* peuvent offrir pour renforcer la résilience numérique des organisations, administrations ou collectivités. S'appuyant sur une méthode prospective conduite avec le soutien de Futuribles¹, il identifie les menaces futures les plus plausibles susceptibles d'affecter leurs systèmes numériques, analyse les atouts et les limites des principes *low-tech* face à ces enjeux et formule enfin des recommandations opérationnelles pour leur mise en œuvre concrète.

L'un des apports majeurs issus des travaux de ce groupe de travail réside dans le positionnement de la démarche *low-tech* comme une stratégie pertinente à envisager pour faire face à un contexte marqué par des fluctuations et des risques systémiques.

¹ <https://www.futuribles.com/>

1 LES LOW-TECH : UN PARADIGME D'ADAPTATION FACE AUX VULNÉRABILITÉS DU NUMÉRIQUE

1.1 DÉFINITION ET FONDEMENTS THÉORIQUES DES LOW-TECH

La démarche *low-tech* ne fait, pour le moment, pas l'objet d'une définition normative². Selon les acteurs qui s'en saisissent et selon leur maturité, les procédés mis en œuvre varient. Toutefois, un nombre croissant d'institutions et d'associations, telles que le « *Low-Tech Lab* », l'ADEME ou La Fabrique Écologique, se sont engagées dans un travail rigoureux de clarification et de formalisation qui contribue à structurer le champ de cette notion et à en préciser les contours.

Nous proposons ici d'adopter la définition élaborée par l'ADEME, qui s'est elle-même inspirée des travaux de plusieurs acteurs de référence, afin de construire une approche fidèle et exhaustive de la démarche *low-tech*. Cette définition met en lumière les principaux enjeux qui la structurent : l'utilité sociale, le questionnement du besoin, l'accessibilité (d'usage et financière), la durabilité, l'échelle locale, ainsi que l'autonomie, rendue possible par une réduction maîtrisée de la complexité technologique :

« L'approche low-tech [...] est une démarche innovante et inventive de conception et d'évolution de produits, de services, de procédés ou de systèmes qui vise à maximiser leur utilité sociale, et dont l'impact environnemental n'excède pas les limites locales et planétaires. La démarche low-tech implique un questionnement du besoin visant à ne garder que l'essentiel, la réduction de la complexité technologique, l'entretien de ce qui existe plutôt que son remplacement. La démarche low-tech permet également au plus grand nombre d'accéder aux réponses qu'elle produit et d'en maîtriser leurs contenus. »³

L'analyse des différentes définitions proposées par les acteurs ou institutions précédemment mentionnés révèlent la récurrence de certains **concepts clés** dans la caractérisation de la démarche *low-tech* :

- **Utilité** : les *low-tech* doivent répondre à des **besoins réels** :
 - Le **besoin** est le point de départ fondamental dans la démarche *low-tech*. Il fait l'objet d'un questionnement systématique et central, visant à formuler des réponses adaptées, proportionnées et véritablement utiles. Cette approche cherche à répondre prioritairement aux « besoins essentiels » des individus et des organisations, en rupture avec une logique de création artificielle de besoins, qui s'apparentent alors plutôt à des « envies », souvent dictée par une dynamique consumériste exacerbée.

² À noter que les travaux de normalisation en cours sont plutôt axés sur l'économie circulaire, économie dans laquelle la *Low-Tech* devrait pleinement trouver sa place.

³ BLOQUEL Marianne, BONJEAN Anne-Charlotte, FANGEAT Erwann, MARRY Solène, ADEME, FORGET Astrid, FUSTEC Alan, HABE Camille, JAEGER Romain, MOIROUD Loraine, MORALES Eloïse, Goodwillmanagement, CHABOT Clément, Low-tech Lab. 2022. *État des lieux et perspectives des démarches low-tech*. Rapport - 48 pages. Disponible en ligne : <https://librairie.ademe.fr/industrie-et-production-durable/5421-demarches-low-tech.html>

- **L'utilité** constitue à la fois une caractéristique essentielle et un objectif central des démarches *low-tech*. Une solution ou un service qualifié de *low-tech* doit prouver qu'elle apporte un bénéfice concret à l'individu ou à la société, en répondant de manière optimum à des besoins fondamentaux. L'étude conduite par l'ADEME⁴ sur les démarches *low-tech* insiste sur la nécessité de maximiser l'utilité sociale des produits, services, procédés ou systèmes.
- **Accessibilité** : les solutions *low-tech* doivent pouvoir bénéficier au plus grand nombre. Cela recouvre plusieurs dimensions complémentaires :
 - **Compréhensibilité** : les solutions, services ou procédés *low-tech* doivent être facilement utilisables, modifiables ou réparables. Cette simplicité d'usage favorise la transmission des savoirs, le partage des compétences et le renforcement du lien social.
 - **Simplification fonctionnelle** : les *low-tech* se limitent volontairement aux fonctionnalités essentielles, c'est-à-dire celles qui présentent une utilité sociale avérée et répondent de manière proportionnée au juste besoin exprimé.
 - **Accessibilité financière** : afin d'être véritablement inclusives, les démarches *low-tech* doivent rester économiquement abordables, permettant ainsi une diffusion élargie et équitable des solutions proposées.
- **Durabilité** : la démarche *low-tech* se caractérise également par ses objectifs intrinsèquement durables. Qu'il s'agisse d'un objet, d'un service ou d'un procédé, sa conception vise à minimiser l'usage de ressources naturelles et à réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre. Elle intègre une réflexion sur l'empreinte environnementale à chaque étape du cycle de vie. Par nature, les solutions *low-tech* sont robustes, réparables et souvent constituées d'éléments issus du réemploi, favorisant ainsi une économie circulaire et résiliente.
- **Localité** : l'approche *low-tech* privilégie une production locale, afin de limiter les impacts environnementaux liés au transport, de renforcer les compétences territoriales et de contribuer au dynamisme socio-économique des régions. Cette orientation favorise également une meilleure maîtrise des chaînes de valeur et une adaptation plus fine aux besoins spécifiques des communautés.
- **Autonomie** : la démarche *low-tech* renforce l'autonomie des individus en rendant les objets et services accessibles, compréhensibles et modifiables, indépendamment du niveau de compétence technique. Cette capacité d'appropriation permet à chacun d'adapter les solutions à ses usages, de les réparer ou de les améliorer, tout en favorisant la réappropriation de savoir-faire et le développement de compétences pratiques.

À cette définition, nous proposons d'ajouter une dimension transversale, jugée essentielle par les participants du groupe de travail :

- **Robustesse** : indissociable de la durabilité, ce concept est défini par Olivier Hamant⁵ comme la capacité « à maintenir un système stable et viable malgré les fluctuations »⁶. Appliquée à la

⁴ Ibid

⁵ Chercheur à l'INRAE et Directeur de l'institut Michel Serres.

⁶ <https://www.2tonnes.org/post/la-robustesse-appliqu%C3%A9e-%C3%A0-l-entreprise-avec-olivier-hamant>

démarche *low-tech*, la robustesse implique que les éléments soient conçus dès l'origine pour résister dans le temps à des perturbations variées, selon la nature du service, du produit ou du système concerné (qu'il s'agisse, par exemple, de l'étanchéité d'un matériel, de sa résistance aux attaques cyber pour un service, de la mise en place de systèmes alternatifs garantissant une continuité d'activité « minimale » en cas de défaillance généralisée...).

Les systèmes numériques, en raison de leur complexité intrinsèque, sont particulièrement vulnérables. Une défaillance isolée dans un composant peut entraîner une cascade de dysfonctionnements. À l'inverse, les systèmes *low-tech*, par leur simplicité, se révèlent souvent plus robustes, plus faciles à réparer et moins dépendants de technologies de pointe parfois instables, sujettes à l'obsolescence ou difficilement accessibles. En situation de crise (pénurie de composants, coupure d'électricité), ces systèmes plus simples et accessibles à différents types de savoir-faire, sont plus susceptibles de rester opérationnels. Enfin, la robustesse est intimement liée à la **résilience**. Comme le souligne Olivier Hamant, ces deux notions sont distinctes, mais complémentaires : « *la résilience dans le champ socio-écologique est la capacité à se maintenir, à s'adapter et à se transformer dans un environnement fluctuant* », tandis que « *la robustesse crée les conditions grâce auxquelles on ne tombe pas.* »⁷ C'est en ce sens que nous affirmons que la démarche *low-tech* présente de nombreux principes pertinents pour contribuer à la résilience des dispositifs et des organisations.

Enfin, l'approche *low-tech*, telle que nous la développons dans ce rapport, intègre la **gestion des risques** : il s'agit de la probabilité d'occurrence de dommages, tenant compte des interactions entre facteurs de dégradation (aléas) et les facteurs de vulnérabilité (niveau d'impact sur l'homme, ses activités et l'environnement). Un risque peut être d'origine naturelle ou résulter de causes purement anthropiques (technologique ou géopolitique, par exemple), ou encore être lié à des éléments naturels accentués par l'action humaine (risque climatique). La mitigation et la gestion du risque se fait en jouant sur les deux volets (aléas et vulnérabilité).

C'est à l'aune de ces différents éléments que nous comprenons désormais mieux en quoi l'approche *low-tech* peut se définir comme une **stratégie de résilience proactive** des organisations et des sociétés.

1.2 LOW-TECH ET NUMÉRIQUE : INTÉRÊT DE LA DÉMARCHE POUR LES ORGANISATIONS

L'adoption des approches *low-tech* en contexte numérique peuvent présenter plusieurs avantages pour les organisations, que ce soit sur le plan économique social ou environnemental. Voici quelques bénéfices clés à garder en tête :

- Économies financières** : les solutions *low-tech* au premier abord nécessitent souvent un investissement initial ainsi que des coûts opérationnels plus importants, notamment humains. Cependant, cette augmentation doit être mise en regard des économies générées par la suppression des fonctionnalités non essentielles, l'utilisation d'infrastructures moins

⁷ <https://larobustesse.org/?PourquoiParlerDeRobustesseEtNonDeResilie>

énergivores (car technologiquement plus simples), la prolongation de durée de vie par la réparation et le réemploi. Cela permettra des économies dans un monde sous tension où les coûts des ressources stratégiques et de l'énergie augmentent.

2. **Réduction de l'impact environnemental** : en limitant l'utilisation de ressources naturelles et en privilégiant des technologies moins énergivores et plus réparables, les approches *low-tech* contribuent à la réduction des prélèvements de ressources et des émissions de gaz à effet de serre de l'organisation.
3. **Renforcement de la résilience** : les systèmes *low-tech* sont souvent plus robustes et moins vulnérables aux perturbations externes, telles que les crises géopolitiques ou les catastrophes naturelles. Ils permettent aux organisations de maintenir leurs activités essentielles même en cas de défaillance des infrastructures numériques traditionnelles.
4. **Valorisation des compétences locales** : en favorisant la production locale et la maintenabilité des équipements, les approches *low-tech* stimulent l'économie locale et créent des emplois. Elles encouragent également la transmission des savoir-faire et le développement des compétences techniques au sein des communautés.
5. **Inclusion sociale** : les solutions *low-tech* sont souvent plus accessibles et compréhensibles pour un large public. Elles permettent de réduire la fracture numérique en proposant des technologies simples et abordables, adaptées aux besoins réels des utilisateurs.

Low-tech et grandes organisations : définition d'une stratégie à 10 ans en trois étapes

Retours recueillis par N.Schmitt, C.Danancher, E.Lucas, C. de Foucaucourt

Dans le cadre d'un mémoire de formation à Polytechnique Exed « Stratège de la Transformation Durable » réalisé en 2024, nous avons interrogé les raisons pour lesquelles la démarche *low-tech* demeure principalement cantonnée au secteur associatif ou aux petites structures, ainsi que sur **l'opportunité et les modalités de son déploiement à l'échelle des grandes entreprises**. Pour éclairer ces enjeux, nous avons mené une série d'entretiens avec des acteurs de référence de la *low-tech*, des représentants d'associations telles que l'ADEME, des responsables de grandes entreprises, des cabinets de conseil et des chercheurs académiques.

Ces échanges ont permis de mettre en lumière l'intérêt de la démarche pour les grandes entreprises, sous réserve de lever certains freins majeurs :

- La difficulté d'acceptabilité de la démarche et la perception péjorative du terme *low-tech*, souvent associé à un fantasme passiste ;
- La difficulté à repenser les repères économiques et à envisager un passage à l'échelle ;
- L'inadéquation ou l'absence de cadre réglementaire adapté ;
- Une méconnaissance persistante de la démarche et de ses bénéfices potentiels.

Plusieurs facteurs de réussite ont été identifiés pour une adoption de la démarche :

- **Favoriser l'intelligence collective** : le développement des *low-tech* repose sur de nouveaux modes d'organisation impliquant l'ensemble des parties prenantes (politiques, associations, investisseurs, entreprises, citoyens) ;
- **Adopter un discours adapté** : le terme *low-tech* pouvant être dissonant en entreprise, il peut être pertinent de privilégier des notions telles que « technodiscernement » ou de mettre en avant les principes d'« Utilité, Réparabilité, Durabilité » sans nécessairement nommer la démarche ;
- **Respecter les exigences réglementaires** : les solutions *low-tech* doivent répondre aux normes en vigueur (même si parfois celles-ci peuvent être un frein) et garantir la sécurité des utilisateurs, afin d'éviter toute assimilation à des solutions « bricolées » ;
- **Assurer la performance ou la résilience** : la solution *low-tech* doit offrir un niveau de performance équivalent à la solution existante, ou bien répondre à un risque de fluctuation identifié pour maximiser son acceptabilité ;
- **Garantir la fiabilité opérationnelle** : il est essentiel de prévoir des dispositifs de maintien en condition opérationnelle, notamment via des équipes de support formées à la réparation et à la maintenance de la solution ;
- **Maîtriser les coûts** : le coût global de la solution *low-tech* doit rester acceptable, en intégrant notamment l'amortissement résiduel de la solution existante.

De manière générale, il ne s'agit pas de chercher à vouloir absolument transformer une solution existante qui a fait ses preuves, mais d'inscrire la démarche dans une stratégie de long terme

(10 ans), en anticipant les impacts des fluctuations à venir, qu'il s'agisse de l'évolution des prix ou de la disponibilité des ressources, ou encore des risques géostratégiques.

À l'issue de ce diagnostic, nous avons construit une vision : « *Rendre la démarche Low Tech acceptable et désirable dans les grandes entreprises pour permettre sa diffusion élargie auprès de leurs parties prenantes et limiter nos impacts* ».

Cette réflexion a abouti à une proposition de plan d'action d'ici à 2034 :



La création de ce groupe de travail au sein du Cigref et de l'INR a constitué la première étape concrète de ce plan ambitieux.

Caroline Danancher, Consultante Logiciels RSE chez TENNAXIA

Cécilia de Foucaucourt, Directrice RSE chez GSK France

Elisabeth Lucas, Program Manager for Group Energy chez Orange

Nicolas Schmitt, Technology Intelligence & Sustainable IT chez BNP Paribas

1.3 LOW-TECH ET HIGH-TECH SONT-ILS COMPATIBLES ?

Le discours contemporain sur l'innovation demeure largement dominé par une vision technocentrique, dans laquelle le progrès est systématiquement associé aux avancées du secteur « high-tech ». Or, cette conception réductrice mérite d'être interrogée, puisqu'en effet, l'innovation ne se limite pas à la sophistication technologique. De nombreuses innovations peuvent être faiblement technologiques, voire non technologiques, tout en générant un impact significatif.

Dans son acception fondamentale, l'innovation⁸ désigne l'introduction de nouvelles idées, méthodes, produits, services ou solutions susceptibles de produire un impact positif. Elle englobe également des approches novatrices en matière de résolution de problèmes, de processus, de pratiques organisationnelles et de modèles économiques.

Dans cette perspective, la démarche *low-tech* ne se réduit pas à une méthode alternative : elle constitue un cadre stratégique, évolutif et puissant pour répondre aux défis contemporains, dans un monde contraint par des limites de ressources et des crises multiples. En plaçant au cœur de l'innovation des principes tels que l'utilité, l'accessibilité, la durabilité ou la robustesse, les *low-tech* offrent une voie crédible pour réconcilier résilience et innovation, alternative de la (seule) sophistication technologique.

