

Diplôme de conservateur de bibliothèque

Mémoire d' étude / mars 2024

Quelles perspectives pour des politiques de numérisation patrimoniale écoresponsables ?

Thomas CREUSOT

Sous la direction d'Anne-Sophie Traineau-Durozoy
Responsable du Service des Collections remarquables – Service commun de
documentation de l'Université de Poitiers

Remerciements

Je tiens, en tout premier lieu, à remercier chaleureusement Anne-Sophie Traineau-Durozoy, qui a fait preuve, dans l'encadrement de ce mémoire, d'une disponibilité précieuse et d'un accompagnement toujours attentif.

Je remercie également les professionnels avec qui j'ai eu la chance d'échanger, qui m'ont aidé à appréhender ce sujet vaste et parfois complexe, en me consacrant du temps et de l'attention : Pierre-Marie Bartoli (INHA), Adeline Batailler (BSU), Julien Baudry (Université Bordeaux-Montaigne), François-Xavier Boffy (Université Lyon-1), Viviane Boulétreau (Persée), Bertrand Caron (BnF), David Chesnet, (MSHS de l'Université de Poitiers), Elsa Courant-Bares (CNRS), Lionel Dujol (Valence Romans Agglo), Jean-Marie Feurtet (Abes), Emmanuel Fremau (Arkhênum), Sarah Gauthé (Persée), Pierre-Emmanuel Guilleray, (BM de Besançon), Gilles Kagan (IRHT), Mélanie Le Torrec (BmL), Rodolphe Leroy (Université de Bourgogne), Hortense Longequeue (BmL), Florent Palluault (BM de Poitiers), Paraskevi Papadopoulou (BnF), Nathalie Pilet (Bulac), Philippe Prat (Cines), Maël Rannou (élève conservateur territorial à l'Inet), Gabriel Raupp (Bulac), Pauline Rivière (BSG) et Romain Wenz (Université de Bordeaux).

Que soient enfin remerciés tous ceux et toutes celles qui ont pris le temps de remplir, au nom de leur établissement¹, le formulaire d'enquête que j'ai diffusé via les canaux de l'ADBU et de BiblioPat.

¹ Pour la liste des établissements répondants, cf. figure 1.

Résumé :

Récemment mis en lumière, l'impact environnemental du numérique est une préoccupation grandissante. Dans ce contexte, concilier la poursuite des objectifs d'intérêt général assignés à la numérisation patrimoniale avec la prise en compte de la responsabilité environnementale apparaît comme un défi nouveau pour les bibliothèques. Une gestion efficace de la ressource numérique nécessite la mise en œuvre de bonnes pratiques, à chaque étape de la chaîne de numérisation, depuis la prise de vue jusqu'à la pérennisation des données, en passant par la conception des bibliothèques numériques. L'impératif environnemental invite également à repenser les stratégies de numérisation, en les inscrivant dans un écosystème digital durable et tendant à la sobriété, qui n'exclut pas l'enjeu de l'impact sociétal.

Descripteurs :

Numérisation

Patrimoine culturel -- Numérisation

Bibliothèques numériques

Société numérique -- Aspect environnemental

Archivage électronique

Abstract:

The environmental impact of digital technology has recently been highlighted as a growing concern. In this context, libraries are facing a new challenge: reconciling the general interest objectives assigned to heritage digitization with environmental responsibility. Efficient data management requires the implementation of best practices at every stage of the digitization process, from the capture of images to the design of digital libraries and the digital preservation. The environmental imperative also requires shifting digitization paradigm, as part of a sustainable digital ecosystem that strives for sobriety, without excluding the challenge of societal impact.

Keywords:

Digitization

Cultural heritage preservation

Digital Libraries

Environmental impact

Sustainable digitalisation

Digital preservation

Droits d'auteurs



Cette création est mise à disposition selon le Contrat :
« **Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France** »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr> ou par
courrier postal à Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco,
California 94105, USA.

Sommaire

SIGLES ET ABRÉVIATIONS	7
INTRODUCTION.....	9
L’IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE : UN ENJEU NOUVEAU POUR LES BIBLIOTHÈQUES	12
1. Une problématique émergente... ..	12
1.1. <i>Un sujet mal identifié ?.....</i>	<i>12</i>
1.2. <i>Un constat partagé.....</i>	<i>16</i>
2. ... dont les bibliothèques s’emparent timidement.....	20
2.1. <i>Bibliothèques et numérique (éco)responsable</i>	<i>20</i>
2.2. <i>Numérisation du patrimoine et impératif environnemental : un impensé ?.....</i>	<i>23</i>
ENJEUX ET IMPACTS DU CYCLE DE VIE DE LA DONNÉE NUMÉRIQUE	27
Quelques éléments d’introduction.....	27
1. Produire la donnée numérique : l’impact des choix de résolution et de format.....	29
1.1. <i>Le poids d’une image : profondeur d’acquisition, résolution, définition</i>	<i>29</i>
1.2. <i>Le poids d’un fichier : questions de format et de compression ...</i>	<i>32</i>
2. Stocker et pérenniser la donnée numérique.....	37
2.1. <i>L’impact des choix d’hébergement.....</i>	<i>37</i>
2.2. <i>Pérenniser la donnée numérique.....</i>	<i>43</i>
Quelques éléments de bilan	47
VERS UN MODÈLE DE NUMÉRISATION DURABLE	49
1. Durabiliser la chaîne de numérisation	49
1.1. <i>L’impact des numériseurs.....</i>	<i>49</i>
1.2. <i>Efficiency et durabilité : l’exemple de NumaHOP</i>	<i>54</i>
2. Interroger la responsabilité globale des politiques de numérisation	57
2.1. <i>S’inscrire dans un écosystème digital responsable</i>	<i>57</i>
2.2. <i>Numérisation patrimoniale et sobriété numérique</i>	<i>64</i>
CONCLUSION	73
SOURCES.....	76
BIBLIOGRAPHIE.....	77
ANNEXES.....	83
TABLE DES ILLUSTRATIONS	92
TABLE DES MATIÈRES.....	93

Sigles et abréviations

Agences publiques, administrations, établissements et organismes divers :

Ademe : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

Arcep : Autorité de régulation des communications électroniques, des postes et de la distribution de la presse

BM : Bibliothèque municipale

BmL : Bibliothèque municipale de Lyon

BnF : Bibliothèque nationale de France

BNU : Bibliothèque nationale et universitaire (Strasbourg)

BPE : Bibliothèque patrimoniale et d'étude (Dijon)

BSG : Bibliothèque Sainte-Geneviève

BSU : Bibliothèque de Sorbonne Université

Bulac : Bibliothèque universitaire des langues et civilisations

Cines : Centre informatique de l'enseignement supérieur

CHEC : Cycle des hautes études de la culture

CNAM : Conservatoire national des Arts et Métiers

CNRS : Centre national de la recherche scientifique

Codornum : Comité d'orientation du numérique

DGCL : Direction générale des collectivités locales

Dinum : Direction interministérielle du numérique

ESR : Enseignement supérieur et recherche

HCNE : Haut Comité pour le numérique écoresponsable

Inet : Institut national des études territoriales

INHA : Institut national d'histoire de l'art

IRHT : Institut de recherche et d'histoire des textes

MiNumÉco : Mission interministérielle numérique écoresponsable

MSHS : Maison des sciences de l'homme et de la société

OCLC : *Online Computer Library Center*

SCD : Service commun de documentation

Siaf : Service interministériel des archives de France

UB : Université de Bourgogne

Unesco : Organisation des Nations Unies pour la science, l'éducation et la culture

Cadre législatif et réglementaire :

AGEC : Loi anti-gaspillage pour une économie circulaire

CPER : Contrat de plan État-région
REEN : Loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique
RGESN : Référentiel général d'écoconception des services numériques
SNBC : Stratégie nationale bas-carbone

Formats de fichiers pour image numérique et normes de compression :

ICT : *Irreversible Component Transfer*
JPEG : *Joint Photographic Experts Group*
PDF : *Portable Document Format*
PNG : *Portable Network Graphic*
RCT : *Reversible Component Transfert*
TIFF : *Tag Image File Format*

Sigles divers :

ACV : Analyse du cycle de vie
ARK : *Archival Ressource Key*
DEEE (ou D3E) : Déchets des équipements électriques et électroniques
DOI : *Digital Object Identifier*
DSI : Direction des services informatiques
EAD : *Encoded Archival Description*
GES : Gaz à effet de serre
IIIF : *International Image Interoperability Framework*
LTO : *Linear Tape-Open*
NAS : *Network Attached Storage*
OAIS : *Open Archival Information System*
OCR : *Optical Character Recognition*
ODD : Objectif de développement durable
PAC : Plateforme d'archivage au Cines
PUE : *Power Usage Effectiveness*
RSE : Responsabilité sociale et environnementale
SPAR : Système de préservation et d'archivage réparti
TIC : Technologies de l'information et de la communication

Les termes de *scanner* et de *numériseur* seront employés indifféremment, tout comme ceux de *digitalisation* et de *numérisation*.

INTRODUCTION

La prise de conscience de l'impact environnemental du numérique est chose récente, née peu ou prou avec le millénaire. Marqué par le développement de l'Internet grand public, du smartphone et des réseaux sociaux et par l'entrée soudaine dans l'ère du *big data* et de l'économie des données personnelles, le début des années 2000 apparaît ainsi comme un moment charnière. L'enthousiasme technologique des débuts de la cybernétique se heurte soudain aux limites physiques d'un univers numérique confronté à la production et à l'exploitation de quantités de données massives. L'accélération de la numérisation de pans entiers de l'économie mondiale a conduit à une augmentation vertigineuse du nombre de données numériques créées ou répliquées à travers la planète : leur somme totale est passée, entre 2010 et 2020, de 2 zettaoctets (ZO) – soit 2 000 milliards de gigaoctets (Go) –, à 64 Zo².

Dans ce contexte global, s'intéresser aux données produites par les politiques de numérisation patrimoniale relèverait presque du domaine de l'anecdote. À l'aune de cette trajectoire effrénée, que la généralisation des objets connectés et le déploiement de l'intelligence artificielle sont sur le point d'amplifier encore, non seulement la quantité des données mises en ligne par les établissements patrimoniaux est infime, mais les usages qui en sont faits apparaissent bien peu gourmands. À titre de comparaison, les usages numériques du secteur du divertissement (vidéo en *streaming*, *cloud gaming*, etc.) ont des impacts bien plus considérables. Plus encore, la numérisation patrimoniale, devenue une pratique courante portée par d'ambitieuses politiques publiques, peut fonder sa légitimité sur la recherche de l'intérêt général. Les trois missions qui lui sont principalement assignées poursuivent ainsi, souvent en amplifiant les effets, les objectifs collectivement reconnus aux bibliothèques : préservation et conservation des collections (en proposant un substitut numérique aux originaux trop fragiles ; en permettant la diffusion et la consultation de ces derniers, en dépit de leur état matériel), diffusion et valorisation du patrimoine (à des fins culturelles, scientifiques et pédagogiques) ; amélioration des services rendus aux usagers (accès facilité, modalités de consultation améliorées, exploitation, recherche et appropriation des corpus par des outils logiciels)³.

Ceci posé, la présence des bibliothèques dans l'écosystème numérique n'est évidemment pas innocente : les politiques de numérisation patrimoniale produisent des données numériques, dont le cycle de vie n'est pas sans effet : leur production, leur stockage et leur pérennisation sont consommateurs d'énergie, de manière parfois très vorace. En outre, les appareils de prise de vue (numériseurs ou appareils photo) font partie de ces équipements à forte composante électronique, dont la production et la gestion de la fin de vie sont particulièrement critiques. Énergivores, consommateurs d'eau et de ressources abiotiques (dont les fameux métaux rares), ces appareils, ainsi que l'ont montré les enquêtes de l'Ademe et de

² STRICOT Matthieu, « Penser des datacenters moins énergivores », *CNRS Le journal*, 14 septembre 2023. Disponible en ligne : <https://lejournale.cnrs.fr/articles/penser-des-datacenters-moins-energivores> (consulté le 4 février 2024).

³ CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Numériser et mettre en ligne*, Villeurbanne : Presses de l'Enssib, 2010, p. 8-9.

l'Arcep, représentent une part considérable de l'impact environnemental du numérique. Enfin, la numérisation patrimoniale s'accompagne de la mise en ligne de contenus, de la création de portails et de services numériques qui représentent une part sans cesse croissante de la consommation énergétique des foyers, estimée pour l'heure, en France, à 10 % de la consommation électrique nationale.

Il convient donc, au moment d'aborder cette question, d'avancer sur deux pieds : garder à la fois à l'esprit la modestie de l'impact des numérisations patrimoniales (contrebalancé de surcroît, nous y reviendront, par l'ensemble des « externalités positives » induites par la numérisation de documents patrimoniaux), et la réalité de la responsabilité qu'engagent les bibliothèques patrimoniales en affirmant leur présence dans l'écosystème digital. Lieux-clefs de l'inclusion numérique, les bibliothèques portent assurément une exigence d'exemplarité dans la gestion de cette ressource numérique, qu'à la suite, entre autres, de Frédéric Bordage, elles doivent désormais considérer comme une « ressource critique, non renouvelable [et] en voie d'épuisement »⁴. Comment concilier la poursuite des missions assignées aux politiques de numérisation patrimoniales et la nécessité d'intégrer, dans leur définition et leur mise en œuvre, l'enjeu de la responsabilité environnementale ?

Comme nous le verrons dans un premier temps, la prise de conscience de cette responsabilité émerge à peine. Après avoir été, pour des raisons diverses, longtemps invisibilisé, l'impact des activités numériques fait désormais l'objet d'un constat généralement partagé. C'est sur ce constat que s'est appuyé, depuis quelques années seulement, un appareil législatif, réglementaire et normatif fourni, parfois même touffu. Après avoir ainsi surgi, avec une certaine soudaineté, à l'agenda politique et médiatique, les « effets pervers » du « tout-numérique » ont commencé à infuser dans le petit monde des bibliothèques. Nous verrons toutefois qu'au regard de cette progressive prise de conscience, la question de la numérisation du patrimoine demeure largement impensée.

Lorsque l'on tente d'identifier l'impact environnemental du numérique, on distingue, classiquement, les effets directs (c'est-à-dire « l'empreinte environnementale liée à l'extraction de ressources, la fabrication, le transport, l'usage et la fin de vie d'un service numérique et des équipements qui y sont liés »⁵) des effets indirects (c'est-à-dire les « effets produits par l'usage d'un service numérique »), qui, outre d'être d'une grande variété, ne sont mesurables qu'à une échelle macroscopique, voire systémique. Le tableau ci-dessous, modélisé par l'Ademe dans une étude récente⁶, offre un cadrage très fin de cette notion d'impact environnemental du numérique.

Sans suivre à la lettre cette typologie (nous ne disposons, à l'évidence, ni du temps ni des compétences pour appliquer, par exemple, la méthodologie d'analyse du cycle de vie aux équipements de numérisation), nous nous proposons toutefois d'éclairer l'impact des politiques de numérisation par une approche graduée. Il s'agira, tout d'abord, de mesurer l'impact direct du cycle de vie des données numériques. Tout en tâchant d'identifier (et, dans la mesure du possible, de

⁴ BORDAGE Frédéric, « Le numérique est une ressource non renouvelable », *GreenIT.fr*, 27 août 2019, en ligne : <https://www.greenit.fr/2019/08/27/le-numerique-est-une-ressource-non-renouvelable/> (consulté le 22 février 2024).

⁵ ADEME, *Impact environnemental des usages du numérique en Grand Est. Rapport final*, septembre 2023, p. 55.

⁶ *Ibid.*, p. 56.

quantifier) les impacts de leur production, de leur stockage et de leur pérennisation, nous tenterons de mettre à jour les possibles leviers de réduction de ces effets, à chacun des moments critiques de la chaîne de numérisation.

Puis, au-delà de la formulation de « bonnes pratiques », il nous semble que l'enjeu environnemental invite à réinterroger les « stratégies numériques »⁷ mises en œuvre par les bibliothèques patrimoniales, depuis maintenant près de trente ans. C'est ce qu'esquissera, modestement, la dernière partie de ce mémoire, qui entend proposer, en mobilisant notamment la notion de « sobriété » et en s'appuyant sur des initiatives déjà opérationnelles, quelques pistes de réflexion en vue du déploiement de modèles de numérisation durables.

	Effet	Exemple (d'après Horner)	Méthodes
Direct / de première ordre	Empreinte « embarquée »	Énergie, matériaux, pollutions et ressources pour produire un système GPS	Analyse de cycle de vie
	Empreinte opérationnelle	Énergie, matériaux, pollutions et ressources pour faire fonctionner un système GPS	
	Empreinte de fin de vie	Énergie, matériaux, pollutions et ressources nécessaires à l'élimination d'un système GPS en fin de vie	
Cas frontière	Induction	Équipement induit par l'utilisation du système GPS (satellites, etc.) - peut également être considéré comme un effet direct ou un effet de rebond.	Analyse de cycle de vie
Indirect / de second ordre	Efficacité / optimisation	Une circulation plus efficace grâce à un routage amélioré par GPS.	<i>Enablement / Avoided Emissions Framework</i>
	Rebond direct	Davantage de déplacements en raison de la diminution des embouteillages.	Effet rebond
Indirect / de plus grand ordre (higher order)	Rebond indirect	Empreinte consommée pendant le temps gagné par des déplacements efficaces	
	Rebond macroéconomique	Le GPS permet les véhicules autonomes et entraîne la croissance de la fabrication de systèmes de transport intelligents.	
	Transformation systémique	Les véhicules autonomes modifient les habitudes de vie et de travail des personnes.	ND
Sources : adapté de Horner (2016) <i>Known unknowns : indirect energy effects of information and communication technology</i> ; Bieser & Hilty (2018) <i>Assessing Indirect Environmental Effects of Information and Communication Technology (ICT) : A Systematic Literature Review</i> ; Coroama et al. (2020) <i>A Methodology for Assessing the Environmental Effects Induced by ICT Services – Part I : Single Services</i>			

Figure 1. Typologie des impacts environnementaux d'un service numérique (ici, un système GPS)
 (source : ADEME, *Impact environnemental des usages du numérique en Grand Est. Rapport final*, septembre 2023, p. 56. Nous remercions chaleureusement Jean-Marie Feurtet pour nous avoir signalé cette ressource.)

⁷ Nous reprenons ici le titre de l'ouvrage d'Emmanuelle Chevy paru en 2011 aux éditions Hermès.

L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE : UN ENJEU NOUVEAU POUR LES BIBLIOTHÈQUES

1. UNE PROBLÉMATIQUE ÉMERGENTE...

1.1. Un sujet mal identifié ?

1.1.1. Réalité physique de l'univers numérique

L'univers numérique peut être présenté sous la forme d'un triptyque, composé des utilisateurs (c'est-à-dire les terminaux, les périphériques et les équipements : smartphones, téléviseurs, ordinateurs, objets connectés, etc.), des réseaux (c'est-à-dire l'ensemble des infrastructures reliant les terminaux entre eux et avec les centres informatiques : box, fibre, antennes relais, câbles, etc.) et des centres informatiques (baies de stockage et serveurs)⁸. À mesure que des solutions de stockage « virtuelles », à l'image du *cloud*, se sont développées, les utilisateurs des terminaux ont dissocié cet enjeu du stockage des données de ses impacts physiques⁹. Ce faisant, ils ont également cédé plus facilement à l'impression de « déterritorialisation » véhiculée par les discours de bon nombre d'acteurs du secteur du numérique, selon qui « les réseaux de communication nous permettraient de faire disparaître les distances et de créer un espace unique et indifférencié, sans histoire et sans géographie »¹⁰.

C'est pourquoi la littérature relative à l'impact environnemental du numérique ne manque presque jamais de souligner, à raison, la réalité toute matérielle du cyberspace. Les images de milliers de kilomètres de câbles sous-marins, l'évocation du ronflement interrompu des couloirs des *data centers*, ou encore l'expression, récemment surgie dans le champ médiatique, de « terres rares » suffisent déjà à rendre plus sensible cette concrétude du monde numérique. Concrétude que le journaliste spécialisé Guillaume Pitron peut ainsi résumer, dans une formule lapidaire :

avec les milliards de serveurs, antennes, routeurs et bornes WiFi actuellement en fonctionnement, les technologies « dématérialisées » ne sont pas seulement consommatrices de matières ; elles sont en voie de constituer l'une des plus vastes entreprises de matérialisation jamais engagées¹¹.

La dématérialisation d'une part grandissante de nos activités s'est ainsi accompagnée du développement d'une infrastructure matérielle qui, pour être

⁸ BORDAGE Frédéric, *Empreinte environnementale du numérique mondiale*, septembre 2019. Disponible en ligne : https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf (consulté le 16 septembre 2023).

⁹ PENDERGRASS Keith L., ALAGNA Laura, SAMPSON Walker et WALSH Tim, « Toward Environmentally Sustainable Digital Preservation », *The American Archivist*, vol. 82, n° 1, 2019, p. 174.

¹⁰ ROUSSILHE Gauthier, « Paradoxes et enjeux environnementaux de la numérisation [1/4] », 2021. Disponible en ligne : <https://gauthierroussilhe.com/articles/paradoxes-et-enjeux-environnementaux-de-la-numerisation> (consulté le 10 janvier 2024).

¹¹ PITRON Guillaume, « Quand le numérique détruit la planète », *Le Monde diplomatique*, octobre 2021, p. 18-19.

souvent invisibilisée, n'en est pas moins émettrice d'externalités négatives, au premier rang desquelles doit être comptée l'empreinte environnementale.

Celle-ci peut s'apprécier à deux échelles. La méthode la plus couramment retenue, car la plus simple à mettre en œuvre, consiste à évaluer « l'empreinte carbone » du numérique, c'est-à-dire mesurer les GES émis à chaque maillon de la chaîne de valeur du numérique. L'infographie présentée en Annexes, tirée d'une enquête récente de l'Ademe et de l'Arcep, permet de constater que l'empreinte carbone du numérique se concentre essentiellement sur la phase de fabrication (des terminaux, réseaux et serveurs) et, si l'on reprend la structuration en « triptyque » du numérique, sur les équipements, loin devant les datacentres et les réseaux. Toutefois, bien que ce soit le plus souvent sous l'angle des émissions de gaz à effet de serre que la question de l'empreinte environnementale du numérique est abordée, seule l'analyse du cycle de vie (dite « méthode ACV », sur laquelle nous revenons ci-dessous) permet de parvenir à une quantification complète des impacts¹². Elle a été mise en œuvre par l'Ademe et l'Arcep dans une enquête de 2020, qui n'inclut pas moins de 12 indicateurs environnementaux, notamment l'épuisement des ressources abiotiques (fossiles, minérales et métaux), l'acidification des sols ou les radiations ionisantes. Or, si les impacts liés à la consommation énergétique (empreinte carbone, mais aussi radiations ionisantes et épuisement des ressources fossiles) sont communs à de nombreux secteurs, la singularité de l'impact du numérique réside dans l'épuisement des ressources abiotiques¹³. Le matériel informatique comporte ainsi des dizaines de composants variés (matières synthétiques, métaux, terres rares...), qui nécessitent une activité extractive massive (à titre d'exemple, l'Ademe estime à 800 kg la quantité de terres rares à extraire pour la production d'un seul ordinateur portable¹⁴). L'impact de l'utilisation des infrastructures numériques résulte essentiellement de l'alimentation électrique des appareils et du refroidissement des centres de calcul, tandis que leur fin de vie représente un défi toujours considérable, au vu de la toxicité de leurs composants.