Afin d'illustrer concrètement la complémentarité possible entre innovation, « high-tech » et *low-tech*, nous proposons de passer en revue plusieurs exemples représentatifs :

- L'initiative « Jerry DIT (*Do It Together*) » est une première illustration évocatrice : cette initiative consiste à construire collectivement des équipements informatiques (ordinateurs ou serveurs) à partir de composants recyclés, assemblés dans des contenants rudimentaires tels que des barils. Elle permet de fournir un accès gratuit à l'informatique et à Internet dans des communautés peu desservies, tout en réduisant les déchets électroniques et en favorisant l'éducation des utilisateurs sur le fonctionnement des ordinateurs.
- La transformation du site Web du « *Low-tech Magazine* »⁹ constitue une illustration de l'application des principes *low-tech* au domaine des services numériques. Conçu à présent selon une architecture simplifiée (site statique, images optimisées, police de caractère par défaut...), le site a divisé par cinq le poids moyen de ses pages web par rapport à la précédente version. Il est également auto-hébergé et alimenté exclusivement par une source d'énergie solaire, couplée à une batterie de faible capacité. Ce choix implique des interruptions ponctuelles de service lors de périodes prolongées de faible ensoleillement, qui sont acceptées comme partie intégrante de la démarche. Bien que reposant sur des technologies avancées (serveurs, réseau...), cette initiative s'inscrit dans une logique de sobriété énergétique et de décentralisation. Elle illustre une stratégie *low-tech* visant à minimiser l'empreinte carbone d'un service high-tech.
- Dans le secteur public, certains services ont recours aux SMS comme canal principal de communication, ce qui les rend accessibles via des téléphones mobiles basiques ou « dumbphones ». Cet exemple met en lumière l'usage de technologies simples au service de l'accessibilité et de l'inclusion. Plutôt que d'imposer des smartphones sophistiqués et une connexion internet, cette approche privilégie des solutions bien maîtrisées, accessibles et mieux adaptées aux réalités de publics éloignés du numérique.

Au regard des exemples précédents et des finalités visées, il apparaît que les approches « high-tech » et *low-tech* peuvent cohabiter dans une dynamique de synergie. La recherche « high-tech » peut, par exemple, éclairer sur le choix des matériaux les plus pertinents et adaptés lors de conceptions *low-*

⁸ Cf. <https://www.universalis.fr/encyclopedie/innovation/>

⁹ <https://solar.lowtechmagazine.com>

tech, tandis que ces dernières peuvent orienter le développement « high-tech » vers une plus grande sobriété, durabilité et réparabilité. Le Fairphone en est un exemple éloquent, bien qu'il s'agisse d'un produit « high-tech », il a été conçu selon des principes *low-tech* (robustesse, éco-responsabilité des composants, réparabilité, modularité...).

En outre, la « high-tech » peut fournir des outils avancés, tandis que la démarche *low-tech* offre un cadre plus éthique et durable pour leur application. Loin d'être synonyme de « technologie du passé », la *low-tech* incarne une forme d'innovation lucide et responsable. En mettant l'accent sur l'efficacité, la réparabilité, la durabilité et l'accessibilité, souvent à partir de matériaux locaux et des savoir-faire adaptés, elle invite à repenser l'usage, la conception et l'impact de nos technologies afin de les rendre plus résilientes, équitables et compatibles avec les limites planétaires. Il s'agit en définitive d'une question de « bon sens » et d'équilibre. Le débat entre « high-tech » et *low-tech* constitue à ce titre une opportunité précieuse pour interroger la finalité des technologies, leurs coûts cachés (environnementaux, sociaux) et la manière dont elles peuvent être mises au service des « besoins humains fondamentaux »¹⁰ et d'une plus grande soutenabilité.

1.4 LE NUMÉRIQUE À L'ÉPREUVE DES CRISES : IDENTIFICATION DES SCÉNARIOS PROSPECTIFS À FORT IMPACT ET DES RISQUES MAJEURS

Afin d'analyser l'apport des *low-tech*, le groupe de travail a opté pour une approche fondée sur les risques, considérés comme stratégiques pour les organisations. Cette orientation méthodologique vise à renforcer la légitimité de la réflexion auprès du *Top Management* et des instances décisionnelles. Il s'agit là d'un parti pris assumé qui limite volontairement l'exploration des *low-tech* au prisme de la gestion des risques. Cette posture ne prétend toutefois pas épuiser le sujet et les démarches *low-tech* ne sauraient se réduire à des dispositifs de secours : elles portent une ambition bien plus vaste, à la fois créative et sociale, dont les dimensions ne seront que partiellement abordées dans le présent rapport.

1.4.1 LE NUMÉRIQUE, SOURCE DE VULNÉRABILITÉS POUR LES ORGANISATIONS

L'activité humaine a déjà dépassé 7 des 9 limites planétaires définies par le *Stockholm Resilience Centre*¹¹, illustrant une pression croissante sur les équilibres écologiques mondiaux. Des points de tension se cristallisent de plus en plus entre différents secteurs, dont le numérique, dépendant des mêmes ressources. Le secteur numérique, en particulier, est connu pour son utilisation de 50 à 70 substances minérales du tableau périodique des éléments¹². Il fait face à des défis majeurs liés à l'accès aux matières premières, ainsi qu'aux ressources en eau et en électricité. Dans ce contexte, les impératifs de sobriété et d'adaptation s'imposent.

Cette prise de conscience est corroborée par des analyses à l'échelle internationale, telles que celle du *World Economic Forum* en 2025¹³, qui identifie les risques environnementaux (événements

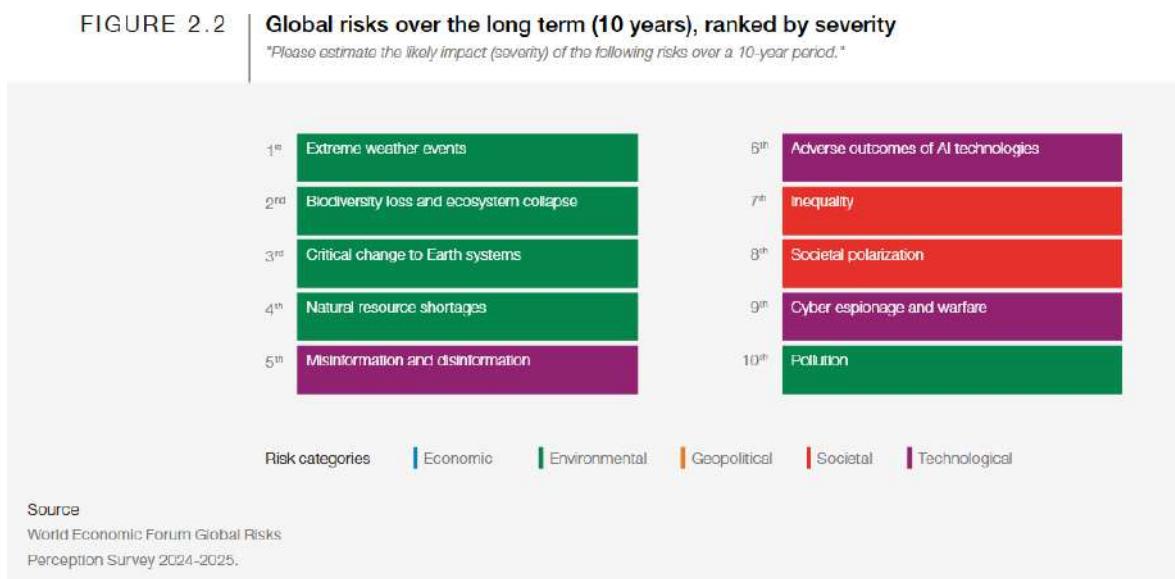
¹⁰ Déclaration universelle des droits de l'homme par les Nations Unies en 1948

¹¹ <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>

¹² <https://www.systext.org/node/1568>

¹³ https://reports.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2025.pdf

climatiques extrêmes, altération critique des systèmes terrestres, érosion de la biodiversité) comme les menaces les plus préoccupantes à l'horizon d'une décennie.



Global risks over the long term (10 years), ranked by severity, World Economic Forum Global Risks, Perception Survey 2024 - 2025

Afin d'illustrer les menaces spécifiques liées au numérique, le **groupe de travail a mené un exercice de prospective stratégique** sur trois séances, avec l'appui méthodologique du **cabinet Futuribles**, partenaire du Cigref. Cette démarche a permis d'imaginer, à un horizon de dix à quinze ans, des situations de crises majeures et récurrentes susceptibles d'affecter les organisations, les contraignant à déployer des solutions alternatives pour garantir la continuité des services. L'objectif était de confronter les approches technologiques actuelles à des scénarios de rupture plausibles afin d'en éprouver la résilience.

Les objectifs de cette démarche prospective étaient les suivants :

- Identifier trois scénarios de crise jugés probables (d'origine géopolitique, climatique, ou liée à la croissance des usages numériques et de leur coût énergétique) à partir de plusieurs facteurs de risque préalablement analysés ;
- Évaluer les forces et limites des approches *low-tech*, au temps « t_0 » de la crise, en vue d'assurer une continuité de services à court et moyen terme ;
- Analyser leur pertinence dans un fonctionnement « *business as usual* » et vis-à-vis de solutions *high-tech* ou classiques, permettant d'envisager la pertinence de leur maintien en condition opérationnelle et de leur pérennité stratégique.

Trois scénarios ont ainsi été explorés et sont présentés en détail dans la section suivante.

1.4.2 ANALYSE PROSPECTIVE : 3 SCÉNARIOS DE RUPTURE À HORIZON 2035-2040

Pour élaborer les scénarios de rupture, le groupe de travail a été invité à identifier les tendances actuelles susceptibles de rendre plausible l'émergence de certains risques, ainsi que la répercussions de ceux-ci à l'horizon de dix à quinze ans sur :

L'approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation face aux fluctuations

- l'écosystème (au sens de « parties prenantes ») de l'organisation ;
- l'organisation dans sa globalité ;
- et plus spécifiquement sur ses systèmes numériques.

L'analyse de ces scénarios et de leurs impacts sur l'organisation et ses systèmes numériques a permis d'imaginer les approches *low-tech* les plus pertinentes pour se préparer, voir affronter ce type de risques, tout en capitalisant sur ces solutions dans une perspective de long terme. Bien que les approches *low-tech* ne constituent pas l'unique réponse envisageable, elles représentent une voie encore peu explorée, porteuse d'un potentiel considérable.

- **Scénario 1 - Emballement des conflits mondiaux et rupture d'approvisionnement technologique majeur.**
 - Dans ce scénario, une crise géopolitique majeure se cristallise : l'invasion de Taïwan par la Chine provoque une interruption majeure des chaînes d'approvisionnement technologiques, notamment en raison de la position dominante de l'entreprise Taiwan Semiconductor Manufacturing (TSMC), qui concentre près de 90% de la production mondiale des semi-conducteurs les plus avancés¹⁴. Cette situation confère à la Chine un levier stratégique considérable vis-à-vis des États-Unis, tout en catalysant une nouvelle dynamique de compétition dans le domaine de l'intelligence artificielle. En réaction, les États-Unis adoptent une posture protectionniste sans précédent, recentrant leurs priorités sur les services nationaux au détriment des autres régions du monde. L'Europe, quant à elle, se retrouve dans une position de multi-dépendance, à la fois vis-à-vis des fournisseurs de services cloud américains et des équipements numériques produits en Asie, ce qui la constraint à composer avec des services numériques et d'IA dégradés.
 - Une variante complémentaire de ce scénario repose sur l'hypothèse d'une pénurie de ressources, ou d'une catastrophe naturelle de grande ampleur survenant dans une zone géopolitique stratégique, entraînant une rupture dans l'approvisionnement en composants électroniques et compromettant ainsi la capacité de production des équipements informatiques.
- **Scénario 2 - Croissance explosive des usages numériques menant à un rationnement des services numériques.**
 - Dans ce scénario, face à l'essor fulgurant de la consommation énergétique induite par les services numériques, et plus particulièrement par les intelligences artificielles génératives et agentiques, les autorités publiques ont été conduites à instaurer des mesures de restrictions sur l'usage du numérique, visant à promouvoir une utilisation plus sobre et efficiente des ressources énergétiques. Des quotas d'usage ont ainsi été définis, et les fonctionnalités numériques considérées comme non essentielles sont désormais susceptibles d'être suspendues à tout moment.
 - Parallèlement, l'aggravation des phénomènes climatiques rend les infrastructures de plus en plus vulnérables, entraînant un fonctionnement dégradé des services numériques de manière récurrente. Dans ce contexte, la régulation et la hiérarchisation des usages

¹⁴ <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/6e50d790-dc22-453f-9a8b-01fd2c457e10/files/8f24f8f4-abf1-4b5e-bc95-f3891ae98c63>

numériques sont les moyens les plus adéquats pour continuer à accéder aux services essentiels. Ces contraintes d'usage, autrefois exceptionnelles, se sont progressivement normalisées dans les pratiques.

- Enfin, un nouveau corpus réglementaire tend à durcir les exigences en matière de consommation énergétique, tout en systématisant les démarches de réemploi ou de recyclage.

- **Scénario 3 - Emballement des phénomènes climatiques.**
 - En 2035, les phénomènes climatiques sont bien plus violents et fréquents que ce qui était envisagé dans les modélisations de 2025 et ils occasionnent des dégâts à répétition sur les infrastructures (data centers, réseaux, production d'énergie, mines, usines...). Les prévisions du GIEC, en réalité très optimistes, ont sous-estimé la hausse des températures qui ont déjà atteint les + 2 °C à l'échelle mondiale sur les 8 dernières années. Les prévisions à 2100 sont désormais de + 5 à 7 °C si rien ne change en profondeur.
 - Les organisations sont très régulièrement soumises à des modes de fonctionnement dégradés impactant fortement leurs *business models*, car les ressources énergétiques et en eau sont régulièrement réorientées vers les secteurs les plus vitaux et stratégiques.
 - Les événements climatiques extrêmes et récurrents (sécheresses, inondations, tempêtes) endommagent régulièrement les infrastructures, menaçant la continuité de service, et augmentant fortement les coûts de réparation.
 - La population active est particulièrement exposée à ces conditions extrêmes, et les réactions en chaîne qui en découlent (exposition à de fortes températures, crise sanitaire due à des virus émergents...) fragilisent le moteur de l'économie mondiale.

L'élaboration collective de ces **trois scénarios prospectifs** a permis d'identifier **trois typologies de risques à fort impact** pour les organisations et leurs systèmes numériques (partie 2). L'apport des *low-tech*, comme une solution parmi d'autres, pour aider l'organisation à être plus résiliente et robuste face à ces risques sera analysé en partie 3.

2 TROIS RISQUES À FORT IMPACT POUR LES ORGANISATIONS ET LEURS SYSTÈMES NUMÉRIQUES

Les risques identifiés à partir des scénarios généraux ont été sélectionnés en raison de leur criticité notamment au regard de la dépendance accrue des organisations aux technologies numériques, ainsi que de leur forte probabilité d'occurrence. Pour chacun de ces risques, une série de signaux faibles a été recensée, permettant d'étayer et de documenter les hypothèses. Les conséquences potentielles sur les organisations et leurs systèmes numériques ont ensuite été analysées de manière détaillée.

2.1 RISQUE 1 : RUPTURE DE LA CHAÎNE D'APPROVISIONNEMENT TECHNOLOGIQUE

2.1.1 PRÉSENTATION DU RISQUE

Une crise géopolitique d'envergure, une pénurie de ressources stratégiques ou une catastrophe naturelle majeure survenant dans une région géostratégique du monde entraîne une rupture des chaînes d'approvisionnement en minerais ou composants électroniques, paralysant ainsi la production ou la distribution de tout matériel informatique.

2.1.2 LES SIGNAUX FAIBLES QUI RENDENT CE RISQUE PLAUSIBLE

Plusieurs signaux géostratégiques significatifs ont émergé ces dernières années. La crise énergétique induite par le conflit russe-ukrainien, conjuguée à une montée du protectionnisme américain (illustrée notamment par des législations comme le *CHIPS and Science Act* en 2022 visant à renforcer l'industrie nationale des semi-conducteurs pour limiter leurs dépendances), constitue un premier indicateur de la vulnérabilité des chaînes de valeur mondialisées. À cela s'ajoute le **positionnement stratégique de la coalition sino-russe en Afrique et en Amérique latine**, qui consolide son **emprise sur des métaux critiques** tels que le lithium, le tantale, le cobalt et les terres rares, tandis que les capacités de **production et de raffinage métallurgique** demeurent majoritairement concentrées **en Asie**.

L'**usage avéré des terres rares comme instrument de pression diplomatique** (comme lors de l'incident sino-japonais de 2010 autour de l'archipel des Senkaku¹⁵), ainsi que l'émergence d'une véritable « géopolitique du composant », marquée par des risques d'espionnage intégré, via des portes dérobées matérielles ou des « *kill switches* », témoignent d'une instrumentalisation croissante et sophistiquée des ressources et des technologies. À titre d'exemple, en réponse aux mesures douanières initiées par l'administration Trump courant 2025, la Chine a décidé de restreindre l'exportation de plusieurs terres rares (yttrium, scandium, lanthanides...) et métaux (indium, gallium, germanium...), essentiels à la fabrication d'équipements numériques.

Par ailleurs, la **dépendance servicielle critique de l'Europe envers les géants technologiques américains** (GAFAM), tant pour les services cloud que pour les systèmes d'exploitation et les

¹⁵ <https://www.monde-diplomatique.fr/2010/11/ZAJEC/19832>

architectures logicielles, constitue un facteur de vulnérabilité systémique. Cette fragilité est accentuée par les interruptions répétées d'exportation de terres rares venant de Chine¹⁶, et par une intensification de la course à l'armement dans le domaine de l'intelligence artificielle. Cette dynamique engendre une demande exponentielle en puces de pointe, dont la production et les compétences requises sont géographiquement et politiquement concentrées entre Taïwan, la Corée du Sud et la Chine, créant ainsi des points de rupture critiques en cas de défaillances dans les chaînes d'approvisionnement.

2.1.3 LES CONSÉQUENCES POUR LES ORGANISATIONS ET LEURS SYSTÈMES NUMÉRIQUES

Les conséquences directes se traduisent par des difficultés de renouvellement du matériel, ainsi que par une incapacité à maintenir ou à faire évoluer les infrastructures existantes. Ces ruptures entraînent une augmentation significative des coûts liés à leur maintenance, ainsi qu'une dégradation de la fiabilité des systèmes. Les dépendances critiques envers des fournisseurs uniques ou des technologies spécifiques deviennent alors des points de vulnérabilité majeurs, compromettant la continuité opérationnelle et la pérennité des organisations à long terme.

Stéphan Peccini présente, dans le REX ci-après, son outil (en *open source*) de cartographie des dépendances liées à la chaîne de fabrication du numérique, « FabNum », pertinent pour aider les organisations à comprendre et anticiper les vulnérabilités de leurs chaînes d'approvisionnement numériques.

¹⁶ <https://www.latribune.fr/economie/international/restreindre-l-export-des-terres-rares-cette-arme-de-la-chine-contre-les-etats-unis-1022909.html>

REX FabNum

Identification et anticipation des vulnérabilités de la chaîne d'approvisionnement du numérique : présentation de l'outil FabNum par Stéphan Peccini

Low tech, départ vers le passé ?

La démarche *low-tech* ne saurait être réduite à une lubie, à une régression technologique ou à une simple posture idéologique. Elle s'impose désormais comme une exigence incontournable, une condition *sine qua non* de la pérennité des activités humaines. Elle constitue un levier essentiel permettant aux entreprises, aux organisations et aux administrations de maintenir leur capacité à produire des biens et des services. Elle garantit également, pour les individus, l'accès durable aux fonctions les plus essentielles et vitales de notre société.

En se focalisant exclusivement sur la chaîne de fabrication du numérique, il apparaît que de nombreuses vulnérabilités existent, et qu'elles sont susceptibles de transformer des aléas en risques majeurs, ce qui est déjà le cas pour certaines.

Toutefois, ces vulnérabilités demeurent méconnues et ne sont que rarement intégrées dans les plans de risques globaux. Il est déjà difficile pour les entreprises de se préparer aux risques locaux (exemple de l'entreprise Porsche dont la production a été directement impactée par des inondations en Bavière à la suite d'un événement climatique extrême). Mais qu'en est-il des risques à l'échelle globale ? Quelle entreprise anticipe une inondation importante de la mine de quartz de Spruce Pine ou un blocus maritime de Taïwan, qui vont l'impacter indirectement notamment via des pénuries ?

Se préparer à des pertes de production induites par une crise climatique ou un événement géopolitique survenant à l'autre bout du monde et impactant les chaînes du numérique n'est pas encore une compréhension courante du monde contemporain. Cette lacune s'explique souvent par une méconnaissance des interdépendances systémiques, parfois par une confiance excessive dans les promesses du techno-solutionnisme.

Le projet FabNum

C'est à partir de ce constat que le projet FabNum (acronyme de Fabrication du Numérique) a vu le jour, porté à titre bénévole par Stéphan Peccini, Consultant Numérique responsable, membre du collect'IF by Infogreen Factory. Ce projet s'articule autour de trois axes :

1) Cartographie exhaustive de la chaîne de fabrication du numérique :

- Identification des acteurs intervenant à chaque étape (extraction, traitement, fabrication, assemblage) en précisant leur localisation géographique, leur rôle et leur part de marché ;
- Recensement des minerais et des métaux nécessaires à la fabrication des composants ;
- Recensement des composants nécessaires à l'assemblage du produit final.

Cette analyse aboutit à une base de données qui regroupe près de 900 acteurs répartis dans plus de 60 pays, pour extraire et traiter les minéraux, fabriquer les composants et les assembler, et pour en faire des produits finaux.

2) Élaboration de quatre indices de vulnérabilité (évaluation des probabilités et des niveaux d'impact des risques) :

- Concentration géographique ou industrielle : plus elle est élevée, plus une perturbation locale peut avoir des effets systémiques ;
- Stabilité géopolitique : une instabilité accrue augmente le risque de rupture ;
- Criticité des minéraux : plus un minéral est difficilement substituable, plus une perturbation affecte la chaîne de production ;
- Concurrence intersectorielle : une forte concurrence pour une même ressource accroît les tensions sur la chaîne de production.

3) Développement d'une application interactive :

Cette application permet de manipuler et visualiser les données, de les analyser et d'identifier les actions à mener. Elle est accessible en ligne¹⁷.

Le projet poursuit trois objectifs principaux :

- Sensibiliser aux vulnérabilités systémiques, pour comprendre leurs origines, leurs conséquences ;
- Évaluer les impacts selon des scénarios plausibles ;
- Préparer des réponses adaptées selon plusieurs axes stratégiques.

FabNum est conçu comme un bien commun, en *Open Source*, et repose sur une logique collaborative visant à améliorer la pertinence et la fiabilité des données. Bien que le mode collaboratif ne soit pas encore pleinement opérationnel, les données disponibles offrent déjà une base solide pour l'analyse, sous réserve d'une vigilance méthodologique.

Cas d'usage

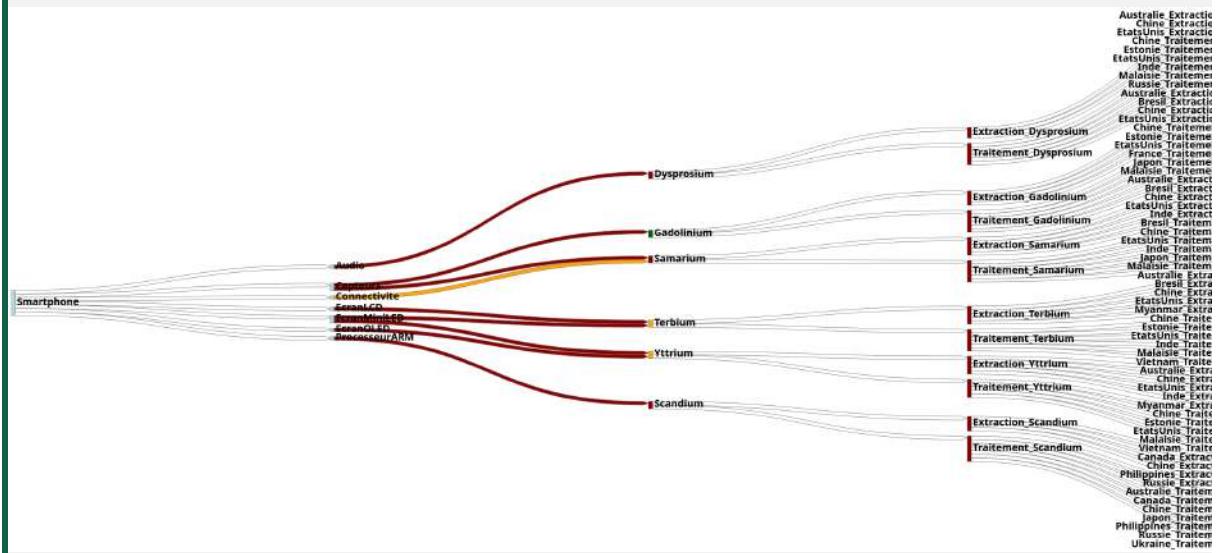
En avril 2025, la Chine a annoncé la suspension de l'exportation de plusieurs métaux critiques, principalement des terres rares, en réaction aux nouveaux tarifs douaniers imposés par l'administration Trump. Cette décision affecte directement les secteurs technologiques, automobiles, électroniques, aérospatiales et énergétiques. Le média « *Not Like The Others* » (NLTO) a relayé cette information dans son article « Métaux critiques : Pékin ferme les vannes, les chaînes de production menacées »¹⁸.

FabNum permet d'évaluer plus précisément l'ampleur et les modalités de cette perturbation sur la chaîne de fabrication du numérique.

¹⁷ <https://fabnum-maquette.polycrisis-observatory.org/>

¹⁸ <https://www.nlto.fr/metaux-critiques-pekin-ferme-les-vannes-les-chaines-de-production-menacees/>

Prenons l'exemple du smartphone :



Perturbation sur la chaîne de fabrication d'un smartphone_Extrait de l'outil FabNum

L'analyse du graphe nous donne les informations suivantes :

- Tous les minéraux sont difficilement substituables, sauf le samarium pour la connectivité.
 - Le dysprosium, le samarium et le scandium sont en très forte concurrence avec d'autres secteurs.
 - Les opérations d'extraction et de traitement de l'ensemble des minéraux présentent une très forte concentration géographique, voire industrielle.
 - La Chine est modérément instable.

En conclusion, une rupture longue de ces minéraux mettrait en réelle difficulté la filière du smartphone.

On peut aussi identifier tous les chemins critiques et les niveaux de vulnérabilités :

Panneau de sélection

Produit: Smartphone
Composant: Audio
Minéral: Dysprosium

Top chaînes critiques pour sélection rapide

- Smartphone ↔ Processeur ARM ↔ Scandium : 6.00 → Critique
- Smartphone ↔ Audio ↔ Dysprosium : 6.00 → Critique
- Smartphone ↔ Écran LCD/TFT ↔ Terbium : 6.00 → Critique
- Smartphone ↔ Écran OLED ↔ Yttrium : 5.25 → Elevée
- Smartphone ↔ Connectivité ↔ Samarium : 5.00 → Elevée
- Smartphone ↔ Capteurs ↔ Samarium : 5.00 → Elevée
- Smartphone ↔ Écran Mini et Micro LED ↔ Yttrium : 5.00 → Elevée
- Smartphone ↔ Écran Mini et Micro LED ↔ Terbium : 5.00 → Elevée

Synthèse des criticités

- Smartphone - Assemblage : Rouge (6)
- Audio - Fabrication : Rouge (6)
- Dysprosium - Traitement : Rouge (6)
- Dysprosium - Extraction : Rouge (6)
- Dysprosium - Minéral : Rouge (6)

Criticité globale : Critique (6.0)

Synthèse des criticités_Extrait de l'outil FabNum

Et finalement, en fonction du niveau de criticité, des actions et des indicateurs sont proposés :

Préconisations et indicateurs spécifiques - Assemblage

Assemblage → Smartphone**Préconisations :**

Mise en œuvre :

- **Facile**
 - Allonger la rotation des stocks de produits finis (en aval) pour amortir un retard de 2 semaines.
 - Mettre en place un plan de re-déploiement du personnel sur d'autres lignes en cas de rupture composant.
- **Modérée**
 - Avoir un site d'assemblage secondaire (low-volume) dans une région verte, testé tous les 6 mois.
 - Segmenter les nomenclatures : version « premium » avec composant haut de gamme, version « fallback » avec composant moins critique.
- **Difficile**
 - Investir dans une plateforme d'assemblage flexible (robots modulaires) capable de basculer vers un composant de substitution en < 72 h.
 - Signer un accord gouvernemental pour un soutien logistique prioritaire (corridor aérien dédié) en cas de crise géopolitique.
 - Mettre en place des contrats à long terme avec des clauses de garantie d'approvisionnement

Indicateurs :

Mise en œuvre :

- **Facile**
 - Jours de produits finis en entrepôt.
 - Temps de retouche ligne en cas de rupture (heures).
- **Modérée**
 - Volume annuel produit sur le site de secours (%).
 - Temps de requalification d'une ligne vers la version « fallback ».
- **Difficile**
 - Taux d'automatisation reconfigurable (%) machines modulaires).
 - Nb d'heures du corridor aérien prioritaire utilisé vs capacité.

Préconisations et indicateurs spécifiques_Extrait de l'outil FabNum

En fonction de la nature de son activité, l'entreprise procédera à la mise en œuvre des mesures identifiées ou sollicitera leur mise en œuvre auprès de ses fournisseurs.

Stéphan Peccini, Consultant Numérique responsable,
membre du collect'IF by Infogreen Factory et créateur de FabNum

2.2 RISQUE 2 : INSTABILITÉ ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE DE TOUTE LA CHAÎNE DE VALEUR

2.2.1 PRÉSENTATION DU RISQUE

L'instabilité croissante des approvisionnements, les interruptions de production induites par des phénomènes climatiques ou crises géopolitiques, ainsi que l'augmentation continue des coûts liés à la gestion de crise, fragilisent l'ensemble de la chaîne de valeur des organisations. Le marché numérique

L'approche low-tech au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation face aux fluctuations

est plus onéreux et instable. Dans ce contexte, la valeur générée par les technologies numériques peut s'avérer insuffisante au regard des surcoûts nécessaires à leur maintenance et leur sécurisation, exposant les entreprises à des risques de faillites en cascade et à une perte de confiance des investisseurs.

2.2.2 LES SIGNAUX FAIBLES QUI RENDENT CE RISQUE PLAUSIBLE

Parmi les signaux faibles rendant ce risque plausible, on observe une **volatilité accrue des prix des matières premières et de l'énergie**, avec une tendance nettement à la hausse sur les 5 dernières années. Cela impacte directement les coûts de production et d'exploitation des infrastructures numériques. Il suffit d'observer la rupture structurelle qui agite le marché des semi-conducteurs en ce début 2026¹⁹ : la priorité massive accordée à la production de puces pour l'intelligence artificielle a provoqué une **envolée historique des prix de la mémoire vive** (hausse de +40% à +60% pour la mémoire RAM par rapport à 2025), couplée à un allongement des délais d'approvisionnement. Cette crise fragilise l'ensemble de l'économie numérique en renchérisant brutalement le coût des équipements informatiques et, par effet de cascade, des services cloud pour les professionnels et les particuliers. Ainsi, les tensions inflationnistes à l'échelle mondiale, combinées aux ruptures d'approvisionnement, **exercent une pression sans précédent sur les budgets des directions numériques** qui voient leurs charges exploser. Rappelons que la concentration de la production de semi-conducteurs par quelques entreprises (à Taïwan et en Corée du Sud notamment) représente un point de vulnérabilité critique pour l'approvisionnement mondial en matériel informatique, accentuant les risques de pénurie et de flambée des prix. À cela s'ajoute le coût de la cybersécurité qui s'impose désormais comme un poste de dépense majeur et en constante augmentation. Enfin, les évolutions climatiques et la recrudescence des catastrophes naturelles remettent en question la notion même d'assurabilité des biens et des personnes, réduisant les protections sociales et la capacité des entreprises à se prémunir contre les risques.

2.2.3 LES CONSÉQUENCES POUR LES ORGANISATIONS ET LEURS SYSTÈMES NUMÉRIQUES

Pour les organisations, les conséquences se traduisent par une exigence accrue en matière de retour sur investissement (ROI) pour chaque solution numérique déployée, par une explosion des coûts liés à l'usage des technologies numériques, ainsi que par un questionnement profond sur la pertinence réelle des gains de productivité que celles-ci sont censées apporter. Les services numériques de qualité pourraient, à terme, devenir un privilège réservé aux entreprises disposant de ressources financières importantes. **L'imbrication excessive de l'intelligence artificielle dans les processus métiers** représente un **facteur supplémentaire de vulnérabilité** : les organisations risquent une perte significative de savoir-faire interne, pouvant conduire à des faillites en chaîne pour celles devenues totalement dépendantes de dispositifs d'intelligence artificielle. Du point de vue des systèmes numériques, cette fragilité se manifeste par une perte de fiabilité liée à des interruptions fréquentes d'accès aux services, par des plans de continuité et de reprise d'activité (PCA/PRA) insuffisants face à des crises prolongées ou concomitantes, et par la nécessité pour les DSI de demain de concevoir des

¹⁹ <https://www.usinenouvelle.com/electronique-informatique/semi-conducteurs/on-ne-pas-encaisser-ca-tout-seul-comment-l-explosion-des-prix-des-composants-memoire-touche-aussi-les-entreprises-francaises.NI6RA4NFSZCOLPR2O2J3MGS3ZI.html>

alternatives opérationnelles capables de « doubler » tous leurs services numériques essentiels avec des processus de secours.