1.1.2. Deux transitions incompatibles ?

Si la problématique qui nous intéresse ici n'a émergé que tardivement dans le débat public, c'est sans doute également en raison des rapports ambivalents entretenus entre deux des grands enjeux du début du millénaire : la transition écologique et la transition numérique. Le recours au numérique, et la « dématérialisation » des activités qu'il induit, ont en effet longtemps été considérés comme des alternatives entièrement « propres » à des activités fortement polluantes (transports, impression, production d'emballages, etc.), dont elles permettraient de contrer les impacts environnementaux négatifs (émission de gaz à effet de serre, déforestation, etc.). Plus encore, les technologies informatiques peuvent être envisagées comme des alliés dans la lutte contre le changement climatique et dans la nécessaire adaptation à ses effets. Qu'il s'agisse

¹² ORY-LAVOLLÉE Bruno (dir.), *Numérique culturel : tous responsables ?*, octobre 2021, Centre des hautes études de la culture, p. 8-9.

¹³ ARCEP et ADEME, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022.

¹⁴ Cité par : NICOLET Aurèle, « Enjeux autour de l'impact environnemental des humanités numériques », *Journal of Information Sciences*, vol. 21, n° 2, 2022, p. 34.

de comprendre, en l'analysant et la modélisant, la crise environnementale, ou de développer des outils de simulation, de prédiction et d' « éco-gouvernance »¹⁵, les technologies de l'information et de la communication apparaissent aussi comme des leviers d'optimisation des politiques publiques au service du développement durable¹⁶.

Le Shift Project, dans un rapport de 2020 sur la « sobriété numérique », pointait avec une grande clarté cette ambivalence du numérique qui, quoique riche de promesses, n'échappe pas à la contrainte environnementale :

Le numérique est donc à la fois outil et défi pour la transition carbone : les opportunités qu'il propose sont réelles, mais soumises aux mêmes contraintes que le reste de nos systèmes. Il est donc de notre ressort et de notre responsabilité de choisir les directions à donner à nos usages et infrastructures numériques pour en garantir la résilience et la pérennité¹⁷.

Bernard Stiegler a ainsi pu parler du numérique comme d'un *pharmakon* : à la fois remède et poison¹⁸. Si Stiegler le mobilise dans une approche systémique, le concept peut être repris avec profit sous l'angle plus particulier des rapports entre numérique et écologie : face à la perspective enthousiaste d'une digitalisation *curative*, la menace de sa *toxicité* se révèle chaque jour plus tangible.

Le secteur culturel n'entretient pas, face au numérique, un rapport moins ambivalent que d'autres secteurs de l'activité humaine. Au contraire, outre l'enjeu strictement environnemental, le numérique culturel met pleine en lumière, nous semble-t-il, la question de l'impact sociétal. Question que pose même avec une singulière intensité le cas précis de la numérisation patrimoniale : outil puissant de démocratisation culturelle, d'ouverture et de partage d'un patrimoine riche mais trop souvent tenu caché, il participe toutefois, à son insu, d'un écosystème numérique dont le bilan sociétal, plus que contrasté, pose nombre de défis nouveaux : de la fracture numérique à la surconsommation d'écrans, en passant par les effets du numérique sur les capacités cognitives et attentionnelles¹⁹.

L'ambiguïté et l'insaisissabilité du *pharmakon* numérique n'est jamais plus perceptible qu'au moment de se confronter à ces dilemmes, dont l'issue est presque toujours décevante, qui consistent à mettre en balance l'empreinte environnementale du livre papier et du livre numérique, ou l'impact d'une pièce de théâtre jouée « en présentiel » ou « en live HD »²⁰. En réalité, il s'avère à peu près impossible de fournir une réponse simple et claire à ce genre d'interrogations, à la

¹⁵ L'enjeu est très bien résumé dans le récent (novembre 2023) *Rapport de prospective du Conseil scientifique de l'Institut des sciences informatiques et leurs interactions* (INS2I), notamment aux pages 14-15.

¹⁶ ULLMANN Charlotte, VIDAL Philippe et BOURCIER Alban, « L'avènement d'une société de l'information durable », *Netcom*, 22-3/4, 2008, en ligne, consulté le 22 février 2024 : <http://journals.openedition.org/netcom/1749>. <https://doi.org/10.4000/netcom.1749>.

¹⁷ THE SHIFT PROJECT, *Déployer la sobriété numérique*, octobre 2020, p. 2.

¹⁸ STIEGLER Bernard, « Numérique, éducation et cosmopolitisme », entretien avec Paul Audi et Cyril Bedel, *Cités*, 2015, n° 63, p. 13-36.

¹⁹ Nous renvoyons, pour une mise au point exhaustive et stimulante sur cette question, à un rapport récemment produit par le Cycle des hautes études de la culture, dans le sillon ouvert par les travaux d'Yves Citton : BOCHARD Rémi, FOUCHER Aurélie, GUÉPRATTE Juliette, LANOOTE Sophie et VELLOZZO Philippe, *Culture et numérique. Pour une écologie de l'attention*, Cycle des hautes études de la culture, 2023, 56 p.

²⁰ Le *Shift Project*, dans son rapport *Décarbonons la culture !*, s'est essayé à cet exercice, concluant à un bilan carbone similaire pour les deux types d'événements (cité par : ORY-LAVALLÉE, Bruno (dir.), *op. cit.*, p. 17).

fois en raison du poids déterminant du contexte et d'une quantité de facteurs interdépendants, qu'il est extrêmement délicat de dénombrer, de circonscrire et de hiérarchiser, et en raison de la difficulté, propre sans doute à l'univers numérique, d'appuyer l'estimation sur des données fiables.

1.1.3. Un obstacle : le manque d'indicateurs

En effet, la mesure de cette « toxicité » achoppe sur la difficulté à appuyer un diagnostic sur des indicateurs précis. Le *Référentiel 2022 sur la dématérialisation écoresponsable*, produit par la société Serda Conseil, cabinet de conseil en transformation digitale, pointe crûment ce défaut d'information :

La bibliographie pourtant sur le sujet est aujourd'hui peu fournie. Alors même qu'il existe plusieurs initiatives autour de l'éco-responsabilité du numérique, des actions de sensibilisation, des schémas directeurs de haut niveau, il y a un manque flagrant de chiffres et outils de mesure valable à petite échelle voire échelle individuelle. Cela représente un frein à toute prise de décision portant sur la maîtrise de l'impact du numérique et la comparaison des alternatives numériques à leurs équivalents physiques²¹.

L'association OpenDataFrance, engagée dans l'ouverture des données publiques, évoque quant à elle « l'opacité des méthodes et des données utilisées pour estimer l'impact environnemental du numérique »²².

Pourtant, comme le note le rapport sous-titré *Numérique culturel : tous responsables ?*, produit en 2021 par l'un des groupes de travail du Cycle des hautes études de la culture (CHEC) :

sur le plan méthodologique, le numérique ne présente pas de spécificité s'agissant de la mesure de son empreinte environnementale. Comme toute autre activité économique, la démarche la plus aboutie à cet effet consiste en la réalisation d'une « analyse du cycle de vie multicritère » (ACV)²³.

Cette méthode ACV, qui a fait l'objet d'une normalisation internationale (normes ISO 14040 et 14044), est un outil de diagnostic, qui permet de mesurer les impacts environnementaux d'un service ou d'un produit sur l'intégralité de son cycle de vie : depuis l'extraction des matières premières nécessaires à sa conception jusqu'à son traitement en fin de vie, en passant par sa fabrication, sa mise en circulation et son utilisation. Elle vise à intégrer le plus grand nombre possible de paramètres environnementaux, en inventoriant et quantifiant l'intégralité des flux entrants (matières premières extraites, énergie consommée, etc.) et des flux sortants (pollution émise, déchets produits, éléments recyclés, etc.). Au vu de l'ampleur de la démarche et de la difficulté à collecter les données, elle n'est toutefois que rarement mise en œuvre par les études visant à estimer l'empreinte environnementale du numérique, qui se bornent souvent à l'évaluation d'une « empreinte carbone » limitée aux émissions de gaz à effet de serre. On trouvera

²¹ FUZEAU Pierre, *Réduire votre impact environnemental grâce au référentiel 2022 sur la dématérialisation écoresponsable*, Serda Conseil, 2022, en ligne : go.serda.com/1/699653/2022-03-14/6ccls9 (consulté le 15 janvier 2024).

²² OPENDATAFRANCE, *Référentiel GreenData. Pour un impact environnemental maîtrisé*, septembre 2022, p. 9.

²³ ORY-LAVOLLÉE Bruno (dir.), *Entre potentiel de création et risque de dilapidation des ressources, un numérique culturel à inventer. Numérique culturel : tous responsables ?*, octobre 2021, Centre des hautes études de la culture, p. 6.

un exemple de sa mise en pratique dans la précieuse étude que l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) a produite en 2022 au sujet de l'impact environnemental du numérique en France. Ses auteurs concèdent toutefois qu'elle s'avère « complexe à mettre en œuvre, notamment parce qu'elle nécessite des données difficilement accessibles »²⁴.

Gauthier Roussilhe fournit quelques explications à cette difficulté persistante à modéliser l'empreinte environnementale du secteur numérique. Si l'on manque de données fiables et comparables à ce sujet, c'est, tout d'abord, en raison de la complexité des appareils à forte composante électronique, qui multiplie le nombre de fournisseurs impliqués. Il s'avère ainsi très délicat de retracer les chaînes de production, d'approvisionnement et de distribution pour la fabrication d'un simple smartphone. D'autre part, cette opacité s'explique également par le caractère très concurrentiel de ce secteur économique, dont les principaux acteurs sont attachés à la confidentialité des données²⁵. Cherchant à identifier les freins au développement d'un numérique plus responsable, les spécialistes interrogés par ... ont ainsi largement mis en avant « la complexité du périmètre numérique », due essentiellement à l'omniprésence des services numériques et à leur intersectorialité, ainsi qu'au manque de méthodologie partagée et de données²⁶.

On comprend donc sans peine la difficulté supplémentaire posée par la tentative de « sectoriser » l'empreinte environnementale. Le groupe de travail du CHEC, en essayant de mesurer l'impact lié au seul secteur culturel, s'est rapidement heurté aux limites d'une telle approche. Outre les spécificités, exposées plus haut, propres à la chaîne de valeur du numérique, cette difficulté tient principalement à deux types de raisons : d'une part en raison de l'incertitude à définir le périmètre précis d'un « numérique culturel » ; d'autre part en raison de « l'économie de coûts fixes » qui caractérise l'empreinte environnementale : celle-ci est majoritairement générée par les équipements et les infrastructures – qui sont partagées. Ce modèle infrastructurel empêche de circonscrire la responsabilité environnementale d'un secteur – et, de surcroît, d'une activité précise.

1.2. Un constat partagé

1.2.1. Une trajectoire insoutenable

En dépit de ces difficultés, la nécessité de prendre à bras le corps le défi posé par les multiples impacts environnementaux du numérique tend à s'imposer. Il n'est pas impossible que la crise de la covid-19, dont l'Arcep, dans son Baromètre du numérique 2021, constatait qu'elle avait porté « un coup d'accélérateur à la digitalisation »²⁷, ait joué un rôle décisif dans la prise de conscience des multiples impacts de la numérisation de nos sociétés. Quoiqu'il en soit, les travaux, études et rapports se multiplient depuis le début de la décennie. Tous pointent vers une

²⁴ ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, p. 4.

²⁵ ROUSSILHE Gauthier, art. cit.

²⁶ ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. État des lieux et pistes d'action. Rapport 1/3*, janvier 2022, p. 60.

²⁷ ARCEP, *Baromètre du numérique. Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*, 2021, p. 9.

même conclusion : en l'état actuel, la trajectoire de l'empreinte environnementale du numérique n'est pas maîtrisée.

Le Shift Project, dans un rapport publié en 2021 à l'occasion du déploiement de la 5G en France, rappelait ainsi que la consommation d'énergie finale du numérique, à l'échelle mondiale, avait augmenté d'environ 6,2 % par an, sur la période 2015-2019²⁸, et que la part des émissions de gaz à effet de serre attribuable au numérique était passée de 2,9 % en 2013 à 3,5 % en 2019²⁹. On parle aujourd'hui de 4 %, et les projections de l'Ademe évoquent le chiffre de 8 % pour... 2025³⁰. Quant aux D3E, leur volume total, qui s'élevait à 53,6 millions de tonnes en 2019, pourrait atteindre près de 75 millions de tonnes en 2030³¹. Les derniers chiffres en date, publiés par l'Ademe et l'Arcep en 2023, prévoient qu'en l'absence d'action sur la réduction de l'empreinte environnementale du numérique, et si les usages continuent de croître à leur rythme actuel, le trafic des données serait multiplié par 6, ce qui entraînerait une hausse de 45 % de l'empreinte carbone du numérique entre 2020 et 2030, et un triplement à l'horizon 2050³².

Le plus préoccupant est assurément de constater que ces projections vertigineuses font fi des gains, réels, d'efficacité énergétique promis par la loi de Koomey (laquelle, jusqu'à présent, s'est vérifiée) qui prévoit le doublement du nombre de traitement par joule tous les deux ans³³. Comme le rappelait Fabrice Flipo en 2020, « l'efficacité énergétique a des limites absolues qui se rapprochent rapidement »³⁴. Autrement dit, la consommation est en train de croître beaucoup trop rapidement pour pouvoir être absorbée par les gains d'efficacité énergétique ; ceux-ci ont au contraire donné lieu à un « effet-rebond » : les gains ainsi permis ont créé un « appel d'air » dans lequel se sont engouffrés de nouveaux usages encore plus gourmands. Le rapport du *Shift Project* sur l'empreinte environnementale du numérique, paru dans le contexte de déploiement de la 5G en France, a averti sur la nécessité d'accompagner le déploiement de ce réseau de nouvelle génération d'une réflexion sur les usages que l'on entend y promouvoir : « l'augmentation des impacts de la 5G est inévitable si les usages ne sont pas encadrés » constate le think tank, qui note également que :

la consommation totale de nos usages numériques augmente de manière continue depuis plusieurs dizaines d'années malgré les améliorations technologiques très importantes de l'efficacité énergétique unitaire au fil des générations de réseaux³⁵.

²⁸ THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G. Note d'analyse*, mars 2021, p. 12.

²⁹ *Ibid.*, p. 17.

³⁰ MINISTÈRE DE LA CULTURE, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*, décembre 2023, p. 45.

³¹ CHAKRABORTY Shovra Chandra et al., « Metals in e-waste : Occurrence, fate, impacts and remediation technologies ». *Process Safety and Environmental Protection*, n° 162, 2022, p. 230-252.

³² ADEME et ARCEP, *Communiqué de presse : Christophe BECHU, Agnès PANNIER-RUNACHER et Jean-Noël BARROT reçoivent l'évaluation prospective de l'ADEME et l'ARCEP sur l'impact environnemental du numérique en 2030 et 2050*, 6 mars 2023.

³³ BORDAGE Frédéric, op. cit.

³⁴ FLIPO Fabrice, *L'impératif de la sobriété numérique. L'enjeu des modes de vie*, Paris : Éditions Matériologiques, coll. « Essais », 2020, p. 355.

³⁵ THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*, op. cit., p. 29.

Un exemple fera peut-être mieux comprendre la dynamique inflationniste entretenue par cette logique d'effets-rebonds : le déploiement de la 5G, s'il ne s'accompagne pas d'une régulation des usages, rend désormais possible des pratiques telles que le streaming de réalité virtuelle sur les réseaux mobiles, qui risquent à leur tour... de saturer ces nouveaux réseaux³⁶.

En bref, tout autorise à conclure, avec le Shift Project qui, dès 2021, posait ce constat sans appel, que « les tendances restent insoutenables et incompatibles avec le respect des accords de Paris »³⁷.

1.2.2. Un cadre législatif et réglementaire récent mais fourni

De ce constat partagé, le législateur français s'est emparé de manière assez volontariste, au point de faire figure de pionnier dans la promotion d'un numérique responsable. Cet enjeu est apparu pour la première fois dans la loi du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et l'économie circulaire (loi AGEC), qui préconisait un allongement de la durée de vie des équipements. La même année, l'impact environnemental du numérique avait été pointé par la Convention citoyenne pour le climat. Les propositions mises en avant demeuraient toutefois peu ambitieuses, concernant avant tout l'information du consommateur (notamment par le recours aux écolabels et à une politique de sensibilisation à l'impact carbone du numérique) et l'écoconception des logiciels et des services numériques. Toujours en 2020, une mission d'information sénatoriale sur l'empreinte environnementale du numérique produisit un rapport inédit, qui pointait notamment la nécessité de faire toute la lumière sur un sujet « trop peu documenté et trop méconnu du grand public ».

La philosophie générale de ce rapport inspira la proposition de loi visant à réduire l'empreinte environnementale du numérique en France, déposée en octobre 2020, adoptée par l'Assemblée nationale en juin 2021, par le Sénat en novembre 2021, et finalement promulguée le 15 novembre 2021. Cette loi, dite loi REEN, est, pour l'heure, sans équivalent à l'échelle mondiale. Elle se propose d'intervenir sur cinq champs d'action : la sensibilisation à l'impact environnemental du numérique ; la limitation du renouvellement des terminaux ; le soutien aux usages écoresponsables du numérique ; la promotion de centres de données et de réseaux moins énergivores ; la promotion d'une stratégie numérique responsable dans les territoires. Cette loi, qui vise « la convergence des transitions numérique et écologique », a mis sur pieds plusieurs dispositifs opérationnels, parmi lesquels on peut citer : la création d'un observatoire des impacts environnementaux du numérique et d'un référentiel général d'écoconception des services numériques, le renforcement des dispositions de la loi AGEC (lutte contre l'obsolescence, soutien à la réparation et au reconditionnement, information du consommateur, etc.) ou encore l'obligation faite aux communes et intercommunalités de plus de 50 000 habitants d'élaborer une stratégie numérique responsable.

Un an plus tard, le pilotage des politiques publiques en matière de numérique responsable a été confié à une nouvelle instance : le Haut Comité pour le numérique écoresponsable (HCNE). Lors de sa deuxième réunion, le 4 juillet 2023,

³⁶ THE SHIFT PROJECT, *Décarbonons la culture !*, novembre 2021, p. 198.

³⁷ THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G*, op. cit., p. 17.

a été présentée une feuille de route « décarbonation du numérique », conformément aux préconisations de la loi du 22 août 2021, dite « Climat et résilience », qui disposait que, pour chaque secteur fortement émetteur de gaz à effet de serre, une feuille de route devait être établie par les représentants des filières économiques, le gouvernement et les représentants des collectivités territoriales. Le plan d'action décliné par cette feuille de route³⁸ présente plusieurs leviers pour agir sur l'empreinte carbone du numérique. Tous les maillons de la chaîne de valeur du numérique sont concernés, de la conception des terminaux à l'écoconception des services numériques, en passant par les réseaux et les datacentres. Les nombreuses fiches opérationnelles, qui constituent l'essentiel de cette feuille de route, sont une ressource de première importance pour les acteurs publics qui s'engageraient dans la voie d'un numérique responsable. Enfin, si l'on ajoute l'appel à projet visant à soutenir une « économie numérique innovante, circulaire et à moindre impact environnemental », lancé par l'Ademe, dans le cadre du programme France 2030, ou encore la prochaine stratégie nationale bas carbone (SNBC), qui sera publiée en 2024 et qui devrait intégrer la question du numérique, il semble bien qu'en l'espace de quelques années, les politiques publiques n'ont cessé d'inclure le numérique à l'horizon de la transition écologique.

1.2.3. De la reconnaissance de la responsabilité à l'impératif de la durabilité

Cet arsenal législatif, réglementaire et normatif recourt volontiers à la terminologie de « numérique responsable » ou « écoresponsable ». Pour mieux saisir la portée de cette notion récente d'écoresponsabilité, on gagnera à la replacer dans la perspective plus large de la responsabilité sociale et environnementale (RSE).

On définira la responsabilité comme « l'obligation faite à une personne de répondre de ses actes du fait du rôle et des charges qu'elle doit assumer, et d'en supporter toutes les conséquences ». Si l'article 15 de la Déclaration des droits de l'homme et du citoyen de 1789 impliquait déjà une forme de redevabilité des administrations vis-à-vis des administrés (« La Société a le droit de demander compte à tout agent public de son administration »), c'est d'abord le monde de l'entreprise qui a intégré cette notion de « responsabilité sociale ». En gestation durant tout le XXe siècle, elle est théorisée dès le milieu des années 1950 par l'économiste Howard Bowen, mais ne s'est formalisée qu'assez récemment, et ce n'est qu'au cours des années 2000 qu'elle est devenue une préoccupation permanente des entreprises. Un jalon important de cette formalisation de la notion de RSE est la norme ISO 26000, publiée en 2010. Elle fixe les contours d'une notion nouvelle, la « responsabilité sociétale », qu'elle définit comme :

la responsabilité d'une organisation vis-à-vis des impacts de ses décisions et de ses activités sur la société et sur l'environnement, se traduisant par un comportement transparent et éthique.

Dans la perspective éthique défendue par les promoteurs de la responsabilité sociétale, l'entreprise doit ainsi intégrer les préoccupations sociales, environnementales et économiques dans ses activités et ses interactions avec ses partenaires. La RSE invite ainsi à redéfinir la notion de performance : l'efficacité

³⁸ COLLECTIF, *Proposition de Feuille de route de décarbonation de la filière numérique*, juillet 2023, 243 p.

économique n'est plus qu'une des facettes d'une « performance globale », qui englobe également la préservation de l'environnement écologique, le progrès social et la prise en compte de l'aspect sociétal.

Parallèlement à cette institutionnalisation de la responsabilité sociale de l'entreprise, les années 2000 sont marquées par une progressive convergence entre les actions menées par les entreprises et celles conduites par le secteur public. La responsabilité sociale et environnementale des institutions n'a donc été formalisée qu'assez récemment : dispose aujourd'hui d'un cadre institutionnel et légal qui ne cesse de s'enrichir. Il réoriente notamment la notion juridique de responsabilité vers le principe philosophique et moral d'exemplarité : émerge alors le concept d'État exemplaire, c'est-à-dire transparent et assumant les conséquences de ses actions. La notion d'exemplarité suppose également un rôle d'entraînement et d'influence sur les pratiques d'autres acteurs : est exemplaire ce qui s'érige en modèle.

Ce processus de responsabilisation des institutions s'inscrit en fait dans la démarche de développement durable. Ce concept est défini dès 1987 dans le rapport Brundlandt comme un modèle permettant de « satisfaire les besoins des populations actuelles, à commencer par ceux des plus démunies, sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs ». En 1992, l'Agenda 21, adopté à la suite du Sommet de la Terre de Rio, lie encore plus étroitement les dimensions environnementale, économique et sociale : la protection des ressources et du vivant étant inséparables de la recherche du progrès économique et de la justice sociale. Cet Agenda 21 a été mis à jour par l'ONU en 2015, dans un Agenda 2030 qui fixe 17 objectifs de développement durable (ODD).

Prendre acte de la responsabilité des usages du numérique, c'est-à-dire reconnaître que ceux-ci ne sont pas sans effet sur les autres acteurs sociaux et sur l'environnement, invite donc à promouvoir un « numérique durable ». La recherche de la durabilité apparaît comme la conséquence logique de la prise en compte de la responsabilité.