2.3 RISQUE 3 : RATIONNEMENT DES USAGES NUMÉRIQUES

2.3.1 PRÉSENTATION DU RISQUE

Face à l'explosion de la consommation énergétique et aux risques accrus de délestage, les pouvoirs publics sont contraints de mettre en place des mesures de rationnement et de régulation strictes des usages numériques. Des quotas d'utilisation ont été instaurés et les fonctionnalités ou services numériques jugés non essentiels peuvent désormais être suspendus à tout moment, en fonction des priorités énergétiques définies par les autorités.

2.3.2 LES SIGNAUX FAIBLES QUI RENDENT CE RISQUE PLAUSIBLE

Plusieurs signaux faibles convergent pour attester de la plausibilité de ce risque. Rappelons tout d'abord que l'étude conjointe de l'ADEME et de l'Arcep publiée en 2022 révèle la part réelle des data centers dans l'empreinte carbone du numérique (passant de 16% en 2020 à 46% en 2022), incluant désormais l'impact des data centers à l'étranger hébergeant des usages français.

Au sein de certains États membres de l'Union Européenne tels que l'Irlande ou l'Espagne, des interdictions de construire de nouveaux data centers se concrétisent, ainsi que des projets de réglementation à l'échelle européenne visant à encadrer leur consommation énergétique. Ces interdictions répondent également positivement aux mobilisations citoyennes qui se multiplient contre l'installation de data centers.

Par ailleurs, selon les prévisions du cabinet Gartner, **les pénuries d'électricité pourraient impacter jusqu'à 40% des data centers dédiés à l'intelligence artificielle** et limiter leurs opérations d'ici à 2027. La perturbation des réseaux électriques américains²⁰ ou irlandais²¹ par certains Giga data centers est un autre signe avant-coureur des difficultés qui vont se poser en termes de viabilité des infrastructures. Par ailleurs, les réseaux électriques, parfois vétustes, ne sont pas toujours adaptés aux particularités des data centers spécialisés dans l'IA (occasionnant régulièrement de fortes fluctuations de tension sur le réseau électrique).

En France, l'article 15 de la loi de simplification de la vie économique prévoit de qualifier les projets d'installation de data centers de grande envergure ou « *hyperscale* » de « projets d'intérêt national majeurs », leur permettant potentiellement d'échapper aux restrictions liées à l'usage de l'eau, illustrant ainsi les tensions grandissantes autour des ressources.

L'essor fulgurant de l'intelligence artificielle dans tous les secteurs (économie, infrastructures, domotique, industrie d'armement ou automobile...) conjugué aux plans d'investissements massifs

²⁰ [https://next.ink/brief_article/aux-etats-unis-la-croissance-des-data-centers-pourrait-perturber-le-reseau-electrique/#:~:text=Flux%20RSS-,Aux%C2%A9lectrique&text=Plus%20des%20trois%20quarts%20des,80%20km\)%20de%20data%20centers](https://next.ink/brief_article/aux-etats-unis-la-croissance-des-data-centers-pourrait-perturber-le-reseau-electrique/#:~:text=Flux%20RSS-,Aux%C2%A9lectrique&text=Plus%20des%20trois%20quarts%20des,80%20km)%20de%20data%20centers)

²¹ <https://www.rts.ch/info/monde/2024/article/en-irlande-la-proliferation-de-data-centers-genere-des-risques-nouveaux-28462211.html>

dans les data centers, intensifient la demande énergétique et accroît le risque de rationnement. Dans ce contexte, les géants du numérique tendent à devenir de véritables acteurs du système énergétique²², mobilisant des moyens colossaux dans les technologies nucléaires, notamment les petits réacteurs modulaires (*small modular reactor*), installés à proximité de leurs infrastructures. Cette évolution soulève des **risques de concentration monopolistiques et de conflits d'usage entre intérêts privés et intérêts collectifs et publics.**

2.3.3 LES CONSÉQUENCES POUR LES ORGANISATIONS ET LEUR SYSTÈMES NUMÉRIQUES

Si un rationnement des usages numériques venait à se produire, les conséquences pour les organisations et leurs systèmes numériques seraient très probablement significatives : nous pourrions par exemple observer des **interruptions fréquentes des outils de communication**, accompagnées d'une déstabilisation des systèmes de sécurité critiques, avec des répercussions particulièrement sévères pour les secteurs sensibles tels que la santé, la distribution d'électricité ou les transports dont le fonctionnement repose sur une connectivité permanente. La **résilience des réseaux** de télécommunication serait alors profondément remise en question, imposant une réévaluation stratégique des services numériques devant impérativement rester connectés. Dans ce contexte, l'**intermittence deviendrait la norme** pour de nombreux services, bouleversant les standards de disponibilité auxquels les organisations sont habituées.

Des dispositifs législatifs encadrant les usages numériques deviendraient inévitables, possiblement accompagnés de conventions citoyennes visant à statuer sur l'allocation des ressources et à définir démocratiquement les « **usages prioritaires** ». L'hypothèse de l'émergence de conflits sociaux violents autour de l'accès aux ressources vitales telles que l'eau ou l'électricité, ainsi que celle de sabotages ciblés d'infrastructures numériques par des groupes activistes, apparaît désormais crédible au regard des tensions croissantes entre impératifs collectifs et intérêts privés.

Une augmentation généralisée des **coûts liés à l'usage du numérique et de l'énergie** entraînerait l'émergence d'une **économie numérique à deux vitesses** : d'un côté, des acteurs disposant des moyens nécessaires pour garantir à leurs clients un accès prioritaire et résilient aux services numériques ; de l'autre, une majorité d'entreprises confrontées à des services dégradés, instables et onéreux compromettant leur compétitivité. Il deviendrait impératif de réviser les offres commerciales afin de les adapter aux contraintes nouvelles, liées aux restrictions d'usage et à l'intermittence des services.

Par ailleurs, si les services numériques de haute qualité se transformaient effectivement en produits de luxe, alors le déploiement de stratégies de résilience, reposant notamment sur le maintien de **processus non numériques robustes** en parallèle des systèmes informatisés, s'imposerait comme une nécessité.

Une gouvernance rigoureuse imposerait une hiérarchisation stricte des services numériques, accompagnée de la suppression des fonctionnalités jugées « de confort » ou excessivement énergivores. Les Plans de Continuité et de Reprise d'Activité (PCA/PRA) actuels, souvent conçus pour

²² <https://www.techniques-ingénieur.fr/actualite/articles/les-geants-du-numérique-achetent-leur-autonomie-énergétique-143553/>

répondre à des pannes localisées et de courte durée, se révéleraient inadaptés à des crises systémiques et prolongées affectant les ressources.

Enfin, les interruptions fréquentes d'accès aux services numériques **éroderaient la confiance des utilisateurs et des clients**. Le maintien du télétravail à grande échelle, fortement dépendant d'une connectivité fiable et performante, deviendrait problématique, voire réservé à une minorité privilégiée.

En conclusion, il paraît clairement que la description de ces risques ne relève plus de la seule spéulation prospective, mais **reflète des réalités déjà observables**. Les tensions géopolitiques actuelles s'accompagnent de pratiques explicites de menaces, parfois mises à exécution, de ruptures d'approvisionnement en ressources et minerais essentiels à certaines industries, notamment numériques, ou encore de perturbations des moyens de communication (ruptures de câbles sous-marins, en particulier en Mer du Nord). Par ailleurs, l'essor de l'intelligence artificielle générative **met à l'épreuve nos capacités énergétiques** tandis que l'intensification des phénomènes climatiques extrêmes s'impose comme une donnée tangible du quotidien, fragilisant près d'un quart des data centers dans le monde d'ici à 2050, selon une étude du cabinet XDI²³.

À travers l'analyse des signaux faibles les plus saillants de notre époque, nous avons cherché à illustrer les points de rupture les plus radicaux susceptibles de survenir. La démarche prospective adoptée a ainsi permis, à partir de l'identification de tendances lourdes, d'imaginer des scénarios de rupture totale sur un ou plusieurs aspects de ces signaux faibles, afin de mettre en lumière des conséquences particulièrement graves pour les organisations et leurs systèmes numériques si aucune préparation adéquate n'est engagée. Il convient désormais de s'intéresser plus en détail aux atouts et aux limites des principes *low-tech* face à ces enjeux.

²³ <https://xdi.systems/news/global-data-centres-face-rising-climate-risks-xdi-report-warns-landmark-analysis-of-nearly-9000-sites-reveals-escalating-threat-to-digital-infrastructure>

3 APPORTS DES *LOW-TECH* POUR UNE RÉSILIENCE NUMÉRIQUE RENFORCÉE

Cette première étape de réflexion, centrée sur l'identification de trois scénarios prospectifs et des risques majeurs qu'ils pourraient faire peser sur les organisations et leurs systèmes numériques à l'horizon 2035-2040, a permis de dégager des enseignements précieux sur une approche *low-tech* originale en matière de résilience numérique des organisations. Elle a aussi permis d'en souligner les limites structurelles et conceptuelles.

3.1 FACE AUX RUPTURES D'APPROVISIONNEMENT ET AUX DÉPENDANCES TECHNOLOGIQUES

Rappel du risque : Une crise géopolitique d'envergure, une pénurie de ressources stratégiques ou une catastrophe naturelle majeure survenant dans une région géostratégique du monde entraîne une rupture des chaînes d'approvisionnement en minerais ou composants électroniques, paralysant ainsi la production de tout matériel informatique. De telles circonstances engendrent des perturbations significatives et des instabilités sur les réseaux énergétiques.

3.1.1 APPROCHES *LOW-TECH* ENVISAGÉES POUR RÉPONDRE À CE RISQUE

Face à ce type de risques, plusieurs approches *low-tech* sont envisagées afin de renforcer la résilience numérique des organisations :

Premièrement, il est essentiel de **développer des compétences adaptées** à un contexte de crise : des savoir-faire en diagnostic et en réparation des équipements sont essentiels, qu'il s'agisse de micro-électronique ou de systèmes d'exploitation (OS) durcis. Pour répondre à cette exigence, le renforcement des filières de formation en électronique s'impose, afin de soutenir le développement de compétences en production et réassemblage de composants, favorisant ainsi des pratiques « d'*upcycling* »²⁴. L'anticipation de la formation et le maintien en compétences de personnes à l'échelle territoriale sont cruciaux pour assurer un maillage efficace des expertises.

Deuxièmement, la mise en place de **chaînes structurées de réassemblage et de récupération des composants électroniques** des équipements est préconisée. Cette démarche nécessite l'établissement de standards industriels (type ISO) encadrant par exemple les pratiques d'*upcycling*, ainsi que l'industrialisation de la production de puces électroniques réassemblables. L'objectif est de permettre la constitution de nouveaux systèmes numériques par réutilisation, en évitant le recours systématique à des solutions « tout-en-un ».

Troisièmement, le déploiement de **réseaux parallèles et durcis** pourrait être envisagé, notamment via l'utilisation des infrastructures LoRa (*Long Range* – Longue Portée) sur smartphone, permettant d'assurer des communications minimales en cas de crise. Le recours à des moyens de communication

²⁴ Contrairement au recyclage qui décompose les matériaux, l'*upcycling* réutilise tel quel, ou avec des modifications minimales, le matériau pour lui donner une nouvelle fonction. On peut ainsi recomposer un appareil électronique à partir de composants d'anciennes tablettes, ou transformer celles-ci en simples écrans.

alternatifs de type VHF (*Very High Frequency*) à portée limitée ou BLU (Bande Latérale Unique) pour les services essentiels (sécurité, santé, ...) constitue également une option pertinente. Le réseau BLU présente des avantages en matière d'optimisation énergétique et de portée, tout en permettant la conception d'émetteurs-récepteurs réparables, et moins dépendants de chaînes d'approvisionnement complexes.

Enfin, le **développement de systèmes d'exploitation (OS) durcis et allégés** est recommandé. Ces OS doivent conjuguer une sécurité renforcée, une sobriété en énergie et en ressources, tout en ne garantissant que la conservation des fonctionnalités essentielles. Cela passe à la fois par la suppression de composants et de fonctionnalités non essentielles à la fonction principale de l'OS, par une optimisation du code, par la conception d'interfaces graphiques basiques et par une réduction du nombre de composants dans les terminaux afin d'améliorer la stabilité du système. La conception et le maintien opérationnel de ces OS pourraient être « localisés », avec une répartition territoriale des compétences, et une interopérabilité minimale centrée sur les fonctions de base.

3.1.2 ATOUTS

Ces différents exemples d'approches *low-tech* présentent plusieurs avantages.

Sur le plan social et éducatif, elles favorisent l'ancrage territorial des savoirs et des compétences. À l'échelle des organisations, elles permettent de renforcer l'autonomie vis-à-vis des parties prenantes extérieures, hors France ou Union Européenne, d'améliorer la résilience des systèmes, de maîtriser les coûts et de limiter l'obsolescence.

Pour les systèmes numériques, ces approches se traduisent par une robustesse accrue, un allongement de la durée de vie des infrastructures et des équipements électroniques, et par une capacité renforcée à restaurer rapidement les réseaux et infrastructures en cas de crise. Elles peuvent également stimuler l'émergence de nouveaux modèles économiques et favoriser la création d'emplois, notamment dans le domaine de l'industrialisation des chaînes de récupération des composants, du rassemblage et de l'*upcycling*.

Concernant spécifiquement les systèmes d'exploitation (OS) durcis et allégés, ceux-ci permettent une meilleure maîtrise du code, une réduction des coûts d'acquisition, une diminution de la vulnérabilité aux cyberattaques (la réduction de fonctionnalités superflues permettant de réduire les surfaces d'attaques). De plus, ils sont conçus pour fonctionner sur du matériel ancien ou peu performant, tout en favorisant la normalisation et l'interopérabilité.

Enfin, le développement de **réseaux parallèles et durcis**, tels que les infrastructures LoRa ou de la communication par VHF ou BLU pour les services essentiels, garantit une capacité minimale de communication, une décentralisation des usages, et une meilleure aptitude à faire face aux crises imprévues, permettant ainsi d'assurer la continuité de service pour les informations essentielles, voire vitales.

3.1.3 LIMITES

Quelques limites à ces approches peuvent cependant être pointées. Sur le plan des compétences, il paraît complexe d'obtenir des retours sur investissement (ROI) rapides en matière de formation, dans

la mesure où le marché de la *low-tech* demeure encore émergent. Par ailleurs, l'intérêt suscité par ces compétences pourrait être limité chez les jeunes générations, tandis que les organisations elles-mêmes pourraient ne pas les valoriser à leur juste mesure. Cela risquerait de réduire l'attractivité de ces métiers ainsi que les perspectives d'évolution professionnelle qui y sont associées.

En ce qui concerne les systèmes d'exploitation (OS) durcis et allégés, les coûts de support et de maintenance peuvent s'avérer élevés, notamment en raison d'un effet d'échelle moindre (qui n'est pas forcément une fatalité, si une solution commune modulable est privilégiée pour les services publics par exemple). Des incertitudes subsistent également quant à la gouvernance de la propriété de ces systèmes, et l'intervention opportuniste d'un *hyperscaler* qui pourrait réintroduire des dynamiques de dépendance.

S'agissant des réseaux parallèles et durcis, ceux-ci impliquent également des investissements conséquents, tant pour leur déploiement que pour leur maintenance, notamment en raison de la nécessité de tester régulièrement leur résilience opérationnelle afin de prévenir les défaillances latentes. L'auto administration décentralisée peut également rendre les attaques plus complexes à déjouer. Les interférences VHF sont courantes et les ondes faciles à intercepter. Ces réseaux posent également des défis techniques en matière d'interopérabilité (avec une bande passante souvent réduite) ou des limites en termes de portée (courte / moyenne distance) et nécessitent la production à grande échelle de nouveaux terminaux capables de fonctionner sans connexion.

3.2 FACE À L'INSTABILITÉ ÉCONOMIQUE ET FINANCIÈRE

Rappel du risque : *L'instabilité croissante des approvisionnements, les interruptions de production induites par des phénomènes climatiques, ainsi que l'augmentation continue des coûts liés à la gestion de crise, fragilisent l'ensemble de la chaîne de valeur des organisations. Le marché numérique est plus onéreux et instable, en raison notamment de la raréfaction de certains matériaux ou ressources stratégiques. Dans ce contexte, la valeur générée par les technologies numériques peut s'avérer insuffisante au regard des surcoûts nécessaires à leur maintenance et leur sécurisation, exposant les entreprises à des risques de faillites en cascade et à une perte de confiance des investisseurs.*

3.2.1 APPROCHES LOW-TECH ENVISAGÉES POUR RÉPONDRE À CE RISQUE

Les approches *low-tech* trouvent légitimement leur place au sein du Plan de Continuité d'Activité (PCA). Les participants ont ainsi imaginé un « **Plan de Continuité d'Activité (PCA) low-tech** », intégrant notamment la gestion des plages horaires d'ouverture et de fermeture des services numériques. Ils ont également envisagé la **préparation de processus de secours opérables en mode manuel**, c'est-à-dire activables indépendamment des outils numériques, ainsi que le maintien d'une « **doublure** » des **processus**, (automatisée et manuelle). Afin qu'une organisation soit toujours capable d'exécuter ses processus essentiels manuellement, il est nécessaire qu'elle active ce dispositif régulièrement pour préserver la maîtrise opérationnelle et les compétences associées. Ces pratiques, qui visent à renforcer la robustesse des systèmes en limitant le recours aux ressources technologiques dans la conception de services numériques, permettent ainsi de répondre à l'exigence de faire « **aussi bien** » avec « **moins** ». Cela implique de faire une **analyse fine des usages** pour éliminer ce qui est superflu, concevoir des

alternatives non numériques ou « moins numériques », et **simplifier les architectures**, toujours dans l'objectif de limiter la dépendance aux matériaux critiques ou à des acteurs soumis à des enjeux géopolitiques forts.

3.2.2 ATOUTS

Les atouts des approches *low-tech* décrites ci-dessus sont d'ordre opérationnels et stratégiques : en déployant des solutions et méthodes abordables, simples et diversifiées, celles-ci favorisent l'inclusion sociale et la stabilité à long terme des organisations.

Dans le cadre d'un « **Plan de Continuité d'Activité (PCA) low-tech** », ces démarches permettent de préserver une meilleure connaissance des activités et des savoir-faire, tout en offrant une capacité d'adaptation accrue aux fluctuations. Un PCA fondé sur des principes *low-tech* présente l'avantage d'être moins onéreux à long terme qu'un dispositif « *high-tech* », en raison de sa simplicité et de sa facilité d'appropriation. Il peut également constituer une première étape de transition progressive vers des pratiques *low-tech* dans une organisation, facilitant ainsi l'acculturation des parties prenantes.

Les **alternatives non-numériques** favorisent l'inclusion sociale, simplifient les usages et contribuent à la revalorisation des compétences manuelles.

La **diversification des solutions et services numériques**, conjuguée à l'exploration de voies alternatives, renforce à la fois la robustesse et la stabilité organisationnelle sur le long terme des systèmes numériques.

3.2.3 LIMITES

Un Plan de Continuité d'Activité (PCA) fondé sur les principes *low-tech* peut cependant présenter certaines limites en matière de performance et d'efficience. La **coexistence de deux systèmes parallèles** (l'un numérique, l'autre manuel) complexifie les opérations de maintenance et requiert un accompagnement rigoureux de toutes les parties prenantes. De manière générale, la gestion des systèmes *low-tech* peut s'avérer plus contraignante et onéreuse à court terme, bien qu'elle contribue à une stabilité accrue sur le long terme, notamment en période de crise. Cette situation met en exergue les injonctions contradictoires entre le court terme et le long terme, qui demeurent largement irrésolues.

3.3 FACE AU RATIONNEMENT ET À LA RÉGULATION DES USAGES NUMÉRIQUES

Rappel du risque : Face à l'explosion de la consommation énergétique et aux risques accrus de délestage, les pouvoirs publics sont contraints de mettre en place des mesures de rationnement et de régulation stricte des usages numériques. Des quotas d'utilisation ont été instaurés et les fonctionnalités ou les services numériques jugés non essentiels peuvent désormais être suspendus à tout moment, en fonction des priorités énergétiques définies par les autorités.

3.3.1 APPROCHES *LOW-TECH* ENVISAGÉES POUR RÉPONDRE À CE RISQUE

Afin de répondre à ce risque, les approches *low-tech* proposées par les participants s'articulent principalement autour du **développement des biens communs** (au travers par exemple de l'*open source*) et de la **colocalisation des capacités de production et de maintenance**.

Ces initiatives incluent notamment la **mobilisation de structures locales telles que les « Fab Labs » ou « Repair Cafés**, qui offrent des ateliers de fabrication et de réparation, ainsi que la mise en œuvre d'outils pédagogiques simples destinés à diffuser la culture *low-tech*. La création de plateformes ou de catalogues, recensant les alternatives *low-tech* applicables aux services métiers, est également envisageable.

Une autre approche majeure consiste à **réaffirmer la place de l'humain** dans les interactions, en substituant les dispositifs numériques dans certaines fonctions de confort (telles que les *chatbots* ou les bornes d'information automatisées) par des relations humaines directes.

Parmi les propositions complémentaires figurent la réintroduction de supports papier dans les secteurs de l'administration, de la santé, de la banque et du commerce, ainsi que le recours aux « *dumb phones* », au téléphone fixe, ou encore le maintien du réseau cuivré. La **mutualisation des moyens entre acteurs** d'un même secteur pour des services similaires, est également essentielle.

Le **renforcement des filières territoriales de recyclage et de reconditionnement**, la création d'un indice « **d'auto-réparabilité** » lors de l'achat de matériels, ainsi que le renforcement de **l'éducation populaire** aux pratiques numériques et *low-tech* sont également plébiscités. Dans ce contexte, il est nécessaire de créer et consolider des chaînes de production simples, reproductibles et réparables, et de privilégier l'usage de composants électroniques standards, interopérables et facilement accessibles et compréhensibles pour le grand public.

Enfin, la **méthode TELED** (pour « Tâches Essentielles Lorsque l'Énergie est Disponible »), présentée lors d'un atelier par **Arnaud Crétot**, fondateur de NeoLoco et cofondateur du collectif de la méthode TELED, pourrait constituer un levier pertinent pour **adapter les organisations à la variabilité de l'accès en énergie**.

3.3.2 ATOUTS

Les atouts des approches *low-tech* sont multiples face à ce risque. Le développement des biens communs et locaux permet de structurer des **approches à la fois mobilisatrices et émancipatrices**, en déplaçant les centres de production pour les rapprocher des lieux d'utilisation finale des produits. Cette relocalisation favorise la **conservation, sur le territoire, des compétences associées à la maintenance et à la réparation** des outils.

Ces approches facilitent une **innovation fondée sur la coopération** plutôt que sur la seule logique concurrentielle, tout en contribuant à l'émergence d'une culture technique accessible. Elles permettent aux citoyens de se réapproprier des outils technologiques simples et de mobiliser des savoirs, renforçant ainsi leur autonomie. Par ailleurs, elles contribuent à la création de **bases de connaissances partagées**, promouvant les principes de la culture « *open source* » et de « *l'open hardware* » appliquées aux approches *low-tech*.

La mise en place de chaînes de production simples, reproductibles et réparables simplifie le recyclage et le reconditionnement, freine « l'innovation jetable » et l'obsolescence programmée, le tout en réduisant la dépendance stratégique à l'égard d'acteurs externes. Elle favorise une intensification des interactions entre différents acteurs.

Enfin, le renforcement des liens humains et territoriaux entre les personnes impliquées favorise la résilience sociétale en valorisant les pratiques d'entraide. Il participe à la revalorisation des métiers et des savoir-faire, tout en accroissant la confiance dans les services proposés.

3.3.3 LIMITES

Les approches *low-tech* demeurent toutefois aujourd'hui très marginales et nécessitent des soutiens financiers significatifs pour favoriser la recherche, la formation et les investissements indispensables à leur développement. L'absence d'économie d'échelle dans le processus de production constitue un frein supplémentaire, tout comme la nécessité de garantir la conformité avec les normes de sécurité applicables à la protection des personnes.

Par ailleurs, le risque d'émettement des initiatives et les disparités territoriales appellent à renforcer la coordination sans laquelle ces démarches pourraient perdre en efficacité, voir devenir contre-productives. La suppression de certains services numériques relevant du confort peut entraîner un phénomène de repli sur soi ou de communautarisme, nuisant à la cohésion sociale.

Enfin, ces transformations induisent des coûts organisationnels non négligeables, et nécessitent des investissements ciblés dans l'adaptation des processus métiers ainsi que dans le renforcement de la sécurité des processus hybrides, combinant interventions humaines et solutions numériques.

Retour d'expérience du Collectif de la méthode TELED

S'adapter à la variabilité de l'accès à l'énergie

La **méthode TELED**, initialement acronyme de « Tâches Énergivores Lorsque l'Énergie est Disponible » a évolué pour désigner « **Tâches Essentielles Lorsque l'Énergie est Disponible** ». Elle a été co-fondée par **Arnaud Crétot**, ingénieur informaticien spécialisé sur les enjeux énergétiques et fondateur de Neoloco, ainsi que par **Loïc Perrochon**, ingénieur, co-créateur de la méthode. À ce jour, celle-ci fédère une vingtaine de professionnels.

L'ambition principale de la méthode TELED est d'instaurer une **culture de la variabilité au sein des organisations**. Ce concept émerge du constat selon lequel notre société repose sur l'hypothèse d'un accès illimité et continu aux ressources, alors qu'il devient nécessaire d'intégrer la variabilité de l'approvisionnement énergétique, notamment dans le cas des sources d'énergies renouvelables qui ne sont pas pilotables. La garantie de continuité d'accès aux énergies est en réalité de plus en plus variable : rupture de livraison du gaz russe, risque de black-out (comme dans la péninsule ibérique en avril 2025²⁵), fragilité des chaînes logistiques liées aux tensions géopolitiques, instabilité des prix de l'énergie, attaques informatiques, infrastructures stratégiques prises pour cible...

Principes et application de la méthode TELED :

La méthode s'inspire de l'expérience concrète d'Arnaud Crétot au sein de Neoloco, une entreprise de boulangerie et torréfaction fonctionnant à l'énergie solaire, dont l'organisation repose sur la disponibilité du rayonnement solaire pour alimenter ses fours. Ce cadre opérationnel a permis d'expérimenter des modèles d'affaires compatibles avec la variabilité de l'accès à l'énergie.

Une illustration tangible de l'application de cette méthode est celle de l'entreprise de menuiserie industrielle ADAM, qui alimente une partie de ses activités avec de l'énergie solaire. En identifiant que la principale source de consommation énergétique provenait de l'atelier scierie (composé de quatre salariés sur un effectif de soixante-dix), la méthode TELED rend possible la dissociation de cet atelier du reste du flux de l'usine et propose de répartir différemment les plages horaires de fonctionnement (journées plus courtes réparties sur six jours au lieu de cinq, décalage de la pause déjeuner pour profiter de l'heure de pointe d'ensoleillement). Cette réorganisation conduit à une amélioration potentielle du taux d'utilisation des panneaux solaires, passant de 25% à plus de 50%.

Application de la méthode TELED dans le numérique :

La méthode offre une capacité d'adaptation face à une rupture d'accès aux services numériques ou d'internet, en s'appuyant sur plusieurs leviers :

- **Gestion de l'intermittence des services** : plusieurs exemples témoignent déjà de pratiques permettant de gérer simplement la variabilité d'accès à des services

numériques. Les sites web d'événementiel ponctuel sont souvent soumis à une forte affluence. Ils sont alors régulés par une file d'attente, permettant ainsi d'éviter la saturation des services et le surdimensionnement des infrastructures. Le site du « *Low-Tech Magazine* », hébergé sur un serveur basé en Espagne alimenté par de l'énergie solaire, illustre également cette intermittence volontaire. Lors de périodes prolongées de faible ensoleillement le service se coupe. Le temps d'activité restant avant coupure est clairement affiché sur la page afin de permettre aux utilisateurs de prendre leurs dispositions.

- **Planification des tâches** : une exploitation plus stratégique des données et une planification des tâches à l'échelle macro, permettrait d'anticiper la variabilité de consommation des serveurs, des infrastructures numériques et de programmer certaines opérations, telles que les mises à jour, à des moments où l'énergie est plus abondante. L'objectif est de réduire la consommation énergétique tout en maintenant, dans la grande majorité des cas, un accès continu aux services.
- **Intégration dans la gestion des risques** : la méthode TELED vise également à enrichir la gestion des risques et les plans de continuité d'activité dans le domaine du numérique. Elle propose une approche opérationnelle structurée, articulée autour d'un plan d'action gradué (du plus simple au plus contraignant) afin de gérer la variabilité d'accès aux ressources et à l'énergie.

Fonctionnement du Collectif TELED :

Bien que la méthodologie TELED ne soit pas diffusée en accès *open source*, le Collectif qui la porte s'inscrit dans une logique de création d'un commun, sans vocation commerciale. Il ne propose pas de prestations à la vente, mais des professionnels du collectif réalisent des diagnostic TELED et accompagnent à la transformation organisationnelle. Le Collectif propose également des formations ainsi que des intervenants qualifiés pour accompagner les apprenants dans leur appropriation de la méthode. En contrepartie, les utilisateurs s'engagent à partager les enseignements principaux issus de leur cas d'usage, contribuant ainsi à l'enrichissement collectif des pratiques.

Arnaud Crétot, Fondateur de NeoLoco, Co-fondateur du collectif de la méthode TELED

Les initiatives *low-tech* plébiscitées par les participants pour répondre aux trois types de risques identifiés, ont permis de mettre en lumière de nombreux avantages, tout en révélant certaines faiblesses inhérentes aux modes de fonctionnement des organisations et de leurs systèmes numériques.

Interrogeons-nous maintenant sur la manière d'insuffler ces sujets au cœur de la culture organisationnelle, et de concrétiser ces ambitions.

²⁵ <https://www.connaissance-des-energies.org/afp/black-out-en-espagne-et-au-portugal-ce-que-dit-l'enquête-des-experts-européens-251003>

4 ARGUMENTS DE CONVICTION : COMMENT PASSER À L'ACTE ?

Au fil de nos réflexions, il est apparu de manière récurrente que le concept de *low-tech* demeure encore confidentiel et qu'il souffre, par ses acceptations mouvantes, d'un manque de définition consensuelle. Cette pluralité de compréhensions rend son appropriation difficile, notamment auprès des décideurs. Le sujet souvent perçu comme théorique, voire utopique, semble manquer d'arguments tangibles ou de démonstrations concrètes. C'est pourquoi le groupe de travail a choisi de se concentrer sur **l'élaboration d'éléments de conviction clairs**, ainsi que sur **la collecte d'exemples concrets et opérationnels**, susceptibles d'éclairer, de lever les résistances et de favoriser l'acculturation.

4.1 IDENTIFIER LES RÉSISTANCES

Toute démarche visant à convaincre ou à argumenter suppose, en amont, une compréhension fine des points de dissension et des facteurs de résistances. Les échanges au sein du groupe de travail, enrichis par les travaux de mémoire réalisés par Nicolas Schmitt, Caroline Danancher, Elisabeth Lucas et Cécilia de Foucaucourt, ont permis d'identifier **trois catégories de résistances** :

- **Endogènes**, c'est-à-dire internes aux organisations : l'approche *low-tech* suscite des appréhensions liées à une éventuelle perte de productivité, à la complexité du remplacement des dispositifs existants, et à la difficulté d'industrialiser une démarche par nature locale. Ce paradoxe apparent entre localité et passage à grande échelle peut toutefois être dépassé en s'appuyant précisément sur les ressources territoriales ;
- **Culturelles** : la terminologie *low-tech* est souvent perçue comme synonyme de régression. Dans l'imaginaire collectif, l'innovation reste étroitement associée aux technologies de pointe, ce qui freine l'adhésion à des solutions plus sobres ;
- **Exogènes**, c'est-à-dire extérieures aux organisations : les contraintes réglementaires, ou à l'inverse l'attente d'un cadre normatif pour légitimer l'action, constituent des freins à l'engagement dans la démarche *low-tech*.