2. ... DONT LES BIBLIOTHÈQUES S'EMPARENT TIMIDEMENT

2.1. Bibliothèques et numérique (éco)responsable

2.1.1. Les bibliothèques : « clés de voûte de la sobriété numérique »³⁹ ?

Il ne fait guère de doute que les bibliothèques sont, de longue date, des lieux pionniers de la numérisation de nos sociétés. Parallèlement, dès le début des années 2000, elles ont veillé à prendre en compte la responsabilité sociétale et environnementale de leur action, en se plaçant, à leur tour, dans la perspective du développement durable : en témoignent l'émergence de la notion de « bibliothèque verte », la volonté, relayée par un important travail d'*advocacy*, d'inscrire l'action

³⁹ Nous empruntons l'expression à : FEURTET Jean-Marie, art. cit., p. 5.

des bibliothèques dans le cadre de l'Agenda 2030⁴⁰, ou même le succès de la conception de « tiers-lieu » appliquée aux bibliothèques. Ces deux axes ont pu converger dans la prise en compte de l'impératif de la lutte contre la fracture numérique. L'inclusion numérique a ainsi été identifiée, dès la fin des années 2010, comme un enjeu relevant potentiellement du périmètre d'action des bibliothèques. À la fois acteur culturel de proximité, dont l'expertise dans la médiation des technologies de l'information et de la communication est clairement identifiée, et acteur intervenant dans le champ social, développant de longue date des pratiques d'accompagnement et de partenariat, la bibliothèque pouvait sans peine faire sien le combat contre l'illectronisme, dont les effets, dans un contexte de dématérialisation accrue des services publics, devenaient de plus en plus préoccupants :

Une bonne part du rôle des bibliothèques consiste donc à inventer et à mettre en œuvre une forme d'inclusion numérique par les usages culturels. Loin de s'opposer à la dimension sociale des bibliothèques, cet accompagnement des usages numériques nous semble essentiel car c'est un levier majeur à moyen et à long terme de résorption des fractures sociales⁴¹.

Devenue lieu incontournable de la socialisation du numérique, la bibliothèque a donc toute légitimité à s'engager dans la sensibilisation aux conséquences sociales, économiques et environnementales de la digitalisation, tout en expérimentant elle-même des bonnes pratiques. Jean-Marie Feurtet pointe le rôle moteur que les bibliothèques, fortes d'une expertise numérique accumulée de longue date, ont à jouer sur ce terrain :

En tant que centre d'apprentissage et de médiations, actrices centrales de l'inclusion, vitrines ou motrices de « campus verts », et plus encore [...] en tant que ressourceries numériques ou objethèques (prêt, médiation, mise à disposition collective d'infrastructures, terminaux et ressources), elles sont ou doivent devenir des clés de voûte de la sobriété numérique et de sa concrétisation auprès de publics (notamment étudiants) de plus en plus en demande⁴².

La Bibliothèque municipale de Lyon a récemment choisi de suivre cette voie, en inscrivant l'impératif de sobriété numérique dans son projet d'établissement⁴³. Parallèlement à un important volet de sensibilisation à l'impact environnemental du numérique, autant à destination des publics que des personnels (par des ateliers, un cycle de conférences, une « fresque du numérique », etc.), les actions concrètes portent sur l'augmentation de la durée de vie du matériel, l'écoconception des services numériques et, prochainement, la mise en œuvre d'un programme de mesure de l'empreinte environnementale du numérique à la BmL. Le Service de documentation de l'Université Lyon 1 fait également figure d'établissement pionnier en matière de numérique écoresponsable, grâce notamment à l'action de

⁴⁰ Cf. <https://agenda2030bibfr.wixsite.com/agenda2030bib/apropos>.

⁴¹ DIALLO Malik, « Les bibliothèques au service de l'inclusion numérique », *Bulletin des bibliothèques de France (BBF)*, 2020-2. Disponible en ligne : <https://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2020-00-0000-046> (consulté le 28 janvier 2023).

⁴² FEURTET Jean-Marie, « Définir et s'appropriier la sobriété numérique : enjeu émergent pour l'Enseignement supérieur et la recherche, cap stratégique pour les bibliothèques », *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 5.

⁴³ LE TORREC Mélanie, « La mise en œuvre d'une politique de sobriété numérique dans une bibliothèque publique », *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 18-20.

la mission Développement durable dont il s'est doté à compter de septembre 2022. La réduction du parc informatique de la BU Sciences du campus de la Doua, et l'allongement de la durée de vie des équipements encore en fonction ont permis de réaliser des économies considérables d'émissions de gaz à effet de serre. Par ailleurs, l'élaboration d'une charte des bonnes pratiques numériques a permis d'intégrer cet enjeu au cœur des pratiques professionnelles quotidiennes⁴⁴.

2.1.2. Des stratégies numériques écoresponsables en cours d'élaboration

Promotion de bonnes pratiques et gestion durable du parc informatique semblent donc être les deux axes privilégiés d'une politique d'établissement qui fait place à l'enjeu du numérique responsable. Si plusieurs établissements s'emparent ainsi, « par le bas », de la question des externalités négatives du numérique, dans quelle mesure ces initiatives s'intègrent-elles dans une vision stratégique ?

Il convient naturellement de rappeler que les bibliothèques sont intégrées dans un environnement institutionnel, qui contraint leurs marges de manœuvre en matière de conversion à un « numérique responsable ». Les établissements demeurent largement dépendants des politiques des organismes de tutelle : Mélanie Le Torrec rappelle ainsi que le volontarisme de la BmL « s'inscrit dans le même calendrier que celui de la ville de Lyon, qui a effectué en juin 2021 le bilan carbone de ses services numériques »⁴⁵. Toutefois, la loi REEN, en imposant aux collectivités territoriales la formalisation d'une stratégie numérique responsable à l'horizon 2025, tend à imposer un cadre unique. Parallèlement, la mission interministérielle numérique écoresponsable (MiNumÉco), copilotée par la direction interministérielle du numérique (Dinum) et le ministère de la Transition écologique, s'est vu confier, lors de sa création en 2020, la tâche de « coordonner la stratégie de la performance environnementale des services numériques publics »⁴⁶. Elle est notamment chargée d'accompagner les ministères dans la réalisation de leurs plans d'action de réduction des impacts environnementaux du numérique. On retiendra surtout la parution de trois documents-cadres élaborés par la MiNumÉco, qui nous serviront de guide pour la formulation de bonnes pratiques, et auxquels nous renvoyons volontiers : le *Guide Bonnes pratiques Numérique responsable dans les organisations*⁴⁷, le *Guide pratique pour des achats numériques responsables*⁴⁸ et le *Référentiel général d'écoconception de services numériques*⁴⁹ (RGESN), tous accessibles librement en ligne.

La fin de l'année 2023 a vu le ministère de la Culture s'emparer à son tour du numérique responsable, pour en faire l'un des cinq axes de son programme de

⁴⁴ BOFFY François-Xavier, « Le numérique écoresponsable au SCD Lyon 1 », *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 10.

⁴⁵ LE TORREC Mélanie, art. cit., p. 18.

⁴⁶ MISSION INTERMINISTÉRIELLE DU NUMÉRIQUE ÉCORESPONSABLE, *Cadre d'action et offre de services de la mission interministérielle* : <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/plans-action-ministeres/cadre-action/>.

⁴⁷ <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/bonnes-pratiques/>.

⁴⁸ <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/guide-pratique-achats-numeriques-responsables/>.

⁴⁹ <https://ecoresponsable.numerique.gouv.fr/publications/referentiel-general-ecoconception/>.

transition écologique appliquée à l'ensemble des secteurs de la culture. Son *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture* propose ainsi des pistes pour « développer un numérique culturel sobre ». Cet axe se décline en deux orientations. La première vise notamment à informer les acteurs du monde culturel, à documenter les impacts de la création numérique et à privilégier les formats ouverts pour l'archivage des contenus numériques ; la seconde entend porter un plan d'action de sobriété numérique au ministère de la Culture et, de manière plus globale, une stratégie de sobriété numérique pour les établissements placés sous sa tutelle, en lien étroit avec les orientations fixées par la Dinum.

Le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche français, déjà sensibilisé à la problématique du numérique durable par l'ouverture des données, la promotion du libre et de l'interopérabilité, s'est emparé bien plus précocement de la question des impacts environnementaux du numérique. Dès 2006 est ainsi créé un groupement de service du CNRS, baptisé ÉcoInfo. Réunissant des ingénieurs et des chercheurs, il entend agir pour réduire les impacts négatifs, tant sociétaux qu'environnementaux, des technologies de l'information et de la communication. Sa directrice, Anne-Cécile Orgerie, peut ainsi constater qu'en une quinzaine d'années, l'ESR a pris de plus en plus nettement la mesure du problème :

nous sommes de plus en plus sollicités, à la fois par les universités et par les laboratoires. Nous sommes aussi impliqués dans les marchés publics, dont Matinfo qui est le marché pour l'achat du matériel informatique couvrant une très grande partie de l'ESR. Au fur à mesure de l'élaboration des différents marchés, on ajoute des questions permettant d'évaluer les répondants aux appels d'offres sur les questions d'impacts environnementaux. On voit, par exemple, un allongement de la durée de garantie des équipements, ou encore des écolabels de plus en plus forts⁵⁰.

2.2. Numérisation du patrimoine et impératif environnemental : un impensé ?

2.2.1. L'espace numérique, un terrain d'action privilégié des bibliothèques patrimoniales

Il semble que les institutions patrimoniales se sont moins activement emparées de la question de l'impact environnemental de leurs activités numériques. Pourtant, depuis maintenant plus de trente ans, elles se sont lancées avec énergie, par d'importants chantiers de numérisation de masse, dans le traitement numérique de leurs collections.

Les premiers projets de bibliothèques numériques, portés par la Bibliothèque nationale de France, la British Library ou la Library of Congress, ne visaient certes pas à l'exhaustivité : rappelons-nous ainsi le projet de « bibliothèque de l'honnête homme », visant les 100 000 ouvrages numérisés, qui devait constituer la première mouture de Gallica. Mais, sous l'effet des annonces

⁵⁰ ORGERIE Anne-Cécile, « Il est indispensable de quantifier l'impact du numérique », entretien, *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 15.

de Google Books, à la fin de l'année 2004, cette stratégie initiale a été profondément bouleversée. Désormais, « l'horizon d'une mise en ligne de tous les livres imprimés [est apparu] comme de moins en moins lointain et inaccessible »⁵¹. La réorientation vers des politiques de numérisation massive qui s'en est suivie, loin d'être portée par la seule Bibliothèque nationale, s'est accomplie tant à l'échelle internationale – ainsi le lancement d'Europeana, en 2008, par la Commission européenne – qu'à l'échelon local – citons le programme des bibliothèques numériques de référence (BNR), lancé en mars 2010 par le ministère de la culture, ou bien le développement du dispositif « Gallica Marque blanche », actif depuis 2013.

Le paysage est toutefois très contrasté : il existe, pour ainsi dire, autant de politiques de numérisation que d'établissements. Alice Pérésan-Roudil concluait déjà, en 2015, à un « paysage extrêmement diversifié » au sujet des bibliothèques numériques patrimoniales françaises⁵². La BnF, ayant « fait de la numérisation l'axe central de sa coopération en France comme avec l'étranger »⁵³, occupe certes une place privilégiée dans le paysage hexagonal. Les collections de plus de trois cents partenaires alimentent aujourd'hui sa bibliothèque numérique, Gallica. Celle-ci fait ainsi figure de « grand programme national structurant » qui, aux côtés de quelques « grandes bibliothèques numériques institutionnelles ou thématiques » (développées par le CNAM, l'INHA, la BNU, la Contemporaine, etc.), des « projets de granularité plus fine » et des « portails documentaires régionaux », constitue, selon la typologie proposée par Thierry Claerr et Isabelle Westeel⁵⁴, un écosystème d'une grande diversité. À ce panorama il convient en outre d'ajouter les projets de numérisation de corpus financés, depuis 2018, par le GIS ColLEx-Persée, qui entend soutenir des démarches collaboratives de numérisation enrichie, au service de projets de recherche.

Cette multitude d'initiatives a abouti à la constitution d'un important ensemble de fonds patrimoniaux numérisés, mis à disposition du public par l'intermédiaire de portails souvent enrichis par des contenus éditoriaux. Ainsi, au moment de dresser, en 2016, un premier bilan du dispositif BNR, Isabelle Duquenne actait le tournant numérique pris par les bibliothèques patrimoniales, qui devenaient, de la sorte, des « bibliothèques hybrides », « associant la matérialité des lieux, des collections et l'immatérialité des contenus numériques et des communications en réseau »⁵⁵. On notera ici la persistance du paradigme de la dématérialisation, qui accompagne encore souvent les discours de promotion du numérique, au risque, on l'a vu, d'invisibiliser ses impacts environnementaux. Mais l'essentiel n'est pas là ; on soulignera plutôt la façon dont, loin de s'opposer aux missions originelles des bibliothèques, la numérisation des collections

⁵¹ GRUNBERG Gérard, « Les trois dimensions des bibliothèques numériques », dans : DUFRÈNE Bernadette, IHADJADENE Madjid et BRUCKMANN Denis (dir.), *Numérisation du patrimoine. Quelles médiations ? Quels accès ? Quelles cultures ?*, Paris : Hermann, 2013, p. 161.

⁵² PÉRÉSAN-ROUDIL Alice, *Dans la forêt touffue des bibliothèques numériques patrimoniales françaises : quels choix, quelles stratégies, quelles perspectives ?*, Mémoire d'étude DCB, Villeurbanne : Enssib, 2015, p. 65.

⁵³ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Charte documentaire de la numérisation des collections de la Bibliothèque nationale de France*, octobre 2017, p. 4.

⁵⁴ CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Manuel de constitution de bibliothèques numériques*, Paris : Éditions du Cercle de la librairie, 2013, p. 30-31.

⁵⁵ INSPECTION GÉNÉRALE DES BIBLIOTHÈQUES, *Rapport annuel*, 2016, p. 18.

apparaissait alors non seulement comme une adaptation naturelle au nouveau contexte technologique et informationnel, mais même comme une occasion à saisir pour développer encore ses fonctions premières :

Avec le numérique en réseau, la transition numérique des bibliothèques prenait un caractère inévitable et souhaitable. L'avènement du numérique contribue à renforcer et approfondir les missions essentielles de la bibliothèque que sont la conservation, la diffusion de l'information et des savoirs et la démocratisation culturelle.

2.2.2. Vers un changement de paradigme ?

Le ton de l'article signé, trois ans plus tard, par Keith Pendergrass, archiviste numérique à la Harvard Business School, contraste singulièrement avec cet enthousiasme. Pionnier sur la question de l'impact environnemental de la préservation des données numériques culturelles, ce papier appelait à un changement de paradigme. Après avoir constaté qu'un « tel changement a été proposé dans des contextes de gestion de documents d'archives [*records management*] ou de *big data* », il faisait remarquer que « le secteur du patrimoine culturel dans son ensemble ferait bien de travailler dans le sens d'une révision semblable »⁵⁶. Pourquoi ce retard ? On peut émettre l'hypothèse que la prise en compte de cet enjeu nouveau réinterroge l'optimisme de rigueur dès les années 1990, qui voyait, à bon droit, dans « la numérisation des données culturelles [...] un véritable enjeu pour la diffusion des connaissances et pour la démocratisation de la culture »⁵⁷. Si l'investissement de l'espace numérique représente ainsi pour les établissements patrimoniaux une occasion inédite d'atteindre leurs objectifs de démocratisation culturelle et de diffusion de la connaissance, donc leur responsabilité à l'égard de la collectivité, on comprend bien la difficulté à prendre en considération le poids que ces activités numériques font peser sur cette même collectivité. Aborder la question sous l'angle des communs permet peut-être de mieux prendre la mesure du problème, qui s'apparente à un véritable nœud gordien. Alors que la numérisation patrimoniale permet de rendre effective, à un degré encore inédit, la nature de « bien commun » du patrimoine conservé dans les bibliothèques, en l'envisageant réellement comme une ressource collective et partagée, comment faire place aux conséquences délétères de ces politiques, précisément sur d'autres biens communs : les ressources en métaux rares, en eau, les équilibres environnementaux et climatiques ?

Pour tenter de sonder cette question, qui était au programme de la journée d'étude organisée en 2022 par l'association BiblioPat⁵⁸, nous avons lancé une enquête, diffusée à l'automne 2023 *via* deux canaux (les listes de diffusion des associations BiblioPat et ADBU), dont le formulaire est présenté en Annexes du présent mémoire. La dimension exploratoire de ce travail a conduit à opter pour une modalité d'investigation particulière. Au vu de la dimension émergente de

⁵⁶ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 167.

⁵⁷ CLAEER Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Numériser et mettre en ligne, op. cit.*, p. 7.

⁵⁸ À l'occasion des journées BiblioPat 2022, portant sur « le patrimoine à l'épreuve du changement climatique », s'est tenue une table ronde intitulée « Numérique et numérisation ; quels modèles pour un développement durable ? ». Nous renvoyons aux ressources présentes sur la page de présentation de la journée : <https://www.bibliopat.fr/journees-bibliopat-2022-le-patrimoine-a-lepreuve-du-changement-climatique>.

cette problématique au sein de l'environnement professionnel, il eût été illusoire de vouloir dresser un état des lieux et des pratiques élargi à l'ensemble des établissements engagés dans des projets de numérisation de leurs fonds patrimoniaux. Aussi, l'enquête avait pour objectif premier de révéler des pratiques innovantes, des réflexions déjà engagées et des points d'attention qui nous auraient échappé. Le questionnaire s'arrête donc sur les différents chaînons de la chaîne de numérisation que nous avons identifiés comme critiques (matériel de numérisation ; choix de format et de résolution ; solutions d'hébergement et de stockage ; solutions logicielles des bibliothèques numériques), tout en ménageant un espace important pour les réponses ouvertes et les remarques libres.

Dix-huit établissements ont répondu. Les types d'établissements répondants sont très divers, tant du point de vue institutionnel ou géographique, que par l'ampleur de leurs pratiques de numérisation – mais aussi par l'état de réflexion sur l'impact environnemental de ces pratiques. Toutefois, si cet échantillon offre une assez grande diversité de profils (cf. figure 1), son absence de valeur représentative ne nous a pas autorisé à procéder à un dépouillement exhaustif, ni à produire des données statistiques qui n'auraient été guère significatives. Reste que ces réponses, outre de nous fournir des informations utiles, ont également eu le grand mérite d'identifier des interlocuteurs précieux, qui, par l'intermédiaire d'entretiens ou d'échanges par courriel, ont constitué l'une des sources principales des pages qui vont suivre.

Services communs de documentation	9	Université de Poitiers ; Sorbonne Université ; Université Lyon-1 ; Université Montpellier-3 ; Université de Bourgogne ; Université de Bordeaux ; Université Bordeaux-Montaigne ; Bulac ; Université Panthéon-Sorbonne
Autres établissements de l'ESR	3	École normale supérieure de Lyon ; Institut national d'histoire de l'art ; Bibliothèque nationale universitaire de Strasbourg
Bibliothèques territoriales	3	Bibliothèques de la ville de Paris ; Bibliothèque municipale de Bailleul ; Bibliothèques de l'agglomération du pays de Saint-Omer
Archives départementales	2	Archives départementales de l'Aude ; Archives départementales de l'Hérault
Autres	1	Agence Occitanie Livre & Lecture

Figure 2. Répartition des répondants au formulaire d'enquête.

ENJEUX ET IMPACTS DU CYCLE DE VIE DE LA DONNÉE NUMÉRIQUE

QUELQUES ÉLÉMENTS D'INTRODUCTION

La numérisation peut être définie, avec Catherine Mocellin, comme :

la conversion d'une information présente sur un support physique en codage numérique en mode binaire (en 0 et 1) sur un ou plusieurs bits, lisible par un programme (logiciel, périphérique, etc.)⁵⁹.

Cette opération aboutit donc à la création de données numériques. Produire une donnée numérique, c'est l'intégrer dans le circuit de flux qui irrigue l'écosystème numérique. Ce faisant, l'opération réalisée n'est pas neutre sur le plan de la consommation énergétique : le stockage, la manipulation et la consommation par les terminaux utilisateurs de ces données entraîne, on l'a vu, une dépense énergétique qui génère un coût environnemental. Nous nous arrêterons, dans cette première partie, sur trois étapes critiques de la chaîne de numérisation patrimoniale : la production, le stockage et la pérennisation des données.

Estimer l'empreinte carbone du stockage des données est un exercice périlleux et incertain. Sur son blog, l'ingénieur Alexandre Couvez propose un outil⁶⁰, qui croise des données sur la consommation électrique des serveurs avec le mixte énergétique français (fourni par la Base carbone de l'Ademe). Selon cet outil, le stockage moyen d'1 Mo de données sur un serveur, pendant une durée d'un an, représenterait ainsi l'émission de 0,176 g de CO₂. Ces chiffres doivent être pris de manière tout à fait indicative – d'autant plus que les données sur la consommation électrique des serveurs sont tirées d'un article daté de 2012. Le *Référentiel sur la dématérialisation écoresponsable* produit en 2022 par la société de conseil Serda⁶¹ propose, pour le coût carbone du stockage d'un Mo en archivage électronique pendant dix ans, une (large) fourchette de 3,8 à 25 g équivalent CO₂, ce qui, ramené à une durée d'un an, revient à une fourchette de 0,38 à 2,5 g – soit des valeurs sensiblement supérieures à l'estimation d'Alexandre Couvez : de 2 à 14 fois plus ! Nous proposons donc de retenir ici une estimation médiane, avancée par l'étude Green Cloud Computing, qui s'appuie elle-même sur les travaux de l'Agence fédérale allemande pour l'environnement. Ce chiffre, utilisé comme référence par la Direction interministérielle du numérique, sert enfin de base au calculateur développé par le think tank Institut du numérique responsable⁶². Il évalue le coût environnemental du stockage annuel d'1 Mo sur un serveur à 0,21 g de CO₂.

⁵⁹ MOCELLIN Catherine, « Maîtriser les aspects techniques de la numérisation », dans : CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Numériser et mettre en ligne*, op. cit., p. 20.

⁶⁰ Cf. https://ressources.antimuonium.com/outils/impact_environnemental_stockage_donnees.html (calcul effectué le 12/01/2024).

⁶¹ FUZEAU Pierre, *Réduire votre impact environnemental grâce au référentiel 2022 sur la dématérialisation écoresponsable*, Serda Conseil, 2022, en ligne : go.serda.com/1/699653/2022-03-14/6ccls9.

⁶² Cf. <https://myimpact.isit-europe.org/fr/> (page consultée le 22 janvier 2024).

Intervenir sur l’empreinte carbone d’une donnée numérique consiste donc, en premier lieu, à intervenir sur son poids. Dans le cadre d’une numérisation patrimoniale, ce poids est déterminé par deux critères, réglables à deux moments différents de la chaîne de numérisation : au moment de l’acquisition de la donnée (il s’agit des choix de profondeur d’acquisition et de résolution) et au moment de son enregistrement sous un format déterminé (il s’agit du choix de format).

On notera, du reste, que la question de l’empreinte carbone est ici solidaire de la question financière : le stockage représente, pour les tutelles, un coût considérable, qui peut même devenir un sujet de crispation possible dans le dialogue entre la bibliothèque et les services informatiques. Par exemple, le coût supporté par la ville de Besançon pour le stockage, sur leur serveur, des données issues des campagnes de numérisation de leur bibliothèque municipale a fini, à partir de 2011, par dépasser l’investissement initial engagé dans les chantiers de numérisation eux-mêmes (cf. Annexes)⁶³. Ce constat a motivé la décision de la BM de Besançon de renoncer, comme on le verra, à la conservation de ses masters sous format TIFF. Il semble, du reste, que les bibliothèques municipales soient plus vivement concernées par cet enjeu que les bibliothèques universitaires : les directions de services informatiques des universités sont habituées à gérer des datacentres de grande envergure. Aussi, les 2 To que la bibliothèque numérique de l’Université de Bordeaux occupe aujourd’hui sur les serveurs de l’université pèsent peu au regard des quantités considérables de données générées par les programmes de recherche en sciences – dans le cas de Bordeaux, citons ainsi le Grand Programme de Recherche « Brain_2030 ».

En dépit du constat de Romain Wenz, qui déplore qu’il revienne aujourd’hui bien moins cher de stocker de grosses quantités de données que de financer des processus de réduction du poids de ces données⁶⁴, les DSI des collectivités territoriales, par exemple, enjoignent régulièrement les services à procéder à un tri dans leurs espaces de stockage. Les guides de bonnes pratiques en matière d’écoresponsabilité numérique, qu’ils s’adressent à des particuliers ou à des organisations, mettent souvent en avant la nécessité de procéder à des campagnes régulières de nettoyage de ses données. Or, non contentes d’être des services particulièrement gourmands en espace de stockage, les bibliothèques ont un appétit dévorant : le propre des bibliothèques numériques est qu’elles ne décroissent pas... Comme le soulignent Charlotte Fafet, Leonidas Milios et Evangelia Paschalidou :

La production de contenu numériques patrimoniaux ne tend pas à diminuer, mais bien plutôt à s’accélérer du fait de la prolifération de solutions numériques⁶⁵.

Ces mêmes auteurs opèrent une distinction fondamentale, qu’il importe de garder à l’esprit, entre une approche « décroissante » de la numérisation patrimoniale (qui consisterait à réduire la *quantité*, en valeur absolue, des documents patrimoniaux numériques accessibles) et la recherche de l’efficacité adaptée aux exigences propres aux institutions patrimoniales, par la réduction, non de la *quantité*, mais du *volume* des données en modulant les exigences liées à la conservation numérique :

⁶³ Courriel de Pierre-Emmanuel Guilleray, 07 septembre 2023.

⁶⁴ Entretien avec Romain Wenz, réalisé le 16 janvier 2024.

⁶⁵ FAFET Charlotte, MILIOS Leonidas et PASCHALIDOU Evangelia, « A Strong Sustainability Framework for Digital Preservation of Cultural Heritage: Introducing the Eco-Sufficiency Perspective », *Heritage*, 2022/5, p. 1075.

qualité de la prise de vue, format d'encodage, déduplication, allègement des contrôles liés à l'archivage pérenne, stratégies graduées, délais de communication, etc. C'est l'ensemble de ces pistes de réflexion que nous nous proposons d'explorer dans cette seconde partie.

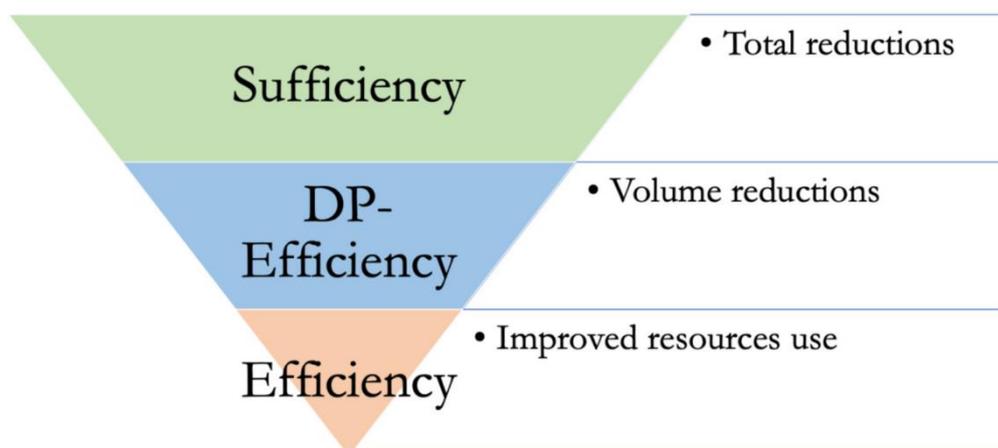


Figure 3. Modèle hiérarchique des stratégies de conservation numérique des biens patrimoniaux, d'après FAFET, MILIOS et PASCHALIDOU : entre la recherche de l'efficacité (meilleur ratio entre les ressources mobilisées et le niveau de conservation) à la « sufficiency » (modèle décroissant qui vise à une réduction, en valeur absolue, de la quantité d'énergie consommée, induisant donc une diminution nette des données numérisées et stockées), la voie médiane (« DP-Efficiency », pour *Digital Preservation – Efficiency*), privilégiée par les auteurs, entend s'adapter au contexte particulier des institutions culturelles, confrontées à l'accroissement nécessaire des données à conserver. L'enjeu réside donc dans la réduction, non de la *quantité*, mais du *volume* des données.

1. PRODUIRE LA DONNÉE NUMÉRIQUE : L'IMPACT DES CHOIX DE RÉOLUTION ET DE FORMAT

Dès la rédaction d'un cahier des charges de numérisation, plusieurs paramètres clefs peuvent être modulés de manière à limiter le poids des données, et donc leur impact sur les réseaux et les infrastructures de stockage. Penchons-nous ici sur les questions de résolution et de format.

1.1. Le poids d'une image : profondeur d'acquisition, résolution, définition

Une image numérique est définie par sa définition, sa résolution et sa profondeur d'acquisition.

La définition d'une image correspond à ses dimensions, exprimées en pixel, qui est la plus petite composante d'une image numérique. Elle est obtenue en multipliant le nombre de pixels en abscisses et le nombre de pixels en ordonnées. Le choix de définition est fonction de l'usage que l'on souhaite faire de l'image en sortie – par exemple si elle est destinée à l'impression.

La résolution d'une image correspond au rapport entre le nombre de pixels de l'image et une unité de mesure. Celle-ci étant généralement le pouce, on exprimera la définition en point par pouce (*dot per inch*, soit « dpi ») ou en pixel par pouce (*pixel per inch*, soit « ppi »). Il s'agit donc d'une densité de points sur une longueur donnée. Plus la résolution sera élevée, plus la qualité de l'image sera

fine. Aussi, il est recommandé de proportionner la résolution adoptée à la taille de l'original : plus celui-ci est petit, plus la résolution doit être élevée pour restituer les détails et autoriser les zooms. La bibliothèque de l'Institut national d'histoire de l'art (INHA) numérise ainsi à 400 dpi par défaut, mais monte à 600 dpi pour les documents au format inférieur à un A6, et à 2400 dpi pour les microfilms⁶⁶.

Enfin, on entend par profondeur d'acquisition le nombre de bits codant chaque pixel. Rappelons qu'un bit peut prendre deux valeurs distinctes (notée 0 ou 1). Dès lors, on distingue trois principaux modes d'encodage des couleurs : un pixel peut être codé sur 1 bit – on dispose alors d'une image bitonale, chaque pixel pouvant renvoyer à l'une des deux seules valeurs possibles (noir et blanc) – sur 8 bits – image en niveaux de gris, sur une palette de 256 valeurs – ou sur 24 bits – soit 16,7 millions de valeurs possibles⁶⁷. Un octet correspond à 8 bits ; c'est-à-dire qu'un pixel codé sur 24 bits (dans le cas d'une numérisation en couleur) est décrit par 3 octets.

Le poids d'une image numérisée correspond à sa définition (exprimée en pixels) multipliée par sa profondeur d'acquisition (exprimée en octets). Il s'exprime lui-même en octets. Prenons l'exemple d'une feuille de format A4, numérisée en couleur, avec une résolution de 300 dpi. Le format A4, exprimé en pouces, correspond à 8,27 pouces sur 11,67 pouces. Numérisée en 300 dpi, la feuille a donc une définition (c'est-à-dire un nombre de pixels) de $(8,27 \times 300) \times (11,67 \times 300) = 2481 \times 3501 = 8\,685\,981$ pixels. Si chaque pixel est décrit par 3 octets, on obtient un poids de l'image de $8\,685\,981 \times 3 = 26\,057\,943$ octets, soit un peu plus de 26 mégaoctets (Mo). Le tableau suivant décline le même exemple en fonction des choix de résolution et de profondeur d'acquisition adoptés :

	300 dpi	400 dpi	600 dpi
Noir et blanc	1,09 Mo	1,93 Mo	4,34 Mo
Niveaux de gris	8,69 Mo	15,44 Mo	34,74 Mo
Couleur	26,06 Mo	46,33 Mo	104,23 Mo

Figure 4. Poids d'une image numérique brute en fonction des choix croisés de résolution et de profondeur d'acquisition.

On notera que la croissance du poids de l'image en fonction de la résolution adoptée est exponentielle : en faisant passer la résolution de 300 à 600 dpi, on quadruple le poids du fichier. Et en accompagnant ce doublement de la résolution par le choix de la couleur plutôt que des niveaux de gris, on multiplie le poids de l'image par 12 !

Au moment de la formalisation d'un cahier des charges de numérisation, on dispose donc de deux leviers permettant d'intervenir sur le poids de l'image : les choix de profondeur d'acquisition et de résolution. La question est assez vite réglée concernant la profondeur d'acquisition : le mode bitonal n'est plus utilisé, tandis que le choix de la couleur s'impose pour les documents iconographiques. En revanche, les choix de résolution s'avèrent décisifs pour le poids final de l'image.

⁶⁶ Réponse de Pierre-Marie Bartoli, pour la bibliothèque de l'INHA, au formulaire d'enquête.

⁶⁷ CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Numériser et mettre en ligne, op. cit.*, p. 27.

S'ils dépendent naturellement des caractéristiques du document original (sa taille, comme on vient de le voir, mais aussi la présence ou non d'un contenu iconographique), une démarche responsable doit s'interroger sur l'utilisation envisagée de ces substituts numériques. Comme le constatent Pendergrass et al., cette phase d'appréciation du besoin prend un relief tout particulier dans un contexte d'explosion de la quantité de données numériques : « les professionnels du patrimoine devraient examiner de manière critique les standards et les choix de format des contenus nativement numériques ou numérisés. Chaque document doit-il être migré ou numérisé au plus haut niveau de qualité possible ? Des substituts numériques de haute qualité présentent-ils de véritables bénéfices, en termes de conservation ? »⁶⁸.

Un bon exemple d'application de ces questionnements aux pratiques de numérisation patrimoniale nous est précisément fourni par le choix de la qualité de résolution. En effet, il est admis qu'une résolution de 300 dpi est amplement suffisante pour garantir une bonne qualité d'affichage de l'image, comme le rappelle Dominique Maillet, de la BnF :

Ce choix de 300 dpi [...] découle de l'analyse des qualités optiques de l'œil, dont celle qui nous intéresse sur ce sujet peut se résumer comme suit : l'œil possède un pouvoir séparateur qui lui permet à une distance d'observation donnée de distinguer 2 points proches l'un de l'autre. Il est universellement observé qu'à 2,5 mètres, un œil sain distingue 2 points de 1 mm séparés de 1 mm. Au-delà, les 2 points se confondent. C'est en extrapolant cette donnée physique que l'on peut affirmer qu'à 300 dpi on obtient une image numérisée que l'œil humain sait parfaitement lire et qui contient suffisamment d'informations pour que le produit numérisé soit estimé conforme à l'original. Numériser à 400 dpi, soit 400 X 400 points analysés sur un carré de 2,54 cm de côté et non plus 300 revient donc à capturer des pixels qui ne seront pas utiles à la lecture car notre œil n'a pas les moyens physiques de les distinguer. Le seul avantage est de pouvoir zoomer dans le document comme si nous le lisions avec une loupe⁶⁹.

Or, comme le montre le tableau ci-dessus, le passage de 300 à 400 dpi, alors qu'il ne représente qu'une hausse de 33 % de la résolution, correspond à une augmentation de 78 % du poids de l'image. Le choix d'une résolution de 400 dpi nécessite donc d'être justifié, et n'a pas de raison d'être retenu comme solution par défaut. En revanche, il peut être motivé par l'usage attendu du substitut numérique – par exemple, l'exploitation de fonds iconographiques à des fins scientifiques – ou la fragilité du document, auquel on ne peut prendre le risque de faire subir une éventuelle re-numérisation, à une meilleure définition. Ainsi, tandis que, « longtemps, le paradigme dominant fut celui de la recherche de la meilleure qualité, de la meilleure définition, dans un contexte d'explosion de la production et de la mise en ligne d'images numérisées »⁷⁰, il s'avère désormais nécessaire d'adapter au mieux les choix de résolution – et de format, sur lesquels nous allons désormais nous pencher – aux besoins réels.

⁶⁸ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 182-185.

⁶⁹ MAILLET Dominique, *La reproduction et sauvegarde des documents patrimoniaux. Partie 1. Numérisation et conservation*, Bibliothèque nationale de France, p. 4.

⁷⁰ Entretien avec Florent Palluault, réalisé le 25 juillet 2023.

1.2. Le poids d'un fichier : questions de format et de compression

1.2.1. Éléments de définition

Le poids de l'image est en effet à distinguer du poids du fichier. Celui-ci est déterminé par le format retenu et son éventuelle compression.

Qu'est-ce qu'un format ? Un format « décrit la manière dont les informations sont organisées dans un fichier »⁷¹. Il s'agit donc d'un mode de description, de représentation et de stockage des données. Le choix du format a deux types de conséquences : d'une part sur la qualité de la numérisation ; d'autre part sur la préservation à long terme des documents numériques. La BnF liste plusieurs critères déterminants dans le choix du format au cours d'un processus de numérisation : le taux d'ouverture, la possibilité d'indexer chaque fichier, et, le cas échéant, la possibilité d'une compression sans perte ou réversible⁷².

Qu'entend-on par le degré d'ouverture d'un format ? Par la loi du 21 juin 2004, dite « pour la confiance dans l'économie numérique », le législateur français a tenu à définir la notion de « standard ouvert ». Celui-ci est entendu comme « tout protocole de communication, d'interconnexion ou d'échange et tout format de données interopérable et dont les spécifications techniques sont publiques et sans restriction d'accès ni de mise en œuvre »⁷³. En ceci, un format ouvert s'oppose à un format propriétaire. La puissance publique s'est résolument engagée en faveur des formats ouverts, essentiellement pour des raisons éthiques et de sécurité des données – qui ne nous concernent qu'indirectement pour l'heure ; nous aurons l'occasion d'y revenir lorsque nous esquisserons des pistes pour un modèle de « numérisation durable ».

Le propre de la numérisation patrimoniale, par rapport à d'autres formes de numérisation (numérisation de production, numérisation bureautique, etc.) est de mettre l'accent sur la qualité du résultat final : « la copie numérique doit être aussi fidèle que possible de façon à pouvoir lui être substituée autant que de besoin »⁷⁴. Le paradigme de la numérisation patrimoniale est donc celui de la substitution, lui permettant de répondre à l'un des principaux objectifs d'une politique de numérisation, à savoir la préservation de collections anciennes et/ou fragiles. Il est d'usage, parallèlement, de considérer que l'autre principale motivation des bibliothèques qui se lancent dans un projet de numérisation est la diffusion de leur patrimoine, qui peut de surcroît s'accompagner de politiques de valorisation numérique⁷⁵. Nous interrogerons plus loin la pertinence de ces concepts à l'heure de l'enjeu environnemental posé par la surabondance de données numériques :

⁷¹ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Formats et techniques de numérisation en mode image*, accessible en ligne : <https://www.bnf.fr/fr/formats-et-techniques-de-numerisation-en-mode-image>.

⁷² Bibliothèque nationale de France, *Formats et techniques de numérisation en mode image*, accessible en ligne : <https://www.bnf.fr/fr/formats-et-techniques-de-numerisation-en-mode-image>.

⁷³ Loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique, Article 4, *JORF n°0143 du 22 juin 2004*.

⁷⁴ ESSEVAZ-ROULET Baptiste, *La numérisation d'archives. Des fondamentaux techniques aux programmes de numérisation*, Voiron : Territorial éditions, 2016, p. 15.

⁷⁵ Cf. par exemple : CHEVRY Emmanuelle, *Stratégies numériques, patrimoine écrit et iconographique*, Paris : Hermès, 2011, p. 49-53.

pour l'heure nous commencerons par en tirer les conséquences en termes techniques.

La première de ces conséquences est sans doute la distinction, très répandue, entre *format d'archivage* (aussi appelé *format de conservation*, ou *master*), adopté à des fins de sauvegarde (et, accessoirement, d'édition), et *format de diffusion* (aussi appelé *format de consultation*) adopté à des fins de diffusion web. La numérisation patrimoniale présente donc la particularité de coder les données issues d'un seul document physique sous deux formats différents. En effet, les formats qui correspondent au besoin de fidélité requise pour la conservation ne permettent pas une consultation aisée des documents, notamment en termes de fluidité de la navigation et de temps d'affichage et de téléchargement. Autrement dit : la double logique qui guide les actions de numérisation patrimoniale (conservation/préservation et diffusion/valorisation) conduit à faire correspondre, à un seul document physique, deux doubles numériques : cette précision n'est pas anodine dans le cas qui nous occupe, puisqu'elle dédouble les problématiques liées au stockage des données.

1.2.2. *Quels formats pour l'archivage et la diffusion ?*

Tout indicatives fussent-elles, les données recueillies par l'intermédiaire du formulaire d'enquête permettent d'établir que le format principalement retenu pour l'archivage est le TIFF. Rien d'étonnant à cela : il s'agit effectivement d'un format très bien adapté à la conservation, au point que le référentiel de la BnF le présente comme « un standard *de facto* pour la conservation de masters image »⁷⁶.

Toutefois, la pérennité du format TIFF non compressé, qui n'est pas porté par une organisation internationale de normalisation (mais maintenu par Adobe), n'est pas garantie⁷⁷, même s'il s'agit d'un format très bien documenté. Surtout, le format TIFF présente la particularité d'être très lourd. À titre d'exemple, la bibliothèque de l'INHA a fait le choix d'un archivage des fichiers numérisés en TIFF, et d'une diffusion en JPEG et PDF. L'ensemble de ces fichiers, archivage et diffusion confondus, occupe un total de 27 To. Or les fichiers TIFF occupent plus de 91 % de cet espace de serveur total⁷⁸.

Pourtant d'autres solutions existent. Au moment où elle lance ses chantiers de numérisation, en 2011, la bibliothèque Sainte-Geneviève (BSG) opte naturellement, comme standard de conservation, pour le format TIFF. Désireuse d'archiver ses données de manière pérenne, l'établissement se tourne alors vers le Centre informatique national de l'enseignement supérieur (Cines). Pionnière, dans cette démarche, parmi les établissements de l'ESR, la BSG se trouve confrontée à un coût d'archivage considérable – le coût du To de stockage sur la plateforme d'archivage du Cines étant alors, à cette époque, très élevé. Ce sont donc avant tout des raisons économiques qui ont poussé l'établissement à réduire le poids de ses données en adoptant désormais, sur le conseil du Cines, le format PNG. Celui-ci est également retenu comme format d'archivage par Persée, dont la responsable du Pôle informatique, Viviane Boulétreau, souligne qu'il présente l'avantage d'être

⁷⁶ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Formats de données pour la préservation à long terme : la politique de la BnF*, version 3 du 9 septembre 2021, p. 67.

⁷⁷ Entretien avec Viviane Boulétreau, le 17 janvier 2024.

⁷⁸ Réponse de Pierre-Marie Bartoli, pour la bibliothèque de l'INHA, au formulaire d'enquête.

un format totalement ouvert – ce qui lui vaut d’être recommandé par le consortium de standardisation W3C – et de proposer une compression sans perte⁷⁹.

Par ailleurs, en raison de son poids, le format TIFF n’est pas pris en charge par les navigateurs Web. Tout projet de diffusion des images numérisées nécessite donc la création de fichiers de consultation dérivés du *master* de conservation. Il s’agit donc, là encore, d’anticiper l’usage du service numérique qui permettra la diffusion de l’image numérisée. Comme le note Lionel Dujol, « l’enjeu est de ne pas aggraver, lors de l’utilisation du service, le poids de charge de ses contenus et le nombre de requête vers le serveur. Le choix du format, de la taille, du poids des contenus multimédias est donc primordial »⁸⁰. Le format JPEG, qui est un standard de compression d’images avec perte, convient très bien à un usage de diffusion : il est largement plébiscité par les établissements ayant répondu à notre enquête.

Le croisement des choix de résolution et de format conduit à des écarts considérables du poids des fichiers. Prenons, à titre d’exemple, l’activité de la plateforme de numérisation de la Maison des sciences de l’homme et de la société (MSHS) de l’Université de Poitiers. Cette plateforme permet de numériser des documents écrits, dessinés et oraux, dans un double objectif de conservation et d’exploitation par des outils relevant du champ des humanités numériques. Elle dispose, pour la numérisation de documents, de cinq appareils : un scanner I2S Quartz A0 HD, un scanner I2S Copibook A2 HD, un scanner I2S Digibook A2 VShaped, un numériseur de microfilm et plaques, et un numériseur de diapositives.

Pour l’année 2023, 18 792 fichiers numériques ont été produits par cette plate-forme. La nature diverse des originaux, les finalités multiples de ces campagnes de numérisation et la variété de leurs commanditaires – les laboratoires de l’Université de Poitiers, en premier lieu, mais aussi d’autres structures, qu’elles soient institutionnelles (Archives départementales de la Vienne) ou associatives (Fanzinothèque de Poitiers) – conduisent nécessairement à adapter les réglages à chaque chantier. Ainsi, les documents A3 ou A4, scannés par le Copibook, sont numérisés en 300 ou 400 dpi et enregistrés sous format TIFF ou JPEG. Les variations de poids qui résultent de ces réglages peuvent être considérables, comme l’indique le tableau ci-dessous, élaboré à partir des données fournies par David Chesnet, responsable de la plate-forme de numérisation :

Typologie de documents	Résolution	Format	Poids du fichier
Documents A3 et A4	300 à 400 dpi	TIFF ou JPEG	2 à 25 Mo
Documents A0 et A1	300 à 600 dpi	TIFF ou JPEG	500 Mo à 1,6 Go
Diapositives	Jusqu’à 5000 dpi	TIFF ou JPEG	2 à 8 Mo

Figure 5. Variation du poids des fichiers produits par la plate-forme de numérisation de la MSHS de Poitiers, suivant les choix de résolution et de format (source : David Chesnet).

⁷⁹ Entretien avec Sarah Gauthé et Viviane Boulétreau, le 17 janvier 2024.

⁸⁰ DUJOL Lionel, « Agir pour un numérique responsable et durable », dans : BÜRKI Reine (dir.), *Engager les bibliothèques dans la transition écologique*, Villeurbanne : Presses de l’Enssib, coll. La Boîte à outils, 2023, p. 50.