4.2 DÉFINIR DES CONVICTIONS ET DES FACTEURS DE SUCCÈS

Afin de surmonter ces freins, plusieurs stratégies ont été proposées :

- **Adopter une approche par la gestion des risques** : les directions en charge des risques au sein des organisations constituent des partenaires naturels pour porter les enjeux de robustesse et de continuité des systèmes d'information. Comme l'ont démontré nos travaux, les crises géopolitiques, les pénuries de ressources et les événements climatiques extrêmes peuvent compromettre directement la pérennité des activités numériques. Les approches *low-tech*, en réduisant la dépendance aux chaînes d'approvisionnement mondiales et en simplifiant les systèmes, renforcent la résilience face à ces chocs ;

- **Développer une vision prospective à dix ans** : en intégrant l'évolution des prix et de la disponibilité des ressources, la démarche prospective permet d'identifier les vulnérabilités de la chaîne de valeur et d'initier une transformation progressive vers des services et produits plus sobres et résilients ;
- **S'approprier les codes de l'entreprise** : il convient d'adapter le discours au langage des décideurs, en valorisant la contribution des approches *low-tech* à la résilience, à la stabilité et la viabilité des organisations et de leurs systèmes numériques. Présenter les *low-tech* comme une méthodologie complémentaire aux démarches existantes permet de les inscrire dans une logique d'enrichissement plutôt que de rupture ;
- **Simuler des crises** : organiser des exercices de mise en situation (tels que des pénuries d'énergie ou de livraison de composants, des coupures prolongées de connectivité réseau, etc.) constitue un levier puissant de sensibilisation. Ces « stress tests » permettent d'expérimenter concrètement les solutions *low-tech*, de stimuler la créativité des équipes et d'aider les dirigeants à mieux appréhender les risques liés à un défaut d'anticipation ;
- **Expérimenter pour convaincre** : démontrer la pertinence des *low-tech* par l'action, à travers des projets pilotes et des retours d'expérience concrets, s'avère particulièrement efficace. Certaines organisations ont ainsi désigné un référent *low-tech*, chargé d'acculturer les équipes projets et de capitaliser sur les initiatives issues de l'écosystème pour les impulser en interne. Le partage des réussites et des enseignements tirés est essentiel pour lever les réticences ;
- **Redéfinir le cadre lexical** : si le terme *low-tech* suscite des réticences en raison des connotations perçues comme un fantasme passéiste, réfractaire à l'innovation, il peut être opportun de recourir à des expressions alternatives telles que « *fair tech* », « *right tech* » ou « *techno-discrimenement* ». L'objectif est de faire émerger une image désirable et innovante de ces approches, facilitant ainsi leur acceptation par les décideurs ;
- **Développer une « comptabilité de l'évité »** : il s'agit de mettre en avant les coûts évités grâce aux démarches *low-tech*, qu'ils soient financiers, environnementaux ou liés à des dépendances critiques. L'argument économique, en particulier, est un levier de conviction majeur.

4.3 PARTAGER DES EXEMPLES CONCRETS

Les discussions ont été illustrées par plusieurs exemples concrets démontrant la faisabilité de l'approche *low-tech* :

- **Traçabilité ferroviaire** : afin d'améliorer la traçabilité des wagons d'une compagnie ferroviaire, une première proposition high-tech envisageait l'intégration de dispositifs « *Internet of Things* » (*IoT*), couplés aux technologies GPS et 5G, ainsi qu'un système d'attelage automatisé. Cette solution, très performante permettait une localisation en temps réel, la collecte de nombreuses données et une facilitation des opérations d'attelage. Toutefois, son coût, estimé entre 30 et 50 k€ par wagon, s'est révélé prohibitif au regard du parc concerné. L'étude a été réorientée selon les principes *low-tech*, en repartant des besoins réels, en identifiant les technologies les mieux adaptées et en analysant la valeur. Le système d'attelage automatisé a été abandonné car il ne présentait pas d'avantages significatifs par rapport au fonctionnement existant (les motrices poussent les wagons et l'opérateur abaisse une

poignée). Concernant la localisation, l'analyse a montré que le temps réel n'était pas nécessaire : les wagons étant soit stationnés pendant de longues périodes, soit attelés à une motrice en mouvement. La solution retenue repose sur un dispositif composé d'un microcontrôleur Raspberry Pi, d'une puce GPS et un émetteur LoRaWAN, transmettant la position toutes les 30 minutes. Le coût unitaire est ainsi réduit à 150 € par wagon. Les capteurs temps réels sont désormais concentrés dans les motrices, là où leur utilité est avérée. L'entreprise a mis à disposition cette innovation en *open source* afin qu'elle puisse être largement adoptée. Cette alternative, plus sobre en ressources, moins coûteuse, bien adaptée aux besoins et mise à disposition du plus grand nombre dans un principe de partage, illustre la capacité d'une approche *low-tech* à répondre à des enjeux industriels.

- **Banque en ligne *low-tech*** : un groupe bancaire a développé un prototype de son site web de « banque en ligne » selon les principes *low-tech*. Celui-ci a été épuré, délesté des publicités, des pop-ups et des fonctionnalités superflues. La cohorte d'utilisateurs qui l'a testé l'a perçu comme « plus simple et plus rapide » que l'application standard. Ce prototype était également plus sobre et mieux sécurisé du fait de sa moindre exposition à des fonctionnalités multiples. Cependant, il n'a pas été donné suite au projet car le service marketing n'était pas prêt à renoncer aux publicités.
- **Continuité de service en l'absence de réseau** : un dispositif tel que « El Paquete » à Cuba, qui repose sur la distribution de contenus par la mise en circulation de disques durs pour faire face à la censure, ou encore l'utilisation de réseaux radio ou Mesh Wifi²⁶ (Wifi maillé), démontrent qu'il est possible de maintenir un accès à l'information, même en cas de défaillance des infrastructures de télécommunication.
- **Modèle économique alternatif** : l'entreprise NeoLoco, spécialisée dans la torréfaction solaire, a conçu un modèle intégrant la variabilité météorologique. Elle fonde son activité non seulement sur la vente de produits, mais également sur la transmission de ce savoir-faire et sur la formation, favorisant ainsi la diffusion de pratiques résilientes.

²⁶ « Le Mesh est constitué d'un ensemble de bornes Wifi dont chacune relaie les flux de données » (source : <https://www.cnetfrance.fr/produits/wifi-mesh-qu'est-ce-que-c-est-et-comment-l-installer-pour-etendre-facilement-la-portee-du-reseau-sans-fil-39934811.htm>)

Retour d'expérience ORANGE

Construire la résilience des réseaux, vers l'adaptation au changement climatique

Orange a entrepris des travaux approfondis visant à renforcer la résilience de ses infrastructures télécom face aux effets du changement climatique, en s'inspirant des démarches *low-tech*. Ces recherches ont été menées par **Émile Burckard**, dans le cadre d'un stage effectué entre mars et septembre 2024, encadré par **Guillaume Boudry**, Prospectiviste en télécommunications et **Marc Vautier**, Référent de la communauté Orange Expertise Énergie & Environnement. Les entretiens ont été conduits auprès des directions opérationnelles d'Orange, en particulier dans la région Grand Ouest, durement impactée par la tempête Ciara en 2023.

Constats et enjeux suite aux incidents provoqués par la tempête Ciara :

- **Une forte dépendance aux réseaux électriques** : lors de la tempête Ciara, près de 90% des interruptions de service pour la téléphonie mobile dans le Grand Ouest étaient directement liées à des coupures d'alimentation électrique. Ce chiffre souligne la criticité de l'interconnexion entre les infrastructures énergétiques et télécoms ;
- **Une interdépendance structurelle entre réseaux** : les réseaux télécoms et électriques forment un écosystème technique étroitement imbriqué, où la défaillance de l'un peut entraîner des effets en cascade sur l'autre ;
- **Des arbitrages complexes liés à la diversité des réseaux et des usages** : la multiplicité des technologies (cuivre, fibre, mobile) et des services associés rend délicate la priorisation des interventions en cas de crise. À titre d'exemple, Orange a parfois fait le choix de ne pas réparer le réseau cuivre lorsque le déploiement de la fibre était envisageable, illustrant une logique d'optimisation à long terme.

Besoins identifiés en situation de crise :

- Accès à une information fiable, claire et actualisée ;
- Capacité à établir un contact, notamment en cas d'urgence ou de besoin d'assistance ;
- Vigilance renforcée à l'égard de personnes vulnérables et des situations vitales ;
- Proximité et accompagnement des populations affectées.

Dispositifs mobilisés par Orange :

- Utilisation de groupes électrogènes, souvent prêtés par Enedis, pour pallier les coupures d'électricité ;
- Distribution d'Airbox (petit boîtier qui permet de diffuser du Wifi) et de *godets data* (quantité limitée de données internet attribuée au forfait mobile ou fixe), afin de rétablir temporairement la connectivité ;
- Recours à des solutions satellitaires, notamment pour les zones isolées ;

Un constat majeur ressort de cette situation : des volontaires (agriculteurs, salariés d'Orange...) se sont spontanément manifestés pour aider. Toutefois leur participation est

restée limitée en raison de contraintes de sécurité et d'un manque d'anticipation organisationnelle.

Recommandations pour renforcer la résilience :

- Mobiliser et former les volontaires, en leur donnant un cadre sécurisé et structuré d'intervention ;
- Anticiper les crises, en intégrant leur intensification dans les plans de continuité et de gestion des risques ;
- Partager et rendre visible l'information, à travers des outils adaptés aux différents publics (cartographie, alertes, plateforme collaborative) ;
- Former et outiller les équipes, en particulier celles en lien direct avec les collectivités territoriales et les clients, pour assurer une coordination efficace et une réponse adaptée.

Concevoir la résilience à l'ère du changement climatique :

La notion de résilience, originellement utilisée en science des matériaux, désigne la capacité d'un système à absorber un choc, à en limiter les effets et à retrouver un état normal dans un délai raisonnable. Elle intègre à la fois l'intensité du choc supportable et la rapidité de récupération.

Dans le cadre du changement climatique, cette définition doit être élargie : la résilience ne concerne pas uniquement la réponse immédiate, mais aussi la capacité des générations futures à faire face à des chocs de plus en plus fréquents et intenses. Il est essentiel de reconnaître que les systèmes eux-mêmes, par leur complexité et leur empreinte environnementale, peuvent aggraver les effets des crises. Ainsi, en limitant son impact environnemental, un système peut agir sur sa propre résilience, ce qui renforce sa soutenabilité.

La résilience doit être envisagée à une échelle sociotechnique, c'est-à-dire en intégrant les dimensions techniques et leurs interactions avec la société. Deux aspects sociologiques sont particulièrement déterminants :

- La tendance à vouloir revenir rapidement à l'état antérieur, sans remettre en question les vulnérabilités structurelles, ni envisager une reconstruction plus durable ;
- La vulnérabilité perçue par la société, qui diffère souvent de l'analyse des experts. Cette perception sociale, fondée sur des représentations collectives, doit être intégrée dans les stratégies de résilience.

La résilience ne se limite pas à une approche technique ou opérationnelle : elle doit viser la soutenabilité et s'appuyer sur une compréhension fine des interactions entre technologie, société et environnement.

Propositions d'Orange pour des réseaux plus résilients :

- **Renforcer la proximité opérationnelle** : déployer des équipes au plus près des territoires et des collectivités afin de faciliter la coordination, la réactivité et l'adaptation aux spécificités locales ;
- **Anticiper les crises** : mettre en place des exercices de simulation, élaborer des plans de contingence, organiser des formations ciblées et conduire des études territoriales pour mieux comprendre les vulnérabilités et leviers d'action ;
- **Impliquer les acteurs volontaires** : constituer un vivier de volontaires, qu'ils soient issus des territoires ou des rangs de l'entreprise, et les former aux tâches de résilience dans un cadre sécurisé et structuré ;
- **Coconstruire les solutions** : organiser des ateliers de réflexion et de conception associant les parties prenantes (collectivités, opérateurs, citoyens, experts), dans une approche sociotechnique intégrant les dimensions humaines, organisationnelles et technologiques.

Ces initiatives doivent s'inscrire dans deux contextes complémentaires :

- En amont des crises (anticipation) : il s'agit de préparer les conditions de la reconstruction, de définir les cadres d'intervention et de renforcer les capacités d'adaptation ;
- En aval des crises (post-crise) : capitaliser sur les données recueillies, mobiliser les acteurs pour améliorer les dispositifs existants et lutter contre la tentation du retour au « *business as usual* ».

Guillaume Boudry, Prospectiviste en télécommunication, Orange

Marc Vautier, Référent de la communauté Orange Expertise Énergie & Environnement, Orange

4.4 L'APPORT DES *LOW-TECH* DANS LA GESTION DE CRISE

La gestion d'une crise, qu'elle soit anticipée ou subie, requiert de la part des organisations une approche à la fois méthodique et adaptable. Dans ce cadre, les principes inhérents à la démarche *low-tech* peuvent s'avérer particulièrement structurants à chacune des phases : en amont, durant l'évènement et dans la période post-crise. L'adoption d'une réflexion par paliers, selon ces différents horizons temporels, apparaît dès lors comme une démarche judicieuse pour identifier, à chaque étape, les points de vulnérabilité, sur lesquels il est nécessaire de concentrer ses efforts.

4.4.1 EN AMONT DE LA CRISE : RÉDUIRE L'EXPOSITION ET SE PRÉPARER

L'anticipation et la prévention des crises s'inscrivent dans une démarche proactive fondamentale pour les organisations. L'intégration précoce des principes *low-tech* dans les dispositifs de préparation

L'approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation face aux fluctuations



permet de réduire significativement les zones de vulnérabilité, consolide la mobilisation des parties prenantes stratégiques et opérationnalise le dispositif. À cet égard, plusieurs bonnes pratiques peuvent être mises en œuvre :

- Procéder à une hiérarchisation des services numériques sur la base de leur caractère essentiel ou non, tant pour la continuité opérationnelle que pour l'intérêt collectif ;
- Renforcer les compétences internes et territoriales afin d'assurer un maillage robuste et réactif ;
- Déployer des infrastructures et des processus résilients, tels que des réseaux alternatifs ou des stocks de composants critiques ;
- Sensibiliser et former les décideurs ainsi que les collaborateurs, notamment par le biais d'exercices de simulation de crise.

Retour d'expérience OCTO Technology

Focus sur le « *Disruption Game* by OCTO » : un outil de sensibilisation immersif pour les clients

OCTO Technology a élaboré une expérimentation à la fois ludique et immersive, dénommée « *disruption game* », dont l'ambition est de faire évoluer la perception des clients sur leur capacité de robustesse et leur niveau de préparation face aux crises. Ce dispositif place les participants dans un contexte simulé de contraintes extrêmes, qu'elles soient climatiques, énergétiques ou autres, dès la phase de cadrage d'un produit. Il vise à susciter un changement de paradigme en les incitant à envisager des solutions qui ne reposent pas exclusivement sur le numérique, mais qui intègrent des alternatives relevant de la démarche *low-tech*. En les immergeant dans cet environnement contraint, le « *disruption game* » stimule une dynamique de grande créativité et d'innovation, dépassant les modèles conventionnels.

Sara Boucherot, Change maker Numériques soutenables chez OCTO Technology

4.4.2 DURANT LA CRISE : GÉRER ET S'ADAPTER

Lorsqu'une organisation est confrontée à une situation de crise, qu'il s'agisse d'une rupture dans les chaînes d'approvisionnement technologiques, d'une forte instabilité économique, de restrictions imposées aux usages numériques ou encore de cyberattaques, **les approches *low-tech* offrent des leviers d'adaptation rapide** tout en assurant une **stabilité minimale des services**. Le déploiement de mesures correctives s'en trouve facilité, dans la mesure où les plans et procédures de secours ont été préalablement définis, notamment dans le cadre d'un Plan de Continuité d'Activité (PCA) fondé sur les principes *low-tech*.

Parmi les **actions recommandées** figurent :

- L'activation de solutions alternatives telles que le recours à des processus manuels, ou la bascule vers des réseaux *low-tech* reposant sur des énergies renouvelables ou sur des *data mule*²⁷ ;
- Le maintien en condition opérationnelle des services essentiels ;
- La mobilisation des compétences acquises en amont, ainsi que la mutualisation des ressources matérielles et des savoir-faire entre les différentes organisations, collectivités, société civile... ;
- La réutilisation d'équipements anciens ou reconditionnés pour exécuter certaines tâches basiques.