Les chiffres fournis par Gilles Kagan concordent tout à fait avec ceux de David Chesnet : un folio de manuscrit numérisé, dans le cadre du projet Bibliissima, à la définition 2000 x 2284 pixels, pèse 14 Mo lorsqu'il est codé au format TIFF, contre 1,7 Mo au format JPEG⁸¹.

1.2.3. Un même format pour l'archivage et la diffusion ?

Il convient donc d'envisager, pour réduire le poids des fichiers issus des campagnes de numérisation, l'hypothèse de l'adoption d'un format unique, en lieu et place de la distinction entre format d'archivage et format de diffusion. La bibliothèque municipale de Besançon a par exemple choisi de convertir la quasi-totalité de ses fichiers de conservation TIFF en JPEG, entraînant une diminution considérable du volume global de stockage, qui est ainsi passé de 30 To à 10 To. Le fichier au format TIFF n'a été conservé qu'en qualité de format de conservation pour les fichiers iconographiques, soit environ 1 % du total des fichiers.

Aujourd'hui, toutefois, la solution de format unique la plus largement répandue pour répondre à la fois aux exigences de conservation et aux attentes en termes de diffusion, est le JPEG 2000. Le format JPEG 2000 est un format de compression, utilisant une technologie de compression dite par « ondelettes ». L'algorithme de compression utilisé lui permet d'offrir un rendu de meilleure qualité que le JPEG⁸². Tout comme ce dernier, il est maintenu par le groupe de travail international *Joint Photographic Experts Group*. Deux modes de compression existent : l'une (dite RCT : *Reversible Component Transfer*) est sans perte ; l'autre (ICT : *Irreversible Component Transfer*) implique une perte, mais permet de définir le niveau de compression souhaité. La conversion sans perte garantit une réduction conséquente du poids des données par rapport à un fichier TIFF, tout en restant totalement réversible⁸³. Ainsi, pour un contenu image à la définition maximale, on divise par quatre ou six le poids de l'image avec une dégradation limitée, beaucoup plus acceptable que celle proposée par la compression JPEG. Reprenons l'exemple fourni par Gilles Kagan : la même image qui pèse 14 Mo au format TIFF et 1,7 au format JPEG, voit son poids réduit à 755 Ko lorsqu'elle est enregistrée en JPEG 2000, avec une meilleure performance d'affichage⁸⁴. Plus encore, le « format JPEG 2000 permet, grâce à son système de tuiles, de ne transmettre qu'une portion de l'image, celle demandée par l'utilisateur lorsqu'il zoome, contrairement au flux image non compressé embarqué dans un TIFF, qui doit être chargé en intégralité »⁸⁵. Ce faisant, la consultation d'un JPEG 2000 sollicite moins les serveurs et les infrastructures réseaux.

De tels avantages expliquent l'adoption par la BnF du format JPEG 2000 comme format préférentiel pour la numérisation de documents plans à partir de 2005, remplaçant ainsi progressivement le format TIFF. Tout en reconnaissant les mérites du PNG sur le plan des critères de durabilité, Bertrand Caron note encore

⁸¹ KAGAN Gilles, « Sobriété numérique : attention à la course aux pixels ! Numérique et numérisation : quels modèles pour un développement durable ? », communication présentée aux Journées BiblioPat 2022, disponible en ligne : <https://www.bibliopat.fr/journees-bibliopat-2022-le-patrimoine-a-lepreuve-du-changement-climatique>.

⁸² *Ibid.*

⁸³ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Formats de données pour la préservation à long terme : la politique de la BnF*, version 3 du 9 septembre 2021, p. 45.

⁸⁴ KAGAN Gilles, « Sobriété numérique : attention à la course aux pixels !... », communication cit.

⁸⁵ Courriel de Bertrand Caron, reçu le 30 janvier 2024.

que le JPEG 2000 offre, par rapport à ce dernier, un ratio plus intéressant entre la baisse très limitée de la qualité et le taux de compression⁸⁶. Cette position est loin d'être isolée : les institutions patrimoniales, à travers le monde, sont nombreuses à avoir opté pour ce format de compression : la Bibliothèque du Congrès, la Wellcome Library, la British Library, etc.⁸⁷

Plusieurs institutions ayant répondu à notre questionnaire ont fait part du choix récent de remplacer, pour leurs fichiers d'archivage, le format TIFF par le format JPEG 2000. Au Pôle Collections remarquables et patrimoine scientifique de l'Université Bordeaux-Montaigne, ce choix a été motivé par trois raisons différentes, sur lesquelles il n'est pas sans intérêt de s'arrêter un instant⁸⁸. En premier lieu, il s'agissait de s'aligner sur les préconisations du référentiel BnF (laquelle, de surcroît, a longtemps cofinancé les chantiers de numérisation de l'université). Sans surprise, la question du stockage fut également centrale dans la réflexion de l'établissement : le choix du JPEG 2000 permet de réaliser des économies significatives d'espace serveur, tant au moment des échanges de fichiers avec le prestataire que dans une perspective de stockage à plus long terme. Mais, ici, « l'argument décisif », selon les termes de Julien Baudry, est de nature plus prospective : c'est avant tout pour anticiper l'adoption du standard IIIF qu'a été choisi le JPEG 2000, le format le plus compatible avec cette technologie permettant l'interopérabilité des données – sur laquelle nous nous pencherons un peu plus loin.

C'est également cet enjeu de l'interopérabilité qui a poussé la bibliothèque Sainte-Geneviève à abandonner le format PNG, auquel elle recourait, on l'a vu, pour ses fichiers d'archivage, au profit du JPEG 2000. Ce choix fut concomitant de l'ouverture de sa propre bibliothèque numérique, baptisée « Genovefa », en 2021, qui utilise la technologie IIIF. En permettant de garantir l'interopérabilité des données, celle-ci s'inscrit dans une logique d'usage durable de la ressource numérique – comme nous le verrons plus loin. Or, le JPEG 2000 présente l'avantage notable d'être compatible avec la technologie IIIF, comme en témoigne Pauline Rivière :

Quand nous avons voulu utiliser Cantaloupe Server, qui est le serveur où nous exposons nos images pour avoir les métadonnées au format JSON, que nous mettons ensuite dans notre bibliothèque numérique, nous avons vu que le format PNG n'était pas recommandé pour utiliser un serveur IIIF d'images. Comme il était hors de question de passer au TIFF pour une question de poids, nous sommes passés au format JPEG 2000⁸⁹.

Cette décision a été suivie de la mise en œuvre d'une procédure « assez lourde », qui a duré entre trois et quatre mois, de conversion au format JPEG 2000 des fichiers haute définition archivés au Cines sous format PNG, grâce à OpenJPEG⁹⁰. De l'avis de Pauline Rivière, cette conversion massive de fichiers s'est accomplie sans perte de qualité visible par l'œil humain.

⁸⁶ *Ibid.*

⁸⁷ Bibliothèque nationale de France, *Formats de données pour la préservation à long terme : la politique de la BnF*, version 3 du 9 septembre 2021, p. 46.

⁸⁸ Échange de courriels avec Julien Baudry, le 17 janvier 2024.

⁸⁹ Entretien avec Pauline Rivière, le 19 janvier 2024.

⁹⁰ Entretien avec Pauline Rivière, le 19 janvier 2024.

2. STOCKER ET PÉRENNISER LA DONNÉE NUMÉRIQUE

2.1. L'impact des choix d'hébergement

2.1.1. Sauvegarde et archivage pérenne

Tout indicative soit-elle, eu égard au modeste échantillon d'établissements sondés, notre enquête a révélé une grande disparité de situations de stockage des données issues de campagnes de numérisation patrimoniale.

La plupart des répondants (10) stockent en interne à la fois leurs fichiers d'archivage et de diffusion. Quatre d'entre eux indiquent réaliser de la redondance sur leurs serveurs locaux, tandis que quatre ont signé des conventions d'archivage pérenne pour leurs masters : deux avec la BnF (utilisation de la plateforme SPAR) et deux avec le Cines (utilisation de PAC).

Les quatre autres répondants développent des stratégies de conservation différenciées en fonction de la destination des fichiers. On peut distinguer trois types de solutions :

- d'une part archivage pérenne (externalisé au Cines) pour les fichiers de conservation (au format JPEG 2000) et hébergement en local des fichiers de diffusion (au format PDF et JPEG) : il s'agit de la solution la plus économe en espace disque local, tout en s'inscrivant dans une démarche de préservation sur le très long terme des données numérisées ;

- d'autre part archivage des fichiers de conservation en interne (avec procédures de redondance assurées par les DSI) et des fichiers de diffusion sur les serveurs du prestataire de la bibliothèque numérique : il s'agit d'une solution gourmande en espace de stockage interne, et qui ne présente pas les garanties offertes par le cadre réglementaire et technique de l'archivage pérenne ;

- enfin, dans le cas de la BSU, archivage pérenne des masters au Cines, conservation des JPEG basse définition, dévolus à la diffusion, sur un serveur interne, et double copie des fichiers de diffusion sur les serveurs du prestataire de la bibliothèque numérique⁹¹.

Un bref coup d'œil sur ce panorama permet déjà de distinguer ce qui relève de la sauvegarde, plus ou moins sécurisée, de ce qui relève de l'archivage pérenne.

La sauvegarde consiste à héberger les données numérisées sur des serveurs internes. La plupart des bibliothèques municipales ou des SCD stockent leurs données grâce aux moyens informatiques de l'université ou de leur collectivité de tutelle. Lorsque cette sauvegarde est redondée, elle offre assurément davantage de garanties sur le plan de la sécurité : ainsi les fichiers numérisés par la bibliothèque virtuelle des premiers socialismes, constituée par le SCD de l'Université de Poitiers, a fait le choix de la réplication sur trois serveurs répartis sur trois sites différents⁹². Si ces procédures de stockage accroissent la sécurité des données ainsi conservées, elles n'ont toutefois pas d'incidence sur leur pérennité. Celle-ci est en effet l'affaire de l'archivage (dit souvent « archivage pérenne »), dont la finalité est tout autre : il ne vise pas, contrairement à la sauvegarde, « un objectif

⁹¹ Entretien avec Adeline Batailler, réalisé le 15 janvier 2024.

⁹² Réponse d'Anne-Sophie Traneau-Durozoy (SCD Université de Poitiers) au formulaire d'enquête.

strictement sécuritaire et de court ou moyen terme »⁹³, mais cherche à « conserver le document et l'information qu'il contient dans son aspect physique comme dans son aspect intellectuel, de manière à pouvoir le rendre accessible à long terme et à pouvoir demander une remontée d'archive »⁹⁴. Les enjeux de la pérennisation concernent ainsi tous les niveaux de l'information numérique :

Pérenniser consiste donc à assurer la lisibilité des contenus en gérant les supports de stockage de manière raisonnée pour garantir l'intégrité des informations qu'ils contiennent (couche support). C'est également prendre en compte l'obsolescence des matériels, notamment de lecture, pour permettre l'accès aux informations conservées (couche matérielle) et prévoir si nécessaire des migrations. Mais il n'est pas suffisant de garantir qu'un support est lisible et qu'il n'a pas subi d'altération, il faut également s'assurer que l'information qu'il contient est intelligible dans le temps, qu'elle pourra être décodée d'un point de vue technique (formats et contexte de création) et humain (métadonnées de gestion et de description)⁹⁵.

Pour ce faire, l'archivage pérenne doit s'appuyer sur un ensemble de pratiques normalisées, définies par la norme de référence OAIS (Reference Model for an Open Archival Information System, norme ISO 14721).

Le ministère de la Culture recommande le double archivage des images et des métadonnées associées produites lors de chantiers de numérisation patrimoniale⁹⁶ : à la fois au sein de l'établissement de conservation des documents reproduits et en externe, qu'il s'agisse d'un prestataire de conservation privé ou d'une structure publique : citons ici la BnF et son système d'archivage pérenne SPAR, et le Cines et son équivalent, appelé PAC. Il n'en demeure pas moins vrai que l'archivage pérenne des collections patrimoniales numérisées est encore une pratique peu répandue. Pourtant, comme l'identifiait déjà Elsa Ferracci en 2016, l'archivage pérenne est devenu un « nouvel enjeu patrimonial ». Il offre en effet une réponse aux inquiétudes formulées, dès 2003, par l'article 3 de la Charte de l'Unesco sur la préservation du patrimoine numérique :

Le patrimoine numérique mondial risque d'être perdu pour la postérité. Les facteurs qui peuvent contribuer à sa perte sont l'obsolescence rapide du matériel et des logiciels qui servent à le créer, les incertitudes concernant les financements, la responsabilité et les méthodes de la maintenance et de la conservation et l'absence de législation favorable à sa préservation⁹⁷.

Une politique de numérisation patrimoniale responsable se doit donc de placer l'enjeu de la préservation des données au centre de ses préoccupations :

L'archivage pérenne peut alors être envisagé comme la réponse à une nouvelle vision patrimoniale à long terme des données, images et documents

⁹³ FERRACCI Elsa, *Archivage pérenne en bibliothèque universitaire : bilan et perspectives*, Mémoire d'étude DCB, Villeurbanne : Enssib, 2016, p. 11.

⁹⁴ *Ibid.*

⁹⁵ « La pérennisation et ses enjeux », *France Archives*, disponible en ligne : <https://francearchives.gouv.fr/fr/section/88482503> (consulté le 22 février 2024).

⁹⁶ MINISTÈRE DE LA CULTURE, *Guide de gestion des documents patrimoniaux à l'attention des bibliothèques territoriales*, 30 juin 2020, p. 57.

⁹⁷ « Charte sur la conservation du patrimoine numérique », dans UNESCO, *actes de la Conférence générale, 32^{ème} Session, Paris, 29 septembre – 17 octobre 2003. Volume 1 : Résolutions*, p. 85.

produits par les établissements de l'ESR (numérisations, produits pédagogiques, thèses, écrits scientifiques, données de natures diverses)⁹⁸.

Le stockage sur des serveurs internes, ou sur ceux du prestataire de bibliothèque numérique, et l'archivage pérenne au Cines ou à la BnF visent donc des objectifs tout à fait différents. Ces deux solutions se doublonnent d'autant moins que l'archivage pérenne ne concerne que les fichiers de conservation, les fichiers de diffusion demeurant stockés en interne, comme le remarquait déjà Elsa Ferracci⁹⁹.

2.1.2. Des datacentres en quête d'efficacité énergétique

Le rapport que l'Ademe a produit sur l'impact des datacentres sur le territoire prévoit que ces derniers « seront parmi les plus importants postes de consommation électrique du XXI^e siècle »¹⁰⁰. Cette consommation énergétique s'explique à la fois par l'alimentation des baies de stockage et par les dispositifs de refroidissement, qui peuvent représenter jusqu'à 40 % de la consommation d'un datacentre¹⁰¹. Ce n'est toutefois pas là le seul impact environnemental des infrastructures de stockage, dont le refroidissement nécessite non seulement d'importantes ressources énergétiques, mais également une quantité d'eau considérable¹⁰². Enfin, en permettant de sortir d'une vision « gaz à effet de serre » nécessairement incomplète, une approche multicritères, comme celle mise en œuvre par l'Ademe, révèle que la fabrication des serveurs génère un impact élevé sur l'épuisement des ressources abiotiques naturelles (métaux et minéraux)¹⁰³.

L'hébergement sur serveurs, installés dans des datacentres, est donc une solution coûteuse, quoique, comme on l'a vu plus haut, les estimations de son impact carbone soient des plus imprécises : entre 0,176 et 25 grammes de CO₂ par an pour 1 Mo – nous avons proposé, rejoignant la DiNum et le think tank Institut du numérique responsable, la valeur de 0,21 gramme de CO₂ par an pour 1 Mo. Cette disparité des estimations s'explique en réalité par la grande variété des datacentres. Leur taille et leur organisation spatiale (des armoires jusqu'aux bâtiments indépendants, couvrant une surface de plusieurs milliers de mètres carrés, en passant par les « salles serveurs »), leur typologie (datacentre interne, hébergeant le système d'information d'une organisation, ou datacentre dit « de colocation », où l'hébergement est assuré par un tiers, qui y abrite les données de plusieurs clients), et leur densité déterminent en grande partie leur niveau de performance énergétique.

⁹⁸ FERRACCI Elsa, *op. cit.*, p. 18.

⁹⁹ *Ibid.*, p. 44.

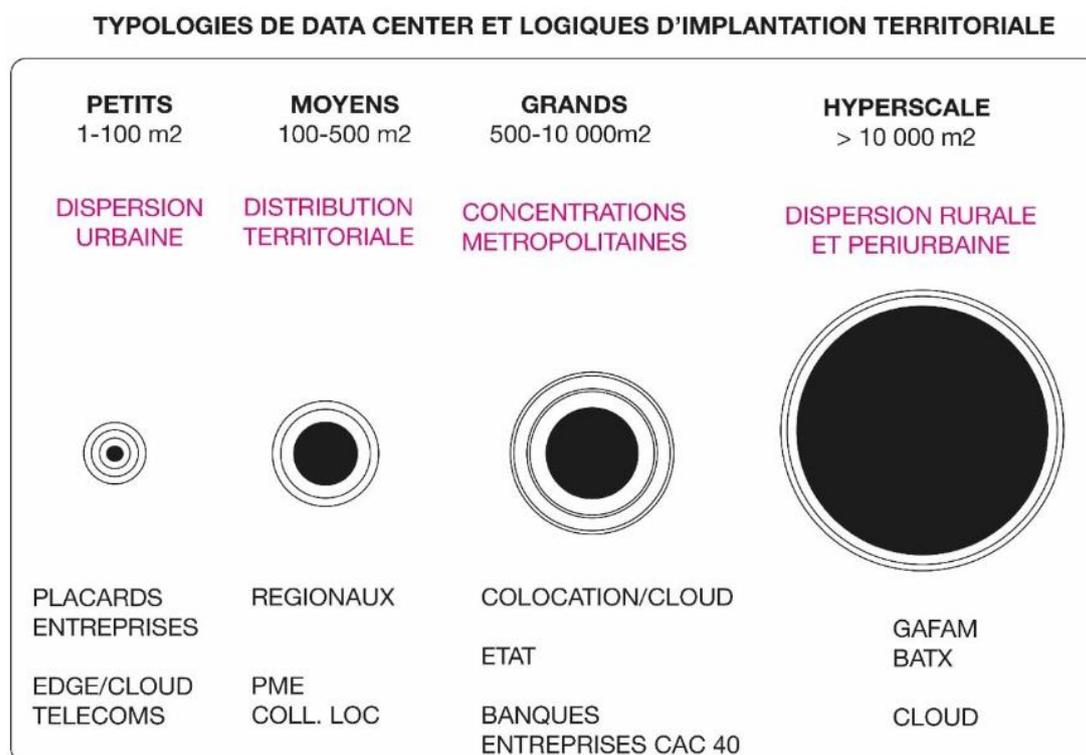
¹⁰⁰ DIGUET Cécile et LOPEZ Fanny (dir.), *L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires*, Rapport Ademe, 2019, p. 6.

¹⁰¹ COLLECTIF, *Proposition de Feuille de route de décarbonation de la filière numérique*, juillet 2023, p. 23.

¹⁰² PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 175.

¹⁰³ ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, p. 11.

Un indicateur appelé PUE (pour Power Usage Effectiveness) permet de comparer les performances énergétiques des datacentres. Du côté des outils de diagnostic, on renverra ici à l'outil Datavizta, développé par l'association Boavizta, qui fournit une estimation de l'impact environnemental des serveurs, mettant en œuvre la méthodologie ACV, tout en demeurant très simple d'utilisation¹⁰⁴. Pour une analyse plus fine, les établissements de l'ESR français auront tout intérêt à se rapprocher du groupement de service du CNRS ÉcoInfo, qui procède à des audits de datacentres et propose des solutions de réduction de la consommation énergétique et de l'empreinte environnementale.



Source : Cécile Diguët

Figure 6. Typologie des datacentres d'après leur taille et leurs usages. On notera que les collectivités locales ou les universités recourent le plus souvent aux services de datacentres « moyens » (Source : DIGUET Cécile et LOPEZ Fanny (dir.), *L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires*, 2019, p. 27).

Il existe en effet plusieurs solutions technologiques permettant d'améliorer l'efficacité énergétique des datacentres. Le Groupement d'intérêt public (GIP) Renater a publié, dès 2014, un guide de bonnes pratiques pour des datacentres écoresponsables¹⁰⁵. Celles-ci concernent les techniques de refroidissement, la distribution électrique des serveurs, la consommation des processeurs et la surveillance de l'activité informatique de l'infrastructure (monitoring). Sans citer l'ensemble des mesures préconisées, on peut mentionner quelques pistes d'optimisation énergétique. Le refroidissement est une question clef. Ainsi, le système de confinement en allée chaude ou allée froide, qui vise à séparer les flux

¹⁰⁴ <https://datavizta.boavizta.org/> (site consulté le 01/02/2024).

¹⁰⁵ BOUTHERIN Bernard et al., *Bonnes pratiques pour l'infrastructure d'un Datacentre éco-responsable*, GIP Renater, 2014, disponible sur le site du GED ÉcoInfo : <https://ecoinfo.cnrs.fr/2017/06/07/bonnes-pratiques-pour-linfrastructure-dun-datacentre-eco-responsable/> (consulté le 13 janvier 2024).

d'air chaud et d'air froid par des parois, ou encore les techniques de *free cooling* et *free chilling* permettent de réduire les consommations énergétiques de manière significative¹⁰⁶. Certaines infrastructures de stockage recourent à des techniques de stockage dynamique, régies par des algorithmes d'optimisation. Ainsi, lorsqu'une ressource n'est pas sollicitée, le serveur utilise le strict minimum d'énergie nécessaire. En effet, des serveurs classiques consomment perpétuellement, dès qu'ils sont allumés ; les datacentres ne sont ainsi utilisés en moyenne que 30 % du temps, tout en restant allumés en permanence, afin de pouvoir assurer une qualité de service constante et immédiate, en dépit des fluctuations de la demande¹⁰⁷.

2.1.3. Des logiques vertueuses de mutualisation de serveurs

Dans le champ de l'ESR, on notera que les datacentres de l'Université de Bourgogne, de l'Université de Strasbourg et de l'Université de Grenoble ont été labellisés par le *Data Centres Code of Conduct*, une initiative de la Commission européenne visant à promouvoir les datacentres mettant en œuvre des bonnes pratiques de gestion écoresponsable¹⁰⁸. Actuellement en chantier, le datacentre porté par l'Université Claude Bernard Lyon-1 et l'INSA Lyon, et qui devrait être mis en exploitation à l'été 2024, est un excellent exemple d'infrastructure de nouvelle génération. Il intégrera, tout d'abord, des technologies éco-performantes : optimisation des régimes de températures d'eau, équipements à haut rendement, gestion des flux d'air, *free chilling*, etc. L'économie attendue est substantielle : près de 5 GWh chaque année et 40 % des émissions de gaz à effet de serre, uniquement pour la première tranche du *data center*¹⁰⁹.

Les gains d'efficacité énergétique accomplis par le datacentre lyonnais s'expliquent également par la logique de mutualisation qu'il met en œuvre. Ainsi, la densification des équipements sur le même site géographique permet de réaliser des économies d'échelle conséquentes, tout en mettant fin à la dissémination d'équipements informatiques dans le campus, et abrités dans des locaux souvent mal isolés. Dès 2015, le comité d'orientation du numérique (Codornum) avait recommandé de rationaliser les ressources informatiques de l'ESR français, et notamment les salles abritant les serveurs, qu'il invitait à mutualiser : « la multiplication et le vieillissement de petits sites au cours des années entraînaient à la fois un problème d'interopérabilité entre les différents services des universités et des dépenses énergétiques superflus »¹¹⁰. Cinq ans plus tard, un rapport de la Cour des comptes déplorait toujours une grande disparité des infrastructures de stockage des établissements d'enseignement supérieur, ainsi que la grande dispersion des moyens, concluant qu'un « important effort de rationalisation s'impose pour mutualiser les moyens et améliorer le service rendu ». Plus encore, il regrettait que

¹⁰⁶ ARNOULD Florence, BARBIER Anthony et THORAVAL Gaëtan, *L'efficacité énergétique dans les data centers. Étude gisement du parc français*, Association technique énergie environnement, novembre 2016, p. 27.

¹⁰⁷ STRICOT Matthieu, art. cit.

¹⁰⁸ Liste disponible sur le site de la Plateforme européenne d'efficacité énergétique (E3P) : <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/node/575> (consulté le 22 février 2024).

¹⁰⁹ Les données sont issues du dossier de presse du projet : UNIVERSITÉ CLAUDE-BERNARD LYON-1 ET INSA, *Un data center au service des projets numériques de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Dossier de presse*, avril 2023, 12 p.

¹¹⁰ DIGUET Cécile et LOPEZ Fanny (dir.), *op. cit.*, p. 84.

les enjeux énergétiques et environnementaux n'étaient pas assez pris en considération par les établissements¹¹¹.

Dans le paysage bibliothéconomique, cette logique de concentration des serveurs a notamment été mise en œuvre par la Bibliothèque royale des Pays-Bas. Les serveurs abritant les données de sa plate-forme de presse ancienne numérisée (baptisée « Delpher »), situés auparavant dans les locaux de la Bibliothèque royale, ont été déplacés vers un datacentre gouvernemental, externalisé, partagé et plus efficace :

parce que de nombreux serveurs y sont implantés, des systèmes facilitateurs comme le rafraîchissement peuvent remplir leur rôle plus efficacement. Ainsi, cette méthode est non seulement plus soutenable, mais encore plus économique¹¹².

Et l'économie est conséquente : cette mutualisation de *data centers* permet d'éviter la consommation annuelle de 196 000 kWh – c'est-à-dire 109 tonnes de CO₂, soit l'équivalent de la consommation énergétique annuelle de 79 foyers néerlandais¹¹³. Le recours massif à des sources d'énergie renouvelable permet en outre à la Bibliothèque royale de maîtriser l'empreinte carbone des serveurs de « Delpher », qui s'élève à 4 tonnes de CO₂, pour plus de deux millions de documents accessibles en ligne.

Du reste, ces logiques de mutualisation de serveur s'intègrent tout à fait dans le cadre stratégique des politiques de numérisation patrimoniale porté par Gallica. La logique de versement des documents numérisés par des bibliothèques patrimoniales dans Gallica, lorsqu'elle ne passe pas par le moissonnage via un protocole OAI-PMH, entraîne un transfert des documents des serveurs locaux vers les serveurs de la BnF. La Bibliothèque municipale de Besançon est actuellement confrontée à ce cas de figure, et projette donc de supprimer les fichiers des serveurs de la collectivité¹¹⁴. Les partenariats Gallica « Marque blanche » en mutualisant l'hébergement des données dans les entrepôts de la BnF, apparaissent également comme des initiatives vertueuses, distinguées d'ailleurs, à ce titre, par le ministère de la Culture dans son *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*¹¹⁵.

Le *cloud computing*, qui repose sur des technologies de virtualisation de serveurs, pousse encore plus loin le principe de mutualisation, permettant de réaliser des économies d'échelle par une allocation optimisée de la ressource énergétique¹¹⁶. Physiquement, les acteurs du *cloud computing* (AWS, Google, Microsoft, ou encore OVH en France) hébergent leurs données soit dans leurs propres datacentres, appelés *hyperscale* en raison de leurs dimensions

¹¹¹ COUR DES COMPTES, *Rapport public annuel 2020*, février 2020, p. 218-219.

¹¹² GILLISSE Robert, GROEN Arie, VAN ZWOL Tamara et WIJSMAN Lotte, « The CO₂ Emissions of Storage and Use of Digital Objects and Data. Exploratory climate actions », iPres 2022 : The 18th International Conference on Digital Preservation, Glasgow, Scotland.

¹¹³ Id., *The CO₂ Emissions Of Storage And Use Of Digital Objects And Data. Case Study Platform Delpher* : <https://osf.io/8qjzh>

¹¹⁴ Courriel de Pierre-Emmanuel Guilleray, daté du 1^{er} septembre 2023.

¹¹⁵ MINISTÈRE DE LA CULTURE, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*, décembre 2023, p. 48. Je remercie Apolline Damez-Fontaine pour m'avoir signalé cette ressource.

¹¹⁶ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 189.

gigantesques, soit dans des datacentres de colocation, qu'ils partagent avec d'autres clients. Toutefois, dans le cadre d'une politique publique de numérisation patrimoniale responsable, le choix d'un hébergement sur le *cloud*, qui n'offre pas de visibilité sur les modes d'hébergement des données, et notamment sur leur emplacement physique, s'avère problématique à double titre. D'une part sous l'angle de l'impact environnemental : la proximité entre le lieu de traitement des données et leur lieu d'hébergement, en réduisant la distance parcourue par les données, réduit l'infrastructure réseau mobilisée¹¹⁷. D'autre part sous l'angle de la territorialité des données, c'est-à-dire de l'enjeu de souveraineté lié à l'hébergement des données sur le territoire national. À ce sujet, on mentionnera la note d'information cosignée, le 5 avril 2016, par le Service interministériel des archives de France (SIAF) et la Direction générale des collectivités locales (DGCL), qui précisait que « l'utilisation d'un *cloud* non souverain, qui, par définition, ne permet pas de garantir que l'ensemble des données sont stockées et traitées sur le territoire français, est donc illégale pour toute institution produisant des archives publiques, dont les collectivités territoriales, leurs groupements et leurs établissements publics »¹¹⁸. Il paraît opportun d'étendre cette mise en garde aux bibliothèques numérisant des données patrimoniales. Ainsi, confrontée au choix d'un hébergeur pour sa plate-forme de presse ancienne numérisée, la Bibliothèque royale des Pays-Bas a finalement renoncé à une solution d'hébergement des données de type *cloud*, externalisée auprès d'un prestataire, pour de raisons relatives à la souveraineté des données :

« Delpher » ayant trait lui-même au patrimoine culturel national néerlandais, il a été décidé de stocker les données dans un site néerlandais, et non *via* un fournisseur de *cloud* international¹¹⁹.

Le choix de solutions hébergées localement évite en outre de se placer dans la dépendance de grands acteurs privés qui ne sauraient garantir la durabilité de leur offre de services. Citons ainsi le cas de l'hébergeur français OVH, qui a annoncé, en mai 2022, la fermeture prochaine de son service de *cloud* grand public, baptisé hubiC, en invitant ses clients à récupérer rapidement leurs fichiers.

2.2. Pérenniser la donnée numérique

2.2.1. *L'archivage pérenne : comment articuler durabilité des données produites et durabilité environnementale de leur conservation ?*

L'archivage pérenne, on l'a dit, apparaît comme le prolongement naturel d'une politique de numérisation patrimoniale. Quel serait le sens d'une campagne de numérisation, menée à des fins de conservation, qui prendrait le risque de ne pas assurer, sur le long terme, la lisibilité des fichiers produits ? Certes, le disque dur posé sur une étagère, ou la clef USB glissée dans un tiroir, sont des solutions d'archivage dont l'empreinte environnementale est presque nulle, à l'exception de

¹¹⁷ DIRECTION INTERMINISTÉRIELLE DU NUMÉRIQUE (DINUM), *Référentiel général d'écoconception de services numériques*, 2021 : [rgesn-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf \(numerique.gouv.fr\)](https://www.numérique.gouv.fr/ressources/documents/rgen-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf), p. 89.

¹¹⁸ Note d'information du 5 avril 2016 relative à l'informatique en nuage (cloud computing), DGP/SIAF/2016/006.

¹¹⁹ GILLISSE Robert, GROEN Arie, VAN ZWOL Tamara et WIJSMAN Lotte, art. cit.

l'impact du processus de fabrication – mais elles ne sauraient à l'évidence constituer des solutions satisfaisantes pour assurer la pérennité des fichiers ainsi conservés. Ainsi, comme le note Bertrand Caron : « Stocker n'est pas préserver. Et une solution inefficace et risquée sera toujours trop coûteuse en termes environnementaux et économiques »¹²⁰. L'écosystème numérique invite ainsi à réactualiser la notion de durabilité, comme le constate Adeline Batailler :

Je pense que la durabilité, elle est sur plusieurs axes : sur le coût environnemental, sur les pratiques de travail, et sur le cœur de notre travail : la durabilité de ce qu'on produit comme données et comme images¹²¹.

Nous touchons là au point sensible de notre sujet : la possibilité d'articuler durabilité des données produites et durabilité environnementale de leur conservation. En effet, l'archivage pérenne est une solution gourmande : au-delà des coûts engendrés par le stockage sur disques, que l'on vient de voir en détail (énergie utilisée pour l'alimentation et le refroidissement des disques, des processeurs et des infrastructures réseau ; fabrication et transport de ces composants électroniques), le respect des normes de préservation numérique oblige à répliquer des copies des fichiers sur des serveurs distants et à calculer régulièrement des sommes de contrôle (ou *checksums*), qui permettent de vérifier que l'intégralité des données a été préservée. Or, « les vérifications de sommes de contrôle entraînent une quantité significative d'entrées/sorties entre le processeur et les supports de stockage, et, par conséquent, de dépenses énergétiques »¹²². Plus encore, les migrations de format nécessaires pour garantir la lisibilité, sur le long terme, des fichiers archivés, sont très énergivores.

Conscient de cet enjeu, le Cines, afin de suivre et de réduire l'empreinte carbone de ses activités, a récemment entrepris d'évaluer ses émissions de GES. Ce traçage a permis d'estimer cet impact environnemental, sur une durée de sept années d'archivage, à 16 496 g de CO₂ par Go conservé en archivage longue durée¹²³. C'est évidemment un impact non négligeable : rapporté au stockage annuel d'1 Mo, il s'élève à 2,36 g de CO₂ – soit plus de onze fois plus que l'empreinte du stockage moyen repris par l'Institut pour un numérique responsable.

Toutefois, cette empreinte environnementale peut être modulée en s'interrogeant sur le niveau de service attendu d'une procédure d'archivage pérenne. L'hébergeur dispose en effet de marges de manœuvre sur plusieurs paramètres : méthodes et fréquence des contrôles d'intégrité ; choix des technologies de stockage ; politiques en matière de migrations de format ; nombre de copies redondées¹²⁴. Tout professionnel de la conservation est appelé à passer scrupuleusement en revue l'offre de service proposée par les prestataires d'archivage pérenne, en mettant en regard les garanties de sécurité offertes et leur impact environnemental. Ainsi, au moment de contractualiser avec le Cines pour l'archivage pérenne de ses fichiers issus de campagnes de numérisation

¹²⁰ Courriel de Bertrand Caron, daté du 30 janvier 2024.

¹²¹ Entretien avec Adeline Batailler, réalisé le 15 janvier 2024.

¹²² PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 185.

¹²³ Courriel de Philippe Prat, daté du 30 janvier 2024.

¹²⁴ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit.

patrimoniale, la Bulac a opté pour un stockage sur bande magnétique¹²⁵ – et non sur disques durs – ce qui, comme on le verra à l’instant, représente une économie énergétique tout à fait sensible. Les bibliothèques qui ne recourent pas à l’archivage pérenne, mais à des solutions alternatives (réplication des fichiers sur serveurs internes, architectures NAS) qui, développées soit par les DSI des établissements de tutelle soit par le prestataire de bibliothèque numérique, n’offrent pas les mêmes garanties de préservation de l’intégrité des données, sont également en mesure de moduler le niveau de service attendu, en visant le rapport le plus soutenable entre degré de préservation et coût environnemental.

2.2.2. *Repenser les modalités d’archivage et de mise à disposition des données numériques*

Ainsi, l’enjeu de la durabilité doit inviter les établissements à la fois à généraliser l’archivage pérenne et à en faire un usage plus sobre. L’équation semble difficile à résoudre, et la tension entre ces deux exigences *a priori* contradictoires ne peut se résorber qu’en réinterrogeant en profondeur habitudes et attentes.

Une pratique responsable de l’archivage pérenne implique de privilégier des approches graduées, en lien avec la valeur du document préservé. Dès 2015, Nicolas Larrousse et Marion Massol pointaient du doigt la nécessité de formaliser des critères de sélection des données à pérenniser :

Il sera indispensable d’être capable d’effectuer une sélection des données à pérenniser. Les critères de choix devront avant tout reposer sur des critères scientifiques. Une collaboration avec les archivistes sera nécessaire pour accompagner les scientifiques dans le processus de sélection des données. Bien qu’indispensables, il n’existe aujourd’hui peu ou pas de structures de décision, ni d’expertise réelle dans nos communautés pour adresser ce type de besoins¹²⁶.

Ce retour d’expérience sur les actions communes d’Huma-Num et du Cines en matière de préservation à long terme des données de la recherche en SHS, présenté aux Journées Réseaux de l’Enseignement et de la Recherche en 2015, s’achevait par la liste des « questions ouvertes pour les archives du futur » ; y sont ainsi listés les enjeux « techniques, financiers, juridiques, scientifiques, législatifs, organisationnels, humains ». Pas trace de l’enjeu environnemental... Toutefois, bien que ce soit « le « déluge » de production de données numériques » qui justifie leur préconisation, le coût environnemental induit par la conservation pérenne ne peut que renforcer l’inquiétude de Nicolas Larrousse et Marion Massol. Comme le préconisent les auteurs de l’article déjà mentionné d’*American Archivist*, « au vu des impacts environnementaux des TIC, les coûts environnementaux devraient figurer parmi les critères additionnels à prendre en compte lors de l’appréciation d’un contenu numérique. [...] Tous les contenus numériques ne requièrent certainement pas le même niveau de conservation »¹²⁷. Il convient d’interroger la pertinence de la réplication des données : Pendergrass invite ainsi à ajuster le

¹²⁵ Entretien avec Gabriel Raupp et Nathalie Pilet, réalisé le 2 février 2024.

¹²⁶ LARROUSSE Nicolas et MASSOL Marion, « La préservation à long terme des données de la recherche en Sciences Humaines et Sociales : un retour d’expérience », *JRES 2015*, Montpellier, p. 6, hal-02151185f.

¹²⁷ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 182.

nombre de copies redondées à l'importance des menaces identifiées et à la valeur du document numérisé concerné.

On peut ainsi imaginer des pratiques de conservation numérique finement adaptées aux objets concernés. L'expertise du bibliothécaire permettrait de discriminer les documents numérisés suivant leur degré de priorité, et recourir avec davantage de parcimonie à leur archivage pérenne. Bertrand Caron abonde en ce sens, en constatant que la préservation numérique interroge « la valeur de ce qu'on préserve, et remet des problématiques métier au cœur du questionnement »¹²⁸. Elsa Ferracci introduit ainsi, dans le processus de choix, un critère d'appréciation : « on archivera uniquement des documents dont la valeur intrinsèque est reconnue suffisante pour occasionner les investissements financiers et humains liés à la procédure d'archivage pérenne »¹²⁹ – investissements auxquels nous serions donc tentés d'ajouter le coût environnemental supporté par la collectivité.

Par ailleurs, au vu de l'empreinte environnementale du stockage des données sur disques, il convient de s'interroger sur les solutions alternatives. En effet, on distingue le « stockage chaud » du « stockage tiède », voire « froid ». Susceptibles d'être régulièrement sollicitées et utilisées, les « données chaudes » nécessitent d'être stockées sur des supports immédiatement et rapidement accessibles, tels que des serveurs sur disques locaux ou le cloud synchronisé. En revanche, des données plus rarement sollicitées, dites « froides », peuvent être hébergées sur des supports tels que des disques durs, des bandes magnétiques ou des disques optiques. Cette dernière forme de stockage, dite « à froid », « consiste ainsi à sauvegarder et récupérer des données (sur le court terme) et à archiver (sur le long terme) les données rarement utilisées ou dont on n'a plus besoin »¹³⁰. Or le stockage sur bande magnétique LTO est nettement moins énergivore que le stockage sur disques. Philippe Prat, du Cines, évalue ainsi la puissance d'un robot donnant accès aux bandes magnétiques à 1 500 W, contre plusieurs dizaines de kW pour une baie de disques¹³¹. Surtout, il s'agit de la seule solution qui permette de conserver des données sans alimentation énergétique : les bandes ne consomment pas d'énergie lorsque les robots ne sont pas sollicités. De plus, les bandes ne comportent pas de composants électroniques, dont les méthodes ACV ont mis en évidence le très lourd impact sur l'épuisement des ressources abiotiques. En somme, les bandes magnétiques permettent de stocker de grandes quantités de données sur une très longue durée, sans consommation d'énergie et avec une empreinte environnementale minimale lors du processus de fabrication¹³². Aussi, pour la conservation des fichiers d'archivage, auxquels les institutions n'ont pas besoin de recourir fréquemment, le stockage sur bande magnétique semble être une solution optimale. Il convient donc d'encourager, autant que possible, le stockage des copies de sécurité dans des systèmes « tièdes » ou « froids ».

¹²⁸ Entretien réalisé le 13 septembre 2023.

¹²⁹ FERRACCI Elsa, *op. cit.*, p. 19.

¹³⁰ UNIVERSITÉ DE PARIS-SACLAY, « Impacts environnementaux de la gestion et de l'ouverture des données », en ligne : <https://www.universite-paris-saclay.fr/impacts-environnementaux-de-la-gestion-et-de-louverture-des-donnees> (consulté le 5 février 2024).

¹³¹ Courriel reçu le mercredi 31 janvier 2024.

¹³² Intervention de Ferdinand CHEVRANT-BRETON au webinaire « Digitalisation et Dématérialisation Responsables : Bonnes pratiques et solutions numériques », organisé par Serda Conseil et Archimag, le 23 janvier 2024.

Envisager l'adoption de solutions de stockage sobres pour les formats de diffusion nécessite de repenser les modalités de mise à disposition des données numérisées. La notion de sobriété (sur laquelle nous reviendrons plus en détails dans notre dernière partie), invite instamment à ajuster au plus près la solution technique aux besoins du destinataires du service. Il s'agit donc de penser le stockage des données produites en fonction de leur usage. La mise à disposition des données demeure bien sûr la finalité d'une politique de numérisation patrimoniale, mais celle-ci ne s'accomplit pas nécessairement sans délai. La logique de l'accessibilité immédiate, qui semble consubstantielle à l'écosystème du Web, mérite, elle aussi, d'être réinterrogée à la lumière de la trajectoire insoutenable du numérique. Une réponse adaptée pourrait être le développement de pratique de mise à disposition asynchrone des données numérisées. En effet, plutôt que la présence immédiate sur le Web, des dispositifs de consultation sur postes dédiés ou de communication différée, sur demande, en abandonnant les modes de stockage chaud, limiteraient considérablement la consommation énergétique causée par l'hébergement des données. La réflexion sur cette question est encore balbutiante, et nécessiterait de réinterroger en profondeur des habitudes prises depuis plusieurs décennies – mais il s'avère nécessaire de la mener, au vu de la trajectoire insoutenable des impacts du numérique.

QUELQUES ÉLÉMENTS DE BILAN

Les caractéristiques propres au mode d'encodage et d'enregistrement de la donnée physique ou analogique déterminent donc le poids de la donnée numérique produite. Or, la réduction du volume de données produites et stockées est un enjeu majeur, comme le rappelle notamment le guide *Bonnes pratiques Numérique responsable dans les organisations*, élaboré par la MiNumÉco¹³³. Celle-ci se heurte toutefois, dans le cas très particulier de la numérisation patrimoniale, à **l'enjeu de la qualité suffisante des substituts numériques proposés** : il s'agit, d'une part, de numériser avec un haut degré de fidélité à l'original et, d'autre part, d'éviter de re-numériser.

Ainsi, Pendergrass concède qu'on ne peut faire l'économie, dans le cas de la numérisation à des fins patrimoniales, d'un calcul bénéfices-risques : à mesure que diminuent le poids du fichier, sous l'effet d'algorithmes de compression, et la qualité de la résolution, les risques de pertes de données et de nécessité de re-numériser augmentent. On ne saurait davantage avancer, sur ce point, des préconisations générales, **la variété des contextes n'autorisant que des appréciations adaptées à chaque cas de figure** : la numérisation menée à des fins de conservation de documents fragiles ne peut, par exemple, prendre le risque de la re-numérisation. Il ne s'agit ici que de rappeler la **nécessité d'inclure la perspective du long terme, non seulement en termes de pérennité de la donnée produite, mais encore en termes de soutenabilité, c'est-à-dire de peser scrupuleusement chaque décision, en matière de résolution et de format, et d'opter pour la solution qui apparaît la plus juste.**

¹³³ MISSION NUMÉRIQUE ÉCORESPONSABLE, *Guide Bonnes pratiques numérique responsable pour les organisations*, version 1, mai 2023, p. 64.

Du point de vue du stockage, en l'absence actuelle de *cloud* public, **la solution offrant le maximum de garanties de durabilité, et le meilleur compromis entre efficacité énergétique et stockage de proximité, semble être l'hébergement dans des datacentres mutualisés à l'échelle régionale, mettant en œuvre des technologies d'optimisation énergétique.** Par ailleurs, le recours à l'archivage pérenne s'impose comme la conséquence nécessaire d'une gestion durable des ressources numérisées. En outre, il se substitue avantageusement aux duplications sur des infrastructures locales (parfois jusqu'à trois copies de sauvegarde) souvent peu optimisées, sans offrir les garanties de pérennité des plateformes agréées telles que SPAR ou PAC. Les **logiques de mutualisation** développées par la BnF dans le cadre des partenariats Gallica permettent également de réaliser des économies d'échelles sensibles.

Toutefois, au vu de l'impact environnemental élevé de ces solutions d'archivage pérenne, il est impératif de **soigner leur efficacité énergétique**, en procédant avec davantage de parcimonie aux contrôles d'intégrité, en les planifiant hors des pics de consommation énergétique, en optant pour des modes de stockage « à froid », quitte à **réinterroger le principe d'accès immédiat du patrimoine numérisé.** Il paraît également difficile de faire l'économie d'une gestion plus fine de ce patrimoine numérique, en mettant par exemple en œuvre un **plan de gestion des données patrimoniales numérisées**, qui définirait, pour chacune d'elles, le degré de préservation attendu, en fonction de critères laissés à l'appréciation des bibliothécaires, dont l'expertise sur leurs fonds redevient ainsi déterminante.

Enfin, ce genre de mesures nécessite de **repenser le rapport à la digitalisation, en modifiant le regard porté sur les substituts numériques ainsi produits**, qui ne sauraient préserver totalement de la possibilité de la perte. Invitant à relativiser le « mythe d'une préservation parfaite », Pendergrass rappelle en effet la nécessité d'envisager cette possibilité : « étant donné l'inévitabilité de la perte et le coût environnemental élevé de la préservation numérique, les administrateurs de systèmes de préservation numérique devraient déterminer des niveaux de perte acceptables »¹³⁴.

¹³⁴ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 186.