4.4.3 POST-CRISE : SE RELEVER ET CONSTRUIRE UNE RÉSILIENCE DURABLE

À l'issue d'une période de crise, les organisations disposent d'une opportunité stratégique pour consolider les enseignements tirés et inscrire leur transformation dans une dynamique pérenne. Les approches *low-tech* offrent à cet égard un cadre propice à la valorisation des efforts engagés, en contribuant à la construction d'une résilience durable et à une redéfinition profonde des modalités de création et de préservation de la valeur. Cette démarche se traduit notamment par :

- La capitalisation sur les retours d'expérience et les bonnes pratiques ;
- L'intégration structurée des principes *low-tech* au sein de la stratégie organisationnelle ;
- La reconnaissance et la valorisation des compétences transversales et des savoir-faire internes ;
- La promotion d'une culture fondée sur la sobriété, le partage et la coopération ;
- L'évolution des modèles économiques vers une logique de croissance qualitative, fondée sur la soutenabilité et l'impact sociétal.

Au-delà de la seule réponse à l'urgence, **les principes *low-tech* s'affirment comme des leviers de transformation systémiques**, capables d'orienter les systèmes numériques vers une résilience renforcée. Il appartient désormais aux organisations de concrétiser cette vision, en traduisant les intentions en actions tangibles et structurantes.

²⁷ Des exemples de réseaux *low-tech*, tels que le projet HopScotch en Ecosse ou le réseau indien Daknet, sont décrits dans l'article de Eva Morgand, Frenoux Emmanuelle, Marceau Coupechoux : *Le low-tech et les réseaux : une rencontre impossible ?* [Stage] Telecom Paris ; Université Paris Saclay, 2021 [<https://universite-paris-saclay.hal.science/hal-03697720/>]

Retour d'expérience MICHELIN

Une boussole de soutenabilité pour les modèles d'affaires du futur

Depuis 2018, l'entreprise Michelin a fait évoluer son orientation stratégique, passant de l'objectif « *Planet, Profit, Performance* » à une approche intégrée dite « *All sustainable* » (tout durable), élargissant ainsi son périmètre d'action.

Si les politiques bas carbone constituent des leviers pertinents pour des actions convergentes, elles peuvent néanmoins induire une vision réductrice en occultant certains impacts tout aussi prioritaires.

C'est dans cette perspective qu'une « boussole de la soutenabilité » a été conçue par le *Michelin Innovation Lab*, outil méthodologique en *open source*, destiné à nourrir une réflexion sur les critères de soutenabilité applicables aux nouveaux modèles économiques de l'entreprise, et à évaluer ses innovations selon différents horizons temporels. Il intègre dix principes clés, répartis en quatre axes structurants : désirabilité, faisabilité, viabilité et adaptabilité.



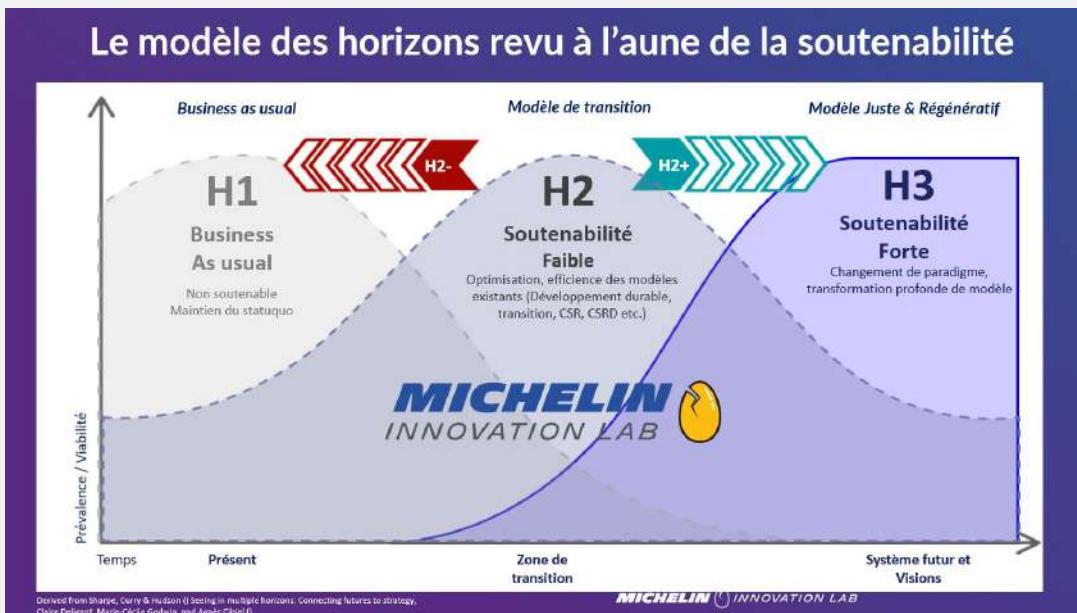
Boussole et 10 principes de soutenabilité - Michelin Innovation Lab

S'inspirant des travaux de Bill Sharpe et Kate Raworth²⁸, trois horizons ont été définis dans ce modèle :

- H1 : non soutenable, correspondant au maintien du statu quo ;

²⁸ <https://www.iffpraxis.com/3h-approach>

- H2 : efficience des modèles existants axée sur l'optimisation, avec une prise en compte de la finalité des projets, conformes aux exigences à la fois du développement durable, de la CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*) et des démarches de transition. C'est surtout l'évaluation de la finalité du projet qui aiguillera soit vers un retour en H1, soit vers une tentative d'exploration pour le H3 ;
- H3 : circularité complète, fondée sur les cycles du vivant et impliquant une transformation profonde du modèle.



Modèle des horizons possibles à l'aune de la soutenabilité – Michelin Innovation Lab

Bien que ce cadre soit encore en phase d'expérimentation auprès des équipes, il constitue une opportunité précieuse pour redéfinir les fondements de la soutenabilité dans un contexte industriel exigeant, et pour explorer les modalités d'application concrètes du principe du « juste besoin » à grande échelle.

Fabien Marlin, Digital CSR Officer / RSE Numérique Responsable,
Hacer Us, Référente Soutenabilité de l'Innovation / Coach au Michelin Innovation Lab

Les travaux du groupe de travail ont ainsi mis en lumière plusieurs leviers de conviction permettant de sensibiliser les organisations aux potentiels des démarches *low-tech* : l'approche par la gestion des risques, la simulation de crises, l'expérimentation par projets pilotes, et le développement d'une « comptabilité de l'évité » valorisant les coûts économiques et environnementaux épargnés, sont autant d'exemples qui permettent de légitimer l'approche *low-tech*. De plus, l'analyse par phase de crise (anticipation, gestion, reconstruction) confirme que ces approches ne se limitent pas aux seuls enjeux de durabilité : elles structurent une véritable démarche de résilience organisationnelle. Ces constats appellent désormais une traduction en actions concrètes. Quelles recommandations opérationnelles peuvent guider les organisations dans cette transformation ?

L'approche *low-tech* au service de la résilience numérique des organisations

Stratégies d'adaptation face aux fluctuations

5 BONNES PRATIQUES À L'INTENTION DES ACTEURS DU NUMÉRIQUE

Les ateliers prospectifs du groupe de travail ont permis d'élaborer un ensemble de messages clés, conçus comme autant de repères pour guider les organisations dans leur démarche. Ces messages, à la fois opérationnels et pratiques, visent à offrir aux décideurs et aux équipes projets des orientations claires et actionnables pour engager, structurer et pérenniser l'intégration des principes *low-tech* comme un axe stratégique de résilience de leurs organisations et de leurs systèmes numériques.

Les premiers enseignements **sont articulés autour des sept messages clés** suivants, déclinés ensuite en pistes d'action pratiques :

- Intégrer les *low-tech* dans la stratégie de résilience des organisations et leurs systèmes numériques
- Développer un numérique durable par conception, fondé sur la sobriété des usages ;
- Investir dans les compétences « *low-tech* et numérique », les valoriser et les maintenir dans le temps ;
- Bâtir des écosystèmes numériques territoriaux et collaboratifs ;
- Créer des chaînes de production simples, reproductibles et réparables ;
- Renforcer la robustesse des systèmes par la mutualisation et la diversification ;
- Promouvoir les biens communs, les solutions locales et l'inclusion sociale.

5.1 INTÉGRER LES *LOW-TECH* DANS LA STRATÉGIE DE RÉSILIENCE DES ORGANISATIONS ET LEURS SYSTÈMES NUMÉRIQUES

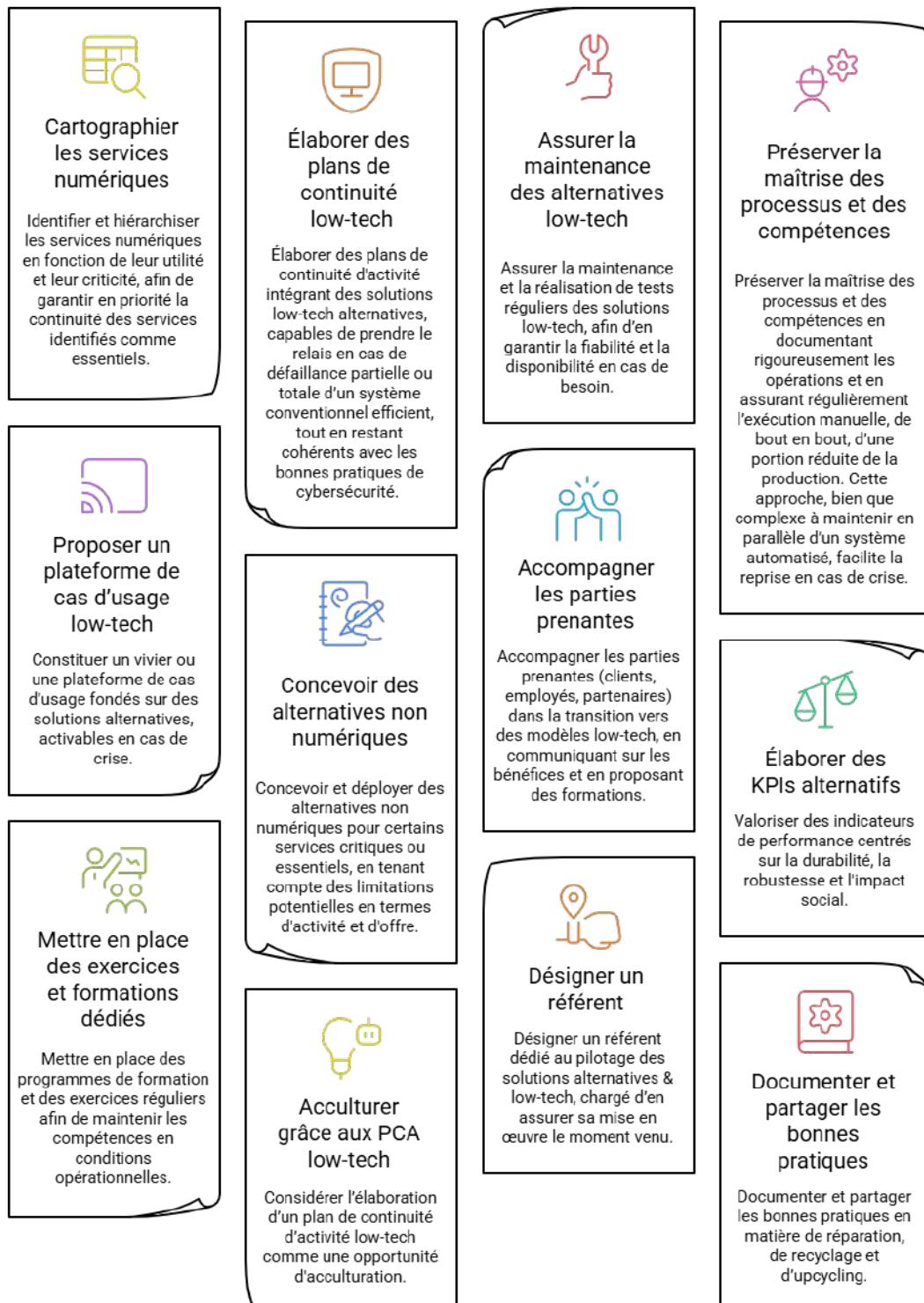
Message clé :

Dans un contexte mondial marqué par une complexité croissante et des fluctuations toujours plus prononcées, **il devient impératif pour les organisations de repenser leurs modèles de fonctionnement**. L'adoption d'approches *low-tech* face aux vulnérabilités numériques constitue une réponse stratégique pour garantir la continuité des activités et des services essentiels. Cette démarche invite à passer d'une logique à court terme, axée sur la seule performance, à une logique de plus long terme intégrant une recherche de robustesse.

Appel à l'action :

Les pistes d'action sont représentées dans le schéma ci-après :

Intégrer les low-tech dans la stratégie de résilience des organisations et de leurs systèmes numériques



Synthèse visuelle des bonnes pratiques pour intégrer l'approche low-tech dans les organisations et leurs systèmes numériques

5.2 DÉVELOPPER UN NUMÉRIQUE DURABLE PAR CONCEPTION ET UNE SOBRIÉTÉ DES USAGES

Message clé :

L'intégration des principes de durabilité et de sobriété numérique dès la phase de conception des systèmes et des services constitue un levier essentiel pour **mitiger les risques liés à la surconsommation énergétique et aux pénuries de ressources**. Il ne s'agit plus uniquement d'optimiser les dispositifs existants, mais de calibrer les solutions en questionnant l'utilité profonde de chaque fonctionnalité, en les structurant au juste besoin.

Appel à l'action :

- Concevoir des solutions techniques et organisationnelles visant à minimiser l'utilisation des ressources, qu'il s'agisse d'énergie, de matériaux, d'eau ou de données ;
- Mettre en œuvre des pratiques d'écoconception et recourir à l'analyse du cycle de vie pour évaluer et optimiser l'impact environnemental des systèmes ;
- Développer des approches spécifiques à l'écoconception dans le cadre des démarches *low-tech*, en veillant à leur simplification ;
- Développer des indicateurs de performance orientés vers la durabilité et la résilience des systèmes numériques ;
- Promouvoir une culture de l'usage raisonnable et de la fonctionnalité essentielle. À ce titre, comme évoqué en section 4.1, l'élaboration de plans de continuité d'activité (PCA) *low-tech* constitue une opportunité d'acculturation ;
- Expérimenter le cadrage de produit ou services sous contrainte, afin de stimuler la créativité et l'innovation *low-tech*, bousculant ainsi la perception commune selon laquelle l'innovation ne pourrait qu'être *high-tech*.

5.3 INVESTIR DANS LES COMPÉTENCES *LOW-TECH* & NUMÉRIQUES, LES VALORISER ET LES MAINTENIR DANS LE TEMPS

Message clé :

La capacité des organisations à résister aux chocs et à se relever repose fondamentalement sur la **maîtrise de leurs outils, ainsi que sur leur capacité à les réparer et à les adapter**. Dans un contexte où les chaînes d'approvisionnement peuvent être interrompues et où l'accès aux technologies de pointe devient plus incertain, les **compétences en diagnostic, en réparation, en upcycling et en gestion des systèmes d'exploitation** durcis, écoconçus et dans la mesure du possible en *open source*, s'imposent comme des atouts stratégiques. **L'investissement dans le capital humain local**, loin de constituer une charge sans retour, représente une véritable assurance en faveur de l'indépendance et de la résilience des organisations.

Appel à l'action :

- Anticiper les besoins en compétences liés aux approches *low-tech* à l'échelle territoriale et favoriser un maillage renforcé de ces savoir-faire ;
- Développer des filières de formation dédiées aux synergies entre *low-tech* et numérique, incluant notamment des parcours spécialisés dans la production, le réassemblage et la maintenance de composants ;
- Mettre en place des programmes de formation continue à destination des professionnels, afin de maintenir et d'enrichir les compétences en diagnostic, réparation et gestion de systèmes d'exploitation durcis. Des ateliers « d'auto-réparation » peuvent, à ce titre, s'avérer particulièrement pertinents ;
- Valoriser ces métiers auprès des jeunes générations en soulignant leur utilité sociale et leur potentiel d'avenir ;
- Sensibiliser les écoles et les milieux académiques sur l'importance d'intégrer les principes *low-tech* dans leurs cursus, en articulation avec les autres enjeux du numérique.