VERS UN MODÈLE DE NUMÉRISATION DURABLE

1. DURABILISER LA CHAÎNE DE NUMÉRISATION

1.1. L'impact des numériseurs

1.1.1. *L'impact environnemental de la fabrication et de l'utilisation des numériseurs*

À tout seigneur, tout honneur : d'après les chiffres issus de l'enquête confiée à l'Arcep et à l'Ademe, l'empreinte carbone des terminaux représente 79 % de l'empreinte carbone totale du numérique, loin devant les centres de données (16 %) et les réseaux (5 %) ¹³⁵. Par ailleurs, c'est bien la phase de production de ces équipements qui a l'impact le plus significatif, puisqu'il représente 80 % de leur empreinte carbone. Ainsi, dans une autre enquête publiée en 2018, visant à modéliser et évaluer les impacts environnementaux des biens d'équipement, l'Ademe note que, pour les équipements à forte composante électronique, « l'indicateur d'impact potentiel sur le changement climatique est dominé par la phase d'extraction et de production des matières premières et des composants. En effet, les composants électroniques nécessitent pour leur fabrication une grande quantité d'énergie et de matériaux rares dont l'extraction est complexe et génératrice d'impacts ».

Or les numériseurs, qui comportent au moins un écran, une caméra ou des appareils photographiques, et un ordinateur, sont des appareils à très forte composante électronique, pour lesquels ce constat s'applique de manière d'autant plus aiguë. Les numériseurs ne font pas partie des équipements sur lesquels l'Ademe s'est penchée dans cette étude, qui ne concerne, en effet, que les biens domestiques. Il ne saurait relever du périmètre de ce mémoire d'établir l'empreinte environnementale induite par la production d'un numériseur : non seulement il s'agit là d'un exercice extrêmement complexe, que nous ne prétendons pas être en mesure de mener à bien, mais le nombre de paramètres à inclure et la grande diversité de l'offre proposée sur le marché le rendent irréaliste, dans le temps contraint d'un mémoire d'étude de conservateur des bibliothèques. En outre, les constructeurs sollicités n'ont pas répondu à nos questions portant sur l'impact environnemental de la phase de fabrication de leurs appareils.

Il est plus aisé de mesurer la consommation des numériseurs. Reprenons l'exemple de la plateforme de numérisation de la MSHS de l'Université de Poitiers, et de ces trois numériseurs récents, de haute qualité : un scanner I2S Quartz A0 HD (de 2012), accompagné de deux écrans et d'un PC, un scanner I2S Copibook A2 HD (de 2009), accompagné d'un PC et d'un écran, et un scanner I2S Digibook A2 VShaped (de 2023), accompagné d'un PC et d'un écran. Les informations recueillies auprès du fournisseur relativement à la puissance nominale de ces appareils permettent de dresser le tableau suivant :

¹³⁵ ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, p. 5.

Appareil	Puissance nominale
Scanner I2S Quartz A0 HD	500 W maximum + consommation du PC et de l'écran (généralement entre 300 et 350 W)
Scanner I2S Copibook A2 HD	300 W maximum + consommation du PC et de l'écran (généralement entre 300 et 350 W)
Scanner I2S Digibook A2 VShaped	500 W maximum + consommation du PC et de l'écran (généralement entre 300 et 350 W)

Figure 7. Puissance nominale des numériseurs de la plateforme de numérisation de la MSHS de l'Université de Poitiers (fin 2023) (source : David Chesnet et données constructeur).

Pour l'année 2023, le Copibook A2 (le plus massivement utilisé) a permis de numériser 13 865 pages, ce qui, à raison de 250 pages à l'heure, a nécessité environ 55,46 heures. La consommation s'élève ainsi à $600 \times 55,46 = 33\,276$ Wh par an. Le coût carbone de la production d'électricité en France s'élevant à 0,1 kg de CO² émis par kWh, l'activité du numériseur Copibook A2 de la plate-forme de numérisation de l'Université de Poitiers représente ainsi, pour l'année 2022, un coût carbone d'environ 3,3 kg de CO². À titre de comparaison, l'empreinte carbone annuelle de l'utilisation d'un réfrigérateur s'élève à 8,83 kg de CO². La consommation énergétique due au fonctionnement des scanners n'est donc pas significative – d'autant moins que les numériseurs de la marque Copibook n'offrent pas la meilleure efficacité énergétique du marché : ainsi les numériseurs en V de la marque BookEye 5 de dernière génération ont une puissance de 110 W, ce qui les rend encore moins énergivores.

En bref, la numérisation à strictement parler est une activité peu impactante. Surtout, elle est négligeable par rapport au coût carbone induit par le stockage des données ainsi numérisées : pour cette même année 2023, la plate-forme de numérisation de la MSHS de Poitiers (et donc, certes, pas exclusivement le Copibook A2) a produit 18 792 images, dont le poids total s'élève à 513 Go¹³⁶. Si l'on reprend l'estimation fournie par l'étude Green Cloud Computing, reprise par la Direction interministérielle du numérique (DiNUM), qui évalue le coût environnemental du stockage annuel d'1 Mo à 0,21 g de CO₂, le stockage de ces 513 Go de données, pour une seule année (et sans tenir compte d'éventuelles redondances), s'élève à 107,73 kg de CO₂, soit 32 fois plus que le fonctionnement du Copibook A2 (lequel a servi à la numérisation de 73 % du total des images numérisées par la plate-forme).

Les nombreuses approximations de ce calcul ne permettent pas de le considérer autrement que comme un indicateur, certes imprécis, mais à même, toutefois, de rendre compte d'un rapport de proportions. On en tirera en outre la conclusion suivante : le coût carbone d'une re-numérisation n'apparaît plus, à la lumière de ces ordres de grandeur, bien préoccupant ; ce qui nous autorise à conclure, avec Pendergrass, que :

¹³⁶ Informations fournies par David Chesnet, courriel daté du 16 janvier 2024.

de multiples numérisations à basse résolution d'un même item ne sauraient approcher le coût en ressources d'un seul fichier d'archivage stocké dans un entrepôt d'archivage numérique avec des métadonnées complètes et des vérifications de qualité¹³⁷.

Nous tâcherons de nous en souvenir plus loin, au moment d'esquisser des pistes pour une numérisation sobre.

1.1.2. Des logiques vertueuses de mutualisation de numériseurs

En réalité, plutôt que leur utilisation, c'est bien la non-utilisation de ces équipements qui interroge la soutenabilité du modèle existant de numérisation. En effet, dans une optique de durabilité, le point le plus problématique est sans doute la dissémination de matériels de numérisation sous-utilisés dans les établissements. Or des appareils sous-utilisés ne parviendront qu'à grand-peine, sinon jamais, à amortir leur coût environnemental initial de fabrication, qui est particulièrement élevé – sans commune mesure, donc, avec celui induit par leur utilisation. Face à ce problème, la solution la plus satisfaisante serait la réduction du parc de numériseurs dans les institutions patrimoniales, à l'image de ce que le SCD de l'Université Lyon 1 a entrepris, dans une démarche ouvertement promotrice d'un numérique écoresponsable, avec son parc d'ordinateurs. Cette réduction serait compensée par des pratiques de mutualisation des appareils sur un territoire donné, qui permettrait de remédier aux effets environnementaux induits par cette logique d'individualisation des achats, accomplis pour des besoins ponctuels. La mise en œuvre d'une telle préconisation nécessiterait l'établissement d'une cartographie fine des numériseurs existants dans les institutions publiques. On pourrait imaginer s'appuyer sur les réseaux déjà existants en matière de politique de numérisation : ainsi, les établissements tête de réseau Gallica Marque blanche pourraient faire office de relais régionaux à même de proposer des services de numérisation aux établissements du territoire concerné.

Si plusieurs entretiens menés dans le cadre de ce mémoire ont mis en lumière les risques d'interférence des logiques politiques qui, dans des contextes locaux spécifiques, pourraient faire échouer de tels projets de mutualisation – par exemple entre bibliothèques municipales et archives départementales – d'autres exemples invitent à l'optimisme. Ainsi, en septembre 2021, la bibliothèque patrimoniale et d'étude (BPE) de la ville de Dijon et le Pôle documentation de l'Université de Bourgogne (UB) ont contractualisé en vue d'une utilisation partagée d'un scanner de numérisation. Comme le constate Rodolphe Leroy, responsable de la mission « Patrimoine, archives et culture » au Pôle documentation de l'Université de Bourgogne :

[Cette convention] nous permet, à nous, petite BU sans budget de numérisation, d'utiliser gratuitement un matériel de qualité, sans gêner les usagers de la BM¹³⁸.

La BPE dispose en effet d'un numériseur qu'elle met à disposition de ses lecteurs, à titre gratuit. Par cette convention, que l'on trouvera en Annexes, le Pôle

¹³⁷ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 193.

¹³⁸ Courriel de Rodolphe Leroy, daté du 15 janvier 2024.

documentation de l'UB est autorisé à utiliser ce scanner pour la numérisation de ses propres collections patrimoniales, à certaines conditions : la numérisation doit se faire sur rendez-vous, de préférence en-dehors des heures d'ouverture au public, par les propres agents de l'UB. De plus, l'UB s'engage à inscrire gratuitement six agents de la BPE, choisis par leur direction, en qualité de lecteurs extérieurs, pouvant à ce titre accéder aux ressources numériques scientifiques acquises par l'Université, et à une formation à l'utilisation des bases « les plus susceptibles de leur être utiles, pour les recherches qu'ils mènent dans le cadre professionnel »¹³⁹. La convention s'apparente ici à un partage de ressources professionnelles rares et onéreuses, qui permet précisément d'en amortir les coûts, qu'ils soient environnementaux ou économiques : d'une part la possession d'un numériseur ; d'autre part le droit d'accès à des ressources numériques de niveau scientifique. Nous ne saurions qu'encourager ce genre de pratiques vertueuses.

Le service de coopération documentaire de l'Université de Bordeaux a également mis en œuvre une politique de mutualisation de numériseurs. Un partenariat entre les cinq établissements d'enseignement supérieur bordelais que sont l'Université de Bordeaux, l'Université Bordeaux-Montaigne, Sciences Po Bordeaux, Bordeaux Sciences Agro et Bordeaux INP a permis de mutualiser un parc de deux numériseurs acquis dans le cadre du contrat de Plan État-Région (CPER) 2021-2027. Cette logique partenariale présente l'avantage d'avoir permis l'acquisition de deux scanners de haute qualité, situés dans les locaux du SCD de l'Université de Bordeaux. Ce sont deux agents de cet établissement, spécialement formés, qui assurent la numérisation des documents qui leur sont soumis par les établissements partenaires, chacun demeurant maître de sa politique de numérisation¹⁴⁰.

1.1.3. Don, réemploi et recyclage

La mutualisation n'est pas la seule solution permettant d'amortir le coût environnemental de ces appareils. La gestion de leur fin de vie est déterminante. Elle entre dans le cadre de la filière de traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE ou D3E), au sujet desquels le législateur français et européen, au vu des substances et composants rares et/ou toxiques qu'ils contiennent, a élaboré un cadre réglementaire particulier¹⁴¹. Une filière de traitement et de collecte des D3E professionnels a ainsi été mise en place en 2005. Elle repose sur la base du principe de responsabilité élargie des producteurs : ce sont ainsi les producteurs d'EEE qui sont responsables de la fin de vie des équipements mis sur le marché depuis le 13 août 2005, soit en mettant en place un système individuel de collecte et de traitement, soit en déléguant cette mission à l'un des trois éco-organismes agréés. Les flux de D3E s'organisent alors en fonction des politiques adoptées par les collectivités et les universités : l'Université de Bordeaux, par exemple, a mis en place, pour la collecte et le traitement de chaque type de déchet, un circuit et un prestataire spécialisé, ce qui lui a permis, en 2019, de couvrir 97 % des déchets générés. La filière de traitement

¹³⁹ Convention d'utilisation d'un scanner de numérisation entre la Bibliothèque municipale de la Ville de Dijon et le Pôle documentation de l'Université de Bourgogne, disponible en Annexes.

¹⁴⁰ Entretien avec Romain Wenz, réalisé le 16 janvier 2024.

¹⁴¹ À ce sujet, nous renvoyons au rapport produit par l'Ademe en 2020 : ADEME, *Équipements électriques & électroniques. Données 2020, 2021*, 105 p.

des D3E prévoit ainsi leur démantèlement, puis le recyclage des composants¹⁴². En cas de recours à un prestataire de numérisation, il convient de demander une traçabilité sur le taux de recyclage effectif des D3E et leur lieu de recyclage.

Face à l'ampleur grandissante des D3E, le législateur a tenu à promouvoir des politiques de don et de réemploi, qui garantissent un allongement de la durée de vie des appareils, conformément aux préconisations émises, en 2020, par la loi dite AGECE (« Anti-Gaspillage et Économie Circulaire »). L'injonction, rappelée par les différents rapports de l'Arcep et de l'Ademe, a également été reprise par la loi REEN, dont le deuxième axe entend limiter le renouvellement des appareils numériques en recourant à l'économie circulaire, en favorisant le réemploi et la réutilisation. Le développement d'une filière française de réemploi et de reconditionnement est ainsi l'un des axes de la feuille de route gouvernementale « Numérique et environnement ». Ce réemploi peut s'effectuer soit à destination des structures de l'économie sociale et solidaire, soit au sein même de la structure propriétaire du bien, qui opère ainsi un redéploiement de ses équipements.

Les administrations et personnes publiques qui souhaiteraient suivre ces préconisations peuvent avoir recours à la plateforme de don des biens mobiliers du Domaine¹⁴³, récemment mise en service, afin de permettre de donner des biens mobiliers de faible valeur dont elles n'ont plus l'usage. Une offre de don est définie ici comme « une proposition de biens mobiliers faite à titre gratuit par un organisme public », qui doit ensuite être soumise au commissaire des ventes du Domaine. Si ce dernier valide la proposition, l'offre est publiée sur le site.

Afin d'être éligibles, les biens doivent répondre à trois critères cumulatifs : être issus du domaine privé (et non du domaine public, ce qui, par définition, les rendrait inaliénables et imprescriptibles – ainsi, par exemple, les objets classés ou inscrits au titre des monuments historiques) ; ne plus être utilisés par les administrations ; être de faible valeur ou même non-valorisable (c'est-à-dire non susceptibles d'être revendus en l'état, car obsolètes, vétustes, détériorés, ou dont la valeur vénale est inférieure aux frais de vente). Ainsi, les biens estimés valorisables par les services du Domaine ne sont pas susceptibles de dons – mais on notera avec profit qu'ils peuvent être transférés gratuitement d'une administration d'État à une autre.

Du reste, le matériel électronique est tout à fait éligible à ce dispositif, puisque les DEEE de plus de cinq ans ne sont pas considérés comme valorisables, et peuvent donc faire l'objet de dons¹⁴⁴. Si les numériseurs et autres appareils photos y ont donc toute leur place, force est de constater que la plate-forme, lancée en 2022, demeure encore peu connue et sous-utilisée. Nous renvoyons, pour de plus amples détails à son sujet, au *Mémento* édité en août 2022 par la Direction nationale d'interventions domaniales.

¹⁴² UNIVERSITÉ DE BORDEAUX, *Gestion des déchets à l'université* : [Gestion des déchets à l'université - Bordeaux Neurocampus \(bordeaux-neurocampus.fr\)](https://www.univ-bordeaux.fr/actualites/2022/02/gestion-des-dechets-a-l-universite-bordeaux), consulté le 16 février 2024.

¹⁴³ Site des dons des biens mobiliers du Domaine : <https://dons.encheres-domaine.gouv.fr/>.

¹⁴⁴ DIRECTION NATIONALE D'INTERVENTIONS DOMANIALES, *Mémento sur le cadre juridique et pratique du don par les personnes publiques*, août 2022, p. 6.

1.2. Efficience et durabilité : l'exemple de NumaHOP

De même qu'il convient de distinguer l'obsolescence matérielle de l'obsolescence logicielle, la durabilité d'un processus de numérisation ne repose pas exclusivement sur l'allongement de la durée de vie des appareils utilisés au moment de la prise de vue : il est nécessaire d'envisager également la pérennité de la chaîne de numérisation, à travers l'emploi de solutions logicielles performantes permettant de rationaliser le *workflow*. À cet égard, le développement du logiciel NumaHOP, auquel a recours un nombre grandissant d'établissements pour piloter leur chantier de numérisation patrimoniale, est une solution digne d'être mise en lumière.

1.2.1. Vers une efficience accrue de la chaîne de numérisation

NumaHOP est un progiciel open source qui permet de gérer l'ensemble de la chaîne de numérisation. Développé, entre 2016 et 2018 par la société TechAdvantage, en collaboration avec la Bulac, la BSG et la bibliothèque de Sciences Po, il se compose de trois modules principaux, qui gèrent les imports (de métadonnées et de fichiers numériques), le contrôle qualité et les exports (vers les plateformes d'archivage – par exemple au Cines – et de diffusion – bibliothèques numériques). À cette architecture principale s'ajoutent des modules annexes permettant de gérer les lots, de procéder aux constats d'état, de piloter les indicateurs et de paramétrer l'outil.

Cette interface qui centralise l'ensemble des données supplante ainsi le recours à une multitude d'outils locaux et de procédure d'échange avec les prestataires : tableurs Excel de suivi, disques durs de partage, échange de courriels avec le prestataire, nombreux développements faits par les établissements, pour interfacer la chaîne de numérisation avec le système d'archivage, scripts locaux, outils de visualisation, etc.¹⁴⁵ Adeline Batailler évoque ainsi la chaîne de numérisation avant l'utilisation de NumaHOP, adopté en 2019 :

on recevait avant les fichiers par disque dur externe par la Poste, on copiait les fichiers à la main sur un serveur de transition, sur lequel on faisait tous les contrôles, et quand c'était bon, on refaisait une copie sur le serveur qui était adossé à la bibliothèque numérique¹⁴⁶.

En simplifiant et en automatisant les liens avec le prestataire (pour le dépôt des images et les bordereaux de contrôle, notamment), en économisant les manipulations de fichiers et le développement d'outils locaux, en ne sollicitant plus les serveurs locaux pour les opérations de « transition » (réalisées désormais sur un serveur de transition mutualisé), NumaHOP permet assurément de réaliser des gains de consommation énergétique.

On notera par ailleurs que ces gains peuvent résulter, outre des effets induits d'économies d'échelle, d'arbitrages entre recherche de l'efficience (entendue comme l'adéquation des moyens – financiers et énergétiques – et des résultats attendus) et recherche de la performance. Prenons l'exemple de la bibliothèque de

¹⁴⁵ Intervention de Pauline Rivière à l'occasion des « LundisNum » de l'INHA, lundi 8 février 2021. Disponible en ligne : https://www.youtube.com/watch?v=Dvdf_P-1sjQ&t=2888s.

¹⁴⁶ Entretien avec Adeline Batailler, réalisé le 15 janvier 2024.

Sorbonne Université (BSU) qui, après avoir adopté NumaHOP, qui permet d’internaliser l’océrisation, a renoncé à confier cette opération à son prestataire de numérisation. Ce choix lui a permis de diviser la facture par deux la facture de son prestataire. Toutefois, cette internalisation de l’OCR a entraîné une diminution de la qualité de la lisibilité du format texte ainsi produit, car celui-ci ne bénéficie plus du contrôle qualité scrupuleux (et très onéreux) que proposait le prestataire, qui, par exemple, corrigeait les transcriptions de formules mathématiques. Mais la mise en balance des coûts et des bénéfices induits par ce choix a joué en faveur de l’abandon du contrôle qualité de l’océrisation¹⁴⁷.

En d’autres termes, la BSU a ici choisi de privilégier le rapport entre les moyens engagés et les résultats attendus. En donnant la priorité à la recherche de l’efficacité de la chaîne de numérisation sur la recherche de la performance, cet exemple pourrait illustrer la première étape d’une gestion responsable des ressources numériques, si l’on se réfère à la modélisation qu’en ont proposé Evangelia Paschalidou, Charlotte Fafet et Leonidas Milios, exposée ci-dessus (cf. figure 2). Ici, la notion d’efficacité (*efficiency*) renvoie à une optimisation des moyens engagés, sans affecter le volume de données numériques produites et/ou conservées : simplement, l’accomplissement de ces opérations « nécessite moins de matériel et moins d’énergie »¹⁴⁸. Des mesures simples et rapides à mettre en place concrétisent cette première approche, qui présente la particularité de faire converger, le plus souvent, la contrainte économique et l’impératif environnemental. Au premier rang figure la recherche de l’efficacité énergétique, qui consiste à « réduire la quantité d’énergie nécessaire à la satisfaction [des] besoins en privilégiant les chaînes énergétiques efficaces de la source à l’usage »¹⁴⁹. Le recours à NumaHOP applique ce principe d’efficacité au processus même de numérisation.

1.2.2. Vers une pérennisation des pratiques professionnelles

L’inscription de NumaHOP dans une perspective de durabilité se traduit enfin par la logique de mutualisation, à l’œuvre dès la mise en développement du logiciel. Celui-ci s’appuie sur une communauté d’utilisateurs, qui rassemble aujourd’hui une quinzaine d’établissements et veille collectivement à son évolution. En disposant d’un outil unique, dont les évolutions sont décidées de manière collaborative, les établissements utilisateurs de NumaHOP évitent le coût de développement de scripts locaux au profit de pratiques mutualisées :

la plateforme d’archivage du Cines nous a demandé de fournir de nouveaux formats d’archivage. Au lieu de développer un script dans chacun des trois établissements [la BSG, la Bulac et la bibliothèque de SciencesPo], on a fait un développement commun, qui nous a servi, et qui servira à d’autres bibliothèques qui souhaiteraient utiliser NumaHOP¹⁵⁰.

¹⁴⁷ Entretien avec Adeline Batailler, réalisé le 15 janvier 2024

¹⁴⁸ FAFET Charlotte, MILIOS Leonidas et PASCHALIDOU Evangelia, art. cit., p. 1076.

¹⁴⁹ CHATELIN Stéphane, « Qu’est-ce que la sobriété ? », *Fil d’argent*, n° 5, hiver 2016, p. 12.

¹⁵⁰ Intervention de Pauline Rivière à l’occasion des « LundisNum » de l’INHA, lundi 8 février 2021. Disponible en ligne : https://www.youtube.com/watch?v=Dvdf_P-1sJQ&t=2888s.

Les économies d'échelles ainsi réalisées permettent d'amortir le coût de l'investissement initial. S'ils peuvent avantageusement se mesurer en termes économiques (cf. figure 7), ces gains d'efficacité se traduisent également sur le plan de la consommation énergétique : ici, comme on l'a montré plus haut, les deux logiques coïncident.

Commanditaire	Typologie de document	Coût de revient à la page sans NumaHOP	Coût de revient à la page avec NumaHOP	Différentiel	Gain
BULAC	Manuscrits moyen-orientaux (papier, écriture sinistrophe, livraison format image sans OCR)	1,41 €	0,54 €	0,87 €	-62%
BSG	Dessins format A0	10,27 €	9,61 €	0,66 €	-6%
BSG	Estampes	4,20 €	2,30 €	1,90 €	-45%
BSG	Imprimés musicaux avec OCR	0,62 €	0,44 €	0,18 €	-29%
BSG	Moyenne tous corpus	0,70 €	0,49 €	0,21 €	-30%
Sciences Po	Monographies, atlas et périodiques	0,29€	0,18€	0,11€	-38%

Figure 8. Gains financiers représentés par l'adoption de NumaHOP pour la gestion de la chaîne de numérisation de la Bibliothèque Sainte-Geneviève (source : Pauline Rivière).