5.4 BÂTIR DES ÉCOSYSTÈMES NUMÉRIQUES TERRITORIAUX ET COLLABORATIFS

Message clé :

Face aux situations de crise, le repli sur soi ne saurait constituer une réponse viable. La résilience repose sur **la force du collectif et sur l'ancrage territorial**. La création de réseaux locaux de production et de maintenance, ainsi que le **développement de partenariats entre les différents acteurs (entreprises, collectivités, citoyens)** s'avèrent essentiels pour **mutualiser les ressources**, partager les savoir-faire *low-tech* et contribuer à l'édification d'une résilience distribuée, inclusive et partagée.

Appel à l'action :

- Soutenir le développement de filières locales dédiées à la production, à la maintenance, à la réparation et au recyclage afin de renforcer l'autonomie territoriale ;
- Encourager la création de communs numériques et de plateformes d'échange de ressources, en s'appuyant sur des animateurs d'écosystèmes territoriaux (à l'image du modèle ALOEN²⁹ à Lorient, connecté aux approches *low-tech*, aux tiers-lieux de formation, etc.) ;
- Encourager la coopération entre « Fab Labs », « Repair Cafés » et autres initiatives citoyennes, en tant que leviers de mutualisation des savoir-faire et d'innovation distribuée ;
- Mettre en place des mécanismes de gouvernance partagée et de prise de décision collective, pour garantir l'inclusivité et la pérennité des démarches engagées ;
- Élaborer des politiques publiques locales visant à structurer des écosystèmes *low-tech* et numériques territoriaux ;

²⁹ Agence Locale de l'Énergie et du Climat de Bretagne Sud : <https://aloen.fr/qui-sommes-nous/>

- S'appuyer, chaque fois que possible, sur des sources d'énergies renouvelables locales. Par exemple, installer des panneaux solaires à visée *low-tech*³⁰ pour alimenter les bureaux en énergie renouvelable.
- Sensibiliser les dispositifs de financement publics à la nécessité de reconnaître que l'innovation ne se limite pas aux technologies « *high-tech* ». Les approches *low-tech* doivent être pleinement éligibles aux programmes de soutien à l'innovation.

5.5 CRÉER DES CHAÎNES DE PRODUCTION SIMPLES, DUPLICABLES ET RÉPARABLES

Face à la complexification des systèmes numériques et aux dépendances technologiques qui affectent le continent européen, les organisations se trouvent confrontées à des vulnérabilités à la fois techniques et géostratégiques. Dans ce contexte, il devient impératif de **faire évoluer les modèles de conception et de production des équipements vers des chaînes de valeur plus robustes**, fondées sur des principes de durabilité. Cela implique de privilégier la simplicité, la réparabilité et l'interopérabilité.

Appel à l'action :

- Privilégier l'utilisation de composants électroniques simples, standardisés et interopérables, tout en veillant à faciliter la compréhension par le grand public ;
- Lutter contre l'innovation jetable et l'obsolescence programmée en intégrant, dès la phase de conception, des critères de durabilité et de réparabilité ;
- Établir des standards (éventuellement sous forme de normes ISO) pour encadrer *l'upcycling* des composants électroniques, en particulier les puces, afin de garantir la qualité et l'interopérabilité ;
- Investir dans des infrastructures et des processus industriels dédiés à la production et au réassemblage de composants, en s'éloignant du modèle intégré du « tout-en-un » ;
- Simplifier les opérations de recyclage et de reconditionnement des équipements en facilitant leur démontage et la séparation des composants, y compris pour les infrastructures réseau. À cet effet, l'intégration de critères *low-tech* dans les écolabels pertinents (tels que TCO, EPEAT, Blue Angel...) pourrait constituer une avancée significative ;
- Rendre accessibles au public les documentations techniques des fabricants, afin de permettre « l'auto-réparation » ou la reconception de pièces, et contribuer ainsi à l'allongement de la durée de vie des équipements et à l'autonomie des personnes ;
- Réduire la dépendance stratégique vis-à-vis des acteurs externes en favorisant la relocalisation de la production et la mutualisation des ressources à l'échelle territoriale ;
- Encourager l'interaction entre les différents acteurs (entreprises, collectivités, citoyens) afin de partager les équipements de production et d'optimiser l'usage des outils industriels au niveau local.

³⁰ Outre les solutions solaires dites « passives » ou photo-thermique telles que le séchoir ou le four solaire, un panneau solaire peut également s'inscrire dans une démarche « *low-tech* » s'il s'agit d'un petit panneau, dimensionné au juste besoin, dédié à un usage précis et autonome (comme recharger une batterie pour un éclairage).

5.6 RENFORCER LA ROBUSTESSE DES SYSTÈMES PAR LA MUTUALISATION ET LA DIVERSIFICATION

Message clé :

La robustesse des systèmes peut être améliorée par la **mutualisation et la circularité des ressources, par le retour au local et par la diversification des solutions**. Toutefois, cette transformation exige une gestion anticipée et une vision stratégique à long terme. Une telle approche permettrait de limiter les points de défaillance, de réduire la dépendance aux chaînes d'approvisionnement mondiales, et de renforcer la sécurité des organisations face aux risques géopolitiques, climatiques ou économiques.

Appel à l'action :

- Explorer les opportunités de mutualisation des ressources et de circularité, à l'échelle locale, afin d'optimiser l'utilisation des actifs et de réduire les coûts opérationnels ;
- Mettre en place des mécanismes de suivi et de contrôle pour identifier les maillons faibles et garantir la robustesse des systèmes, tout en évitant les dérives liées à l'hyper-contrôle ;
- Diversifier les solutions et les fournisseurs de services cloud afin de limiter les risques de dépendance et de « points de défaillance unique »³¹ ;
- Organiser en interne, et avec d'autres d'organisations partenaires, des simulations de crise sur la base de scénarios communs (coupure d'alimentation électrique, perte de réseau, indisponibilité du cloud, températures extrêmes...), afin d'identifier les vulnérabilités et de définir des plans d'adaptation renforçant leur résilience ;
- Pérenniser les infrastructures de type LoRa, et étendre leur usage notamment pour les communications avec des smartphones, afin d'assurer un minimum de connectivité en cas de défaillance des réseaux traditionnels ;
- Maintenir et moderniser les moyens de communication de type VHF et BLU pour les services essentiels ;
- Développer des systèmes d'exploitation durcis et allégés, en privilégiant une maîtrise à l'échelle régionale, tout en assurant une interopérabilité minimale et en se concentrant sur les fonctionnalités essentielles ;
- Mettre en œuvre des services numériques sur des clouds agnostiques (c'est-à-dire sur des environnements indépendants des fournisseurs), reconnus pour leur capacité à être migrés rapidement, afin de renforcer la flexibilité et la résilience des infrastructures numériques.

³¹ Un point de défaillance unique (single point of failure ou SPOF en anglais) est un point d'un système informatique dont le reste du système est dépendant et dont une panne entraîne l'arrêt complet du système.

Retour d'expérience NUAGEO

Comment la robustesse sert-elle la « *low technicisation* » des systèmes d'information ?

Dans un contexte marqué par la multiplication et l'imprévisibilité des chocs, où l'incertitude tend à supplanter le risque quantifiable, en particulier pour les systèmes numériques, la robustesse ne doit plus être perçue comme une contrainte, mais comme une opportunité stratégique. Elle ouvre la voie à une « *low technicisation* » des systèmes d'information, fondée sur la simplicité, la résilience, la maîtrise locale des outils et une volonté d'utiliser le numérique pour des usages contribuant au bien commun.

Pour amorcer une démarche de robustesse appliquée aux systèmes d'information dits « fluctuants », il convient d'en prendre les principes fondamentaux :

- Intégrer les chocs et les perturbations comme éléments constitutifs du fonctionnement nominal de l'entreprise ;
- Dépasser la seule logique d'optimisation, qu'elle soit financière, sociale ou environnementale pour adopter une approche systémique ;
- Encadrer les usages numériques par une sobriété volontaire et réfléchie ;
- Viser une stabilité à court terme, parfois qualifiée de « sous-optimalité », tout en garantissant la viabilité à long terme. À titre d'exemple, l'introduction d'une hétérogénéité dans le choix des fournisseurs, bien que non optimale à court terme, renforce la robustesse du système ;
- Activer les leviers de la robustesse que sont l'hétérogénéité, la redondance, la circularité, l'imperfection assumée, les interactions et la modularité des architectures.

En définitive, la robustesse doit être envisagée comme une condition de viabilité durable des systèmes d'information.

Pour engager une transformation concrète des systèmes d'information, il est nécessaire de passer d'un modèle type « Château Fort » (fondé sur une architecture monolithique) à celui d'un « Village Agile » reposant sur une logique de micro-services :

- Un **système d'information monolithique** se caractérise par sa stabilité, liée à une conception répondant à des besoins prévisibles. Toutefois, sa rigidité architecturale et son optimisation poussée peuvent le rendre vulnérable à des événements imprévus. Ce modèle est principalement orienté vers la performance et l'efficience ;
- À l'inverse, le **système d'information fondé sur les micro-services** se distingue par son adaptabilité, offrant une souplesse face aux enjeux imprévisibles. Il repose sur une architecture modulaire, comparable à des « quartiers autonomes », et favorise la flexibilité. Néanmoins, cette approche implique une complexité accrue, notamment en

raison de la multiplicité des acteurs à coordonner. Elle est centrée sur la résilience et la capacité d'adaptation.

Attention, cela reste un exemple : un modèle monolithique peut, dans certains cas, et souvent à petite échelle, être moins complexe qu'une architecture micro-service. Il n'y a pas de dogme, il faut questionner la juste solution technologique au regard du juste besoin.

L'atelier **Fluctu'IT** est un dispositif d'intelligence collective conçu pour accompagner les entreprises dans la compréhension et l'appropriation des enjeux liés à la robustesse de leur système d'information. Il vise à faciliter une représentation mentale complète de la cartographie des risques et des leviers d'action possibles :

- Cet atelier collaboratif est centré sur l'analyse de la robustesse des systèmes d'information dans un contexte de variabilité et d'incertitude ;
- Il permet d'identifier et de classifier les risques principaux (environnementaux, liés à l'approvisionnement, technologiques, réglementaires, sociaux, énergétiques, géopolitiques, économiques, commerciaux ou encore relatifs aux modèles d'affaires) en fonction de leur impact sur le système d'information ;
- L'approche adoptée invite à conserver en permanence une vision orientée « finalité », en évitant les dérives telles que la « déforestation à l'énergie verte », c'est-à-dire des solutions qui se veulent durables, mais qui ne le sont pas dans leur globalité ;
- L'atelier permet de définir des leviers d'action pour favoriser une « *low technicisation* » du numérique, tout en intégrant les principes d'économie circulaire et de sobriété dans les stratégies numériques des organisations.

Clément Marche, co-fondateur de Nuageo et Fluctu'IT

5.7 PROMOUVOIR LES BIENS COMMUNS, LES SOLUTIONS LOCALES ET L'INCLUSION SOCIALE

Message clé :

La résilience numérique ne saurait se réduire à une simple problématique technologique ; elle s'inscrit profondément dans le tissu social et repose sur la capacité collective à innover et à faire preuve de solidarité. Face à la diversité des risques auxquels sont exposées les organisations, il devient essentiel d'adopter des approches collaboratives et décentralisées, en valorisant les ressources locales ainsi que les savoir-faire des collaborateurs et des citoyens. Ainsi, la démarche ***low-tech*** s'affirme comme un vecteur d'inclusion, favorisant la réappropriation des outils et des connaissances nécessaires à une adaptation collective et résiliente.

Appel à l'action :

- Mobiliser les « Fab Labs » ainsi que les ateliers locaux de fabrication et de maintenance afin de favoriser la production et la réparation d'outils et d'équipements, tout en diffusant une culture fondée sur les principes *low-tech* ;
- Former les citoyens et les collaborateurs des organisations aux technologies *low-tech*, dans une optique de réappropriation des outils numériques et de développement de leur autonomie en matière de réparabilité, de maintenance et d'usage raisonné ;
- Constituer une base de connaissances collaborative, accompagnée de catalogues de solutions alternatives *low-tech* conçus pour répondre aux besoins des services métiers ;
- Décentraliser les centres de production afin de rapprocher les lieux de fabrication des usages réels, tout en préservant les compétences locales en matière de maintenance et de réparation ;
- Encourager une innovation fondée sur la coopération, en valorisant les dynamiques collectives plutôt que la seule logique concurrentielle ;
- Organiser des hackathons dédiés aux stratégies de résilience, pour stimuler l'intelligence collective et faire émerger des solutions robustes et adaptables ;
- Renforcer la culture de la maintenance, tant sur le plan matériel que logiciel, en la considérant comme un pilier de la durabilité numérique ;
- S'inspirer des CUMA (Coopérative d'Utilisation de Matériel Agricole³²) pour favoriser la mutualisation des équipements et optimiser leur usage.

³² Cette coopérative permet aux agriculteurs et agricultrices de mutualiser des moyens (machines, main-d'œuvre, hangars...) nécessaires à leur activité agricole.

CONCLUSION

Dans un environnement marqué par une intensification des fluctuations et une hyper-numérisation sans précédent génératrice de vulnérabilités, ce rapport souligne le rôle stratégique et incontournable des approches *low-tech* dans le renforcement de la résilience numérique des organisations. Loin de constituer un frein à l'innovation ou un retour nostalgique au passé, la démarche *low-tech* s'impose comme un paradigme d'adaptation éclairé, fondé sur la recherche du « juste besoin », la simplicité fonctionnelle, la durabilité, l'accessibilité, l'ancrage local et l'autonomie, le tout consolidé par une robustesse systémique.

L'analyse prospective conduite dans le cadre de ce travail a permis d'identifier trois risques majeurs susceptibles de compromettre la continuité des services et la viabilité des organisations : les ruptures d'approvisionnement technologique, l'instabilité économique et le rationnement des usages numériques. Face à ces menaces, les contributions des approches *low-tech* se révèlent concrètes et opérationnelles : développement de compétences en réparation et en *upcycling*, mise en œuvre de réseaux de communication alternatifs et de systèmes d'exploitation (OS) durcis, mutualisation des ressources ou encore élaboration de Plans de Continuité d'Activité (PCA) intégrant des processus manuels. Ces leviers permettent de réduire l'exposition aux risques en amont, d'optimiser la gestion des crises en temps réel et de favoriser une reprise durable post-crise.

La réussite de l'intégration de ces pratiques repose sur une transformation profonde des imaginaires, une reconnaissance élargie de leur valeur (économique, sociale et environnementale), et un engagement collectif. Les organisations sont ainsi invitées à repenser leur robustesse autour de ces principes, à structurer des écosystèmes collaboratifs et locaux, à investir dans les compétences polyvalentes ainsi qu'à promouvoir une culture de la sobriété et du partage.

Les retours d'expérience concrets présentés dans ce rapport attestent de la faisabilité et de la pertinence de ces démarches, constituant autant de « démonstrations par l'exemple » susceptibles de lever les résistances et d'encourager leur mise en œuvre.

Le groupe de travail conclut que la démarche *low-tech* s'intègre pleinement aux systèmes numériques et représente une stratégie proactive et créative, indispensable pour évoluer dans un monde aux ressources limitées et aux incertitudes croissantes. Elle appelle à un « techno-discernement » qui, loin d'entraver le progrès, le réoriente vers une soutenabilité renforcée et une résilience accrue.



Le Cigref est un réseau de grandes entreprises et administrations publiques françaises qui a pour mission de développer la capacité de ses membres à intégrer et maîtriser le numérique. Par la qualité de sa réflexion et la représentativité de ses membres, il est un acteur fédérateur de la société numérique. Association loi 1901 créée en 1970, le Cigref n'exerce aucune activité lucrative.

Pour réussir sa mission, le Cigref s'appuie sur trois métiers, qui font sa singularité.

Appartenance

Le Cigref incarne une parole collective des grandes entreprises et administrations françaises autour du numérique. Ses membres partagent leurs expériences de l'utilisation des technologies au sein de groupes de travail afin de faire émerger les meilleures pratiques.

Intelligence

Le Cigref participe aux réflexions collectives sur les enjeux économiques et sociaux des technologies de l'information. Fondé il y a près de 50 ans, étant l'une des plus anciennes associations numériques en France, il tire sa légitimité à la fois de son histoire et de sa maîtrise des sujets techniques, socle de compétences de savoir-faire, fondements du numérique.

Influence

Le Cigref fait connaître et respecter les intérêts légitimes de ses entreprises membres. Instance indépendante d'échange et de production entre praticiens et acteurs, Il est une référence reconnue par tout son écosystème.



Cigref
RÉUSSIR
LE NUMÉRIQUE