Mais l'intérêt de la mutualisation ne s'arrête pas là. L'harmonisation des pratiques qui en résulte autorise à inclure, dans une réflexion sur la possibilité pratique d'une numérisation durable, un aspect qui nous avait jusqu'à lors échappé : la pérennité des protocoles de numérisation et, au-delà, de l'organisation du travail elle-même. Ainsi, si NumaHOP apparaît comme un outil durable, c'est aussi en ceci qu'il définit des processus de travail rationalisés, en partie automatisés et standardisés :

Un des objectifs de NumaHOP réside dans l'utilisation de méthodes de travail standardisées, tout en offrant la souplesse d'adapter l'outil aux réalités locales. L'instance mutualisée qui dessert les trois établissements [la Bulac, la BSG et la bibliothèque de Sciences Po] a ainsi conduit à une harmonisation des pratiques, tout en maintenant des paramètres distincts pour chacun des modules par établissement¹⁵¹.

Il en résulte une homogénéisation des pratiques professionnelles, non seulement à l'échelle du réseau de ses utilisateurs, mais encore au sein de l'équipe de chaque établissement. Comme le souligne Adeline Batailler, qui a activement contribué à implanter NumaHOP à la Bibliothèque de Sorbonne Université :

On ne peut passer notre temps, tous les dix ans, à reconstruire des infrastructures numériques. Donc là on a effectivement investi beaucoup d'argent, mais dans une structure qui, à mon avis, est pérenne et durable. En termes de travail, on a un workflow qui fonctionne bien, avec des équipes qui sont formées, des agents polyvalents : si je m'en vais, la numérisation continue¹⁵².

¹⁵¹ DUBOIS Olesea, MION-MOUTON Fanny et RIVIÈRE Pauline, « NumaHOP, une plateforme de gestion de contenus numérisés », *Arabesques*, n° 99, 2020, p. 11.

¹⁵² Entretien avec Adeline Batailler, réalisé le 15 janvier 2024.

Outre les gains d'efficacité énergétique, le développement d'un progiciel comme NumaHOP a donc permis d'inclure des personnels jusqu'à lors intimidés par un environnement logiciel touffu, complexe et difficile à appréhender, au profit d'un tableau de bord unique au langage normalisé.

2. INTERROGER LA RESPONSABILITÉ GLOBALE DES POLITIQUES DE NUMÉRISATION

2.1. S'inscrire dans un écosystème digital responsable

2.1.1. Logiciels libres vs solutions propriétaires

On sait que le développement des bibliothèques numériques, en France – et tout particulièrement de la première d'entre elles, Gallica – s'est historiquement construit face à un modèle marchand de diffusion de la connaissance sur le Web, promu par le géant américain Google¹⁵³. Si elle entend prolonger cette logique d'indépendance à l'égard des acteurs marchands, la promotion d'un modèle de développement numérique responsable doit s'appuyer sur les logiciels libres. L'association April (Association de promotion du logiciel libre) pointe ainsi les rapports étroits entre logiciel libre et numérique durable :

Le logiciel libre, par les libertés qu'il confère, est vecteur d'une informatique plus durable. C'est en garantissant la maîtrise de leurs équipements aux utilisateurs et utilisatrices, en leur donnant les moyens d'être indépendants face aux choix commerciaux des fabricants et des éditeurs de logiciels (privateurs) que l'on pourra pleinement adresser l'objectif de durabilité des équipements informatiques¹⁵⁴.

Quelle est la nature de la contribution des logiciels libres à la durabilité digitale¹⁵⁵ ? Tout d'abord, l'emploi de logiciels libres permet d'augmenter la durée d'utilisation des hardwares, et donc de prolonger la durée de vie du matériel et de diminuer le rythme de remplacement. Par exemple, des équipements relativement anciens, que les solutions marchandes ne permettent plus d'exploiter, peuvent bénéficier d'une seconde vie avec l'usage de systèmes d'exploitation libres. Comme le souligne Jean-Marie Feurtet, le logiciel libre « permet de rester maître de ses terminaux plus longtemps »¹⁵⁶. Or, on l'a vu, l'allongement de la durée de vie des terminaux est un levier décisif pour limiter l'impact environnemental du numérique, dont 75 % est dû à la phase de production et de distribution. En effet, l'ouverture du code source permet de lutter contre l'obsolescence logicielle, laquelle est souvent entretenue par les propriétaires. Plus largement, le modèle économique du logiciel libre est régi par une logique tout à fait opposée aux

¹⁵³ JEANNENEY Jean-Noël, *Quand Google défie l'Europe. Plaidoyer pour un sursaut*, Paris : Mille et une nuits, 2010, 219 p.

¹⁵⁴ Cité par : GIBELLO Pierre-Yves, *Apports du logiciel libre à la durabilité des équipements (smartphones, ordinateurs, objets connectés, périphériques) : une synthèse*, 16 janvier 2023, p. 8 (disponible en ligne : https://code.gouv.fr/docs/2023_01_RapportIndiceDurabilite.pdf).

¹⁵⁵ Sur cette question, nous renvoyons à l'article très précis et d'ALBERS Erik, « On the Sustainability of Free Software », disponible en ligne sur le site de la Free Software Foundation Europe : [On the Sustainability of Free Software - FSFE](#) (consulté le 9 janvier 2024).

¹⁵⁶ Entretien avec Jean-Marie Feurtet, réalisé le 13 décembre 2023.

logiques de rente : des standards propriétaires créent une dépendance technique, qui placent les éditeurs de logiciel dans une situation monopolistique.

Face à cette situation, les logiciels libres présentent l'avantage de pouvoir être installés localement, au contraire des « logiciels en tant que service » (*software as a service* ou SaaS) auxquels on accède *via* un navigateur Web et qui sont hébergés sur le *cloud*, dont on vu, plus haut, qu'il posait d'évidents problèmes de souveraineté numérique et de faible visibilité sur les solutions techniques déployées. Comme le note Thomas Fourmeux, « une des difficultés réside dans notre dépendance à des tiers pour l'ensemble des services [numériques] qu'on propose. Les prestataires des bibliothèques qui développent des portails ou des SIGB sont souverains dans le choix des outils qu'ils utilisent »¹⁵⁷. Or le choix du libre contribue à réduire cette dépendance : ainsi, le recours à un logiciel de bibliothèque numérique libre installé localement, tel qu'Omeka, permet à l'institution de garder la main sur les modalités de stockage.

2.1.2. *L'enjeu du signalement efficace des données*

En matière de numérique responsable, il s'avère souvent instructif d'étudier de près le comportement des autres acteurs, notamment publics. Ainsi, l'association OpenDataFrance, qui fédère et accompagne, en leur proposant une solide offre de service, les collectivités territoriales engagées dans l'ouverture des données publiques, a récemment inscrit, dans sa feuille de route, les enjeux de responsabilité et de sobriété numériques. Dans ce cadre, elle a fait paraître, en septembre 2022, un *Référentiel GreenData* qui, en se proposant de « maîtriser l'impact environnemental des données ouvertes », est susceptible d'intéresser également les bibliothèques.

Ce référentiel fait ainsi figurer, parmi les bonnes pratiques qu'il encourage à mettre en œuvre, deux recommandations qui concernent directement le cœur de métier des bibliothécaires. Ces deux pratiques, dont la priorité est jugée élevée par les auteurs du référentiel, ont en effet trait au signalement des données : il s'agit de la standardisation des données (bonne pratique n° 3) et de la documentation précise des métadonnées (bonne pratique n° 4). La présence de ces préconisations, dont l'intérêt, en termes bibliothéconomiques, est l'évidence même, peut surprendre dans un document relatif à l'écoresponsabilité du web. Pourtant, nul n'ignore qu'un signalement exemplaire contribue efficacement à une optimisation des pratiques de recherche ; or une recherche efficace est aussi, en termes énergétiques, une recherche sobre :

[Les métadonnées] permettent de comprendre exactement la nature des données qui sont mises à disposition. Grâce à une bonne compréhension des données disponibles, on peut donc choisir les données les plus intéressantes pour un usage donné et réduire les téléchargements inutiles¹⁵⁸.

Nathalie Pilet et Gabriel Raupp, respectivement responsables de la bibliothèque numérique et de l'équipe Signalement et exposition des données à la Bulac, conçoivent ainsi l'enjeu du signalement comme une dimension essentielle de la

¹⁵⁷ FOURMEUX Thomas, « La sobriété numérique : quelles actions pour les bibliothèques ? », *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 16-17.

¹⁵⁸ OPENDATAFRANCE, *Référentiel GreenData. Pour un impact environnemental maîtrisé*, septembre 2022, p.22.

durabilité des politiques de numérisation, au même titre que les questions de choix de format et de niveau de résolution, que nous avons déjà évoquées :

La numérisation patrimoniale mise en œuvre à la Bulac est par définition durable : tout d’abord, pour l’archivage, nous avons opté pour le format ouvert JPEG2000, dans la lignée de la BnF, afin d’assurer une conservation sur le long terme. Nous avons opté pour une résolution de 400 DPI pour s’assurer d’une haute qualité de numérisation afin de respecter les exigences de nos documents reproduits (principalement des manuscrits). Notre volonté est désormais d’assurer la diffusion la plus large possible de nos collections : nous sommes engagés dans un processus d’amélioration constante du signalement de nos collections afin d’en garantir la dissémination¹⁵⁹.

Cette logique d’amélioration du signalement a été grandement facilitée, de l’aveu de Nathalie Pilet et Gabriel Raupp, par l’emploi du progiciel NumaHOP. Celui-ci automatise ainsi, grâce aux mappings que l’on peut y paramétrer et qui, dans le cas des manuscrits numérisés déjà catalogués par la Bulac, permet d’importer dans NumaHOP des métadonnées directement tirées de Calames, au format EAD. Grâce au mapping automatique, les notices sortent de NumaHOP au format Dublin Core. Autre exemple : la Bulac veille à mettre en place des liens vers les notices d’autorité IdRef depuis les notices de sa bibliothèque numérique. Là encore, NumaHOP permettra, pour les futurs chantiers de numérisation, de générer automatiquement ces liens vers les notices IdRef¹⁶⁰.

Nous commençons ici à toucher aux limites d’une approche restreinte au calcul du « bilan carbone » d’une institution ou d’une activité. Comme nous y invite Pascal Krajewski, les bibliothèques ont en effet tout intérêt à veiller, « au-delà de *l’effet* de [leurs] actions [...], à maximiser *l’impact* de celles-ci »¹⁶¹. En effet, se réclamer de l’écoresponsabilité consiste à placer au centre de sa réflexion les impacts, aussi appelés « externalités », de ses actions. L’effet immédiat de la création d’une donnée numérique, génératrice d’un bilan carbone qui, comme on l’a vu, n’est pas à négliger, doit ainsi être mis en regard de ses impacts positifs, qui se mesurent précisément par son degré de réutilisation et de dissémination. Un bon signalement concourt ainsi à « amortir » le coût environnemental généré par la production, le stockage et la pérennisation de la donnée numérique. Une bonne visibilité limite aussi considérablement les risques de re-numérisation fortuite par un autre établissement. Cette logique d’accroissement de la visibilité et de facilitation de la dissémination des contenus numérisés s’inscrit en fait, plus largement, dans le processus de « fairisation » des données. Elle passe par la structuration des données selon des standards (comme Dublin Core), l’usage de référentiels tels qu’IdRef, Geonames (pour la localisation) ou Periodo (pour la chronologie) pour le signalement des données, l’utilisation d’identifiants pérennes (ARK, Handle, DOI)¹⁶² ou encore par la mise à disposition des données sous

¹⁵⁹ Réponse de Nathalie Pilet et Gabriel Raupp (Bulac) au formulaire d’enquête.

¹⁶⁰ Entretien avec Nathalie Pilet et Gabriel Raupp, réalisé le 2 février 2024.

¹⁶¹ KRAJEWSKI Pascal, « La « bibliothèque verte », pour quoi faire ? : le rôle des bibliothèques dans la transition écologique », *Bulletin des bibliothèques de France (BBF)*, 30 mai 2023. En ligne : https://bbf.enssib.fr/matieres-a-penser/la-bibliotheque-verte-pour-quoi-faire_71245.

¹⁶² KAGAN Gilles, « Sobriété numérique : attention à la course aux pixels !... », communication cit.

licence ouverte : le recours à une licence Etalab en permet ainsi la réutilisation par les chercheurs et le grand public.

2.1.3. *L'enjeu de l'interopérabilité des données : l'exemple de la bibliothèque numérique « Genovefa »*

Quant à la standardisation des données, elle est, toujours selon OpenDataFrance, « un gage de qualité donc de réutilisation et un bénéfice potentiellement positif au regard du coût écologique de sa publication ». En outre, l'utilisation d'un standard pour la description des données « facilite l'interopérabilité des données et leurs exploitations par les réutilisateurs »¹⁶³.

En identifiant ainsi l'enjeu de l'interopérabilité, les rédacteurs du référentiel *GreenData* pointent l'une des conséquences les plus notables de la multiplication des ressources numérisées accessibles sur le Web. La présence numérique des bibliothèques est particulièrement concernée par cette problématique. En effet, l'essor des bibliothèques numériques ne s'est que trop rarement accompagné d'une coordination technique qui aurait permis de rendre les solutions développées compatibles entre elles¹⁶⁴. Or, la « logique de silos » qui eut, *de facto*, tendance à l'emporter, n'est pas sans effet sur le sujet qui nous intéresse ici. Dans un environnement cloisonné et peu interopérable, les applications (programmes de recherche, expositions en ligne, reconstitutions virtuelles, etc.) souhaitant exploiter les fichiers numérisés mis à disposition par les bibliothèques numériques, n'ont d'autre choix que de les importer et de les stocker à leur tour dans leur propre entrepôt de données. Une telle solution technique – ou plutôt une telle absence de solution technique satisfaisante – a pour effet de reproduire, à chaque duplication, les coûts engendrés par le stockage des données. Il convient donc de privilégier des technologies évitant la duplication des fichiers.

Par le sigle IIF (*International Image Interoperability Framework*), il est d'usage de désigner à la fois une communauté d'utilisateurs et un cadre d'interopérabilité. Réunissant des institutions culturelles et académiques comme des sociétés privées (musées, bibliothèques, archives, universités, éditeurs de logiciels, etc.), cette communauté s'est constituée, en 2015, en un consortium qui réunit aujourd'hui soixante-cinq membres. Citons, à titre d'exemple, les bibliothèques universitaires de Princeton, Yale ou Harvard, la Bibliothèque vaticane, les bibliothèques nationales de Pologne ou de Norvège, la British Library ou encore le Getty Museum. Du côté français, la Bibliothèque nationale de France, est l'un des membres fondateurs du consortium¹⁶⁵, où elle figure notamment aux côtés de l'infrastructure numérique Biblissima+, portée par le Campus Condorcet, qui joue un rôle moteur dans le développement de la technologie IIF en France¹⁶⁶.

¹⁶³ OPENDATAFRANCE, *op. cit.*, p. 20.

¹⁶⁴ ROBINEAU, Régis, « Comprendre IIF et l'interopérabilité des bibliothèques numériques », *Blog Insula*, 8 novembre 2016 : <https://insula.univ-lille.fr/2016/11/08/comprendre-iiif-interoperabilite-bibliotheques-numeriques/> (consulté le 29 août 2023).

¹⁶⁵ « Consortium Members », *International Image Interoperability Framework*, (<https://iiif.io/community/consortium/members/>), consulté le 29 août 2023.

¹⁶⁶ « IIF@Biblissima : implémentations, usages et services autour de IIF... par Biblissima », (<https://iiif.biblissima.fr/#iiif>), consulté le 29 août 2023.

Ces diverses institutions œuvrent ainsi à l'élaboration d'un cadre technique commun permettant la diffusion et l'échange d'images haute résolution sur le Web. Par la création et la mise à jour de spécifications techniques, ensuite implémentées dans des logiciels (serveurs d'images, visualiseurs, outils d'annotation, etc.), elles accomplissent un travail de standardisation qui permet aux bibliothèques numériques de diffuser leurs images sur le Web et de les rendre consultables, manipulables et annotables par n'importe quelle application ou logiciel compatible.

Le recours à la technologie IIIF ne sera pas étudié ici sous l'angle des apports aux humanités numériques, mais, beaucoup plus spécifiquement, au regard des économies d'espace de stockage qu'il permet de réaliser, dans le cadre du développement d'une bibliothèque numérique. Un exemple probant est fourni par le partenariat entre la bibliothèque Sainte-Geneviève (BSG) et l'Institut de recherche et d'histoire des textes (IRHT). À partir de 2021, la BSG s'est lancée dans un chantier de numérisation en très haute qualité des manuscrits médiévaux de sa Réserve. Pour ce faire, elle s'est associée à l'IRHT, qui se charge de la numérisation. Le recours à la technologie IIIF a alors permis d'offrir une solution tout à fait satisfaisante, tant sur le plan économique qu'environnemental, aux questions posées par le stockage et la diffusion des images numérisées sur la bibliothèque numérique de la BSG, « Genovefa » :

On a travaillé sur une interopérabilité des données assez poussée, c'est-à-dire qu'on fait le choix que les données numérisées et produites par l'IRHT ne soient stockées que sur les serveurs de l'IRHT, et qu'on les appelle dans la bibliothèque numérique *via* IIIF¹⁶⁷.

On notera que, le signalement étant différent entre les bases de l'IRHT et de la BSG, il était impossible à cette dernière de récupérer directement le *manifest* IIIF de l'IRHT. La bibliothèque a donc associé les métadonnées issues de Calames, produites par ses propres catalogueurs, aux métadonnées des images issues du serveur IIIF de l'IRHT.

En réalité, c'est par son mode de fonctionnement même que la bibliothèque numérique « Genovefa » s'apparente à une sorte de réceptacle qui se contente d'exposer des données, conservées exclusivement sur un serveur IIIF, qui les sert par l'intermédiaire du *manifest* IIIF. Comme le précise encore Pauline Rivière :

« Genovefa » est une bibliothèque numérique qui n'a pas d'image dedans. Beaucoup de bibliothèques numériques versent leurs images et leurs métadonnées dans leur logiciel qui sert de bibliothèque numérique. Notre bibliothèque numérique va appeler notre serveur d'images, qui est en local, qui s'appelle Cantaloupe, elle va appeler les métadonnées des images et les exposer dans la bibliothèque numérique¹⁶⁸.

Une telle infrastructure d'hébergement permet ainsi de dédoubler le stockage des fichiers, ce qui conduit à amortir le coût de création de la donnée.

¹⁶⁷ Entretien avec Pauline Rivière, le 19 janvier 2024.

¹⁶⁸ *Ibid.*

2.1.4. Des bibliothèques numériques écoconçues

La consommation électrique pour les services numériques en France est estimée à 48,7 TWh, ce qui représente 10 % de la consommation électrique française¹⁶⁹. Les modalités de diffusion et de mise à disposition des contenus numériques représentent donc une marge de manœuvre non négligeable en vue de réduire l’empreinte énergétique du secteur numérique. Or, il est possible d’intégrer les impacts environnementaux dès la phase de conception du service numérique – par exemple, dans le cas qui nous occupe, une bibliothèque numérique – en recourant à des réflexes d’écoconception. Celle-ci « consiste à intégrer la protection de l’environnement dès la conception des biens ou services en vue de réduire leurs impacts environnementaux, et ce tout au long du cycle de vie »¹⁷⁰. Elle ne relève pas seulement, donc, d’une recherche d’efficacité, ou d’optimisation, mais d’une réflexion plus large sur l’usage de la technologie. La première question d’écoconception qu’il convient de se poser est ainsi celle de la raison d’être du service numérique, et de sa pertinence pour répondre au besoin identifié¹⁷¹.

L’écoconception des services numériques est une recommandation fréquemment formulée par les politiques publiques en matière de numérique responsable. Ainsi, dans le cadre de la feuille de route gouvernementale « Numérique et environnement » publiée en février 2021, la Direction interministérielle du numérique (Dinum) a produit un document cadre, qui propose de nombreux critères d’évaluation de l’écoresponsabilité des services numériques : le référentiel général d’écoconception de services numériques (RGESN)¹⁷². Ce document très complet présente près de 80 questions, qui interrogent l’écoresponsabilité du service, depuis la stratégie de conception jusqu’aux solutions d’hébergement, en passant par la définition des spécifications ou du parcours utilisateur. Quoique non contraignant, ce guide est un outil précieux pour toute institution publique qui entend lancer un nouveau service numérique ou en refondre un déjà existant. Nous ne pouvons que souligner l’intérêt d’un tel document, que 14 des 18 répondants à notre enquête déclaraient ne pas connaître.

Nous signalerons enfin, parmi les nombreux outils d’évaluation de la performance environnementale des sites web, celui conçu par Frédéric Bordage, par ailleurs fondateur du collectif GreenIT. Son EcoIndex, d’usage libre et gratuit, fournit le « score environnemental d’une page Web ». Modélisé par une note sur 100 et une lettre, de A (la meilleure performance) à G (la plus mauvaise), il prend en compte trois indicateurs techniques : le poids de la page (c’est-à-dire le poids des données stockées sur le serveur et transférées jusqu’au navigateur) ; sa complexité (mesurée par le nombre d’éléments du DOM (Document Object Model), c’est-à-dire de la structure d’une page Web HTML) ; son nombre de requêtes HTTP (qui permet de mesurer l’effort fourni par les serveurs pour afficher

¹⁶⁹ ADEME et ARCEP, *Évaluation de l’impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, p. 5.

¹⁷⁰ COLLECTIF, *Proposition de Feuille de route de décarbonation de la filière numérique*, juillet 2023, p. 30.

¹⁷¹ DIRECTION INTERMINISTÉRIELLE DU NUMÉRIQUE (DINUM), *Référentiel général d’écoconception de services numériques*, 2021 : [rgesn-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf \(numerique.gouv.fr\)](https://numerique.gouv.fr/ressources/rgesn-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf), p. 5.

¹⁷² *Ibid.*

la page : plus le nombre est élevé, plus il faudra de serveurs pour servir la page). Autrement dit : le nombre d'éléments que comporte son DOM, le poids des données qui la constituent, le nombre de serveurs sollicités pour l'afficher sont les variables qui déterminent la consommation énergétique d'une page Web – et donc, *in fine*, son empreinte environnementale. L'EcoIndex calcule celle-ci selon deux indicateurs : la consommation d'eau et les émissions de gaz à effet de serre. L'évaluation de la page d'accueil de Gallica permet ainsi de conclure que, selon l'EcoIndex, l'empreinte annuelle de cette simple page, qui a reçu, en 2022, 18 millions de visites, s'élève à 734 400 litres d'eau et 49 tonnes de CO₂¹⁷³.

L'EcoIndex présente également l'intérêt d'accompagner ce diagnostic de quelques pistes d'amélioration, suivant les critères qui se sont révélés les plus critiques : optimisation du format des images, compression des fichiers, limitation du contenu et des fonctionnalités à l'essentiel, limitation des « carrousels » et défilements infinis, limitation de l'utilisation de widgets et de plugins, utilisation de polices standards, etc. L'écoconception entend également influencer sur les pratiques des usagers, en vue de limiter les plus gourmandes d'entre elles. Le mode d'exploration des fonds numérisés peut être paramétré de telle sorte que la requête de l'utilisateur n'interroge pas l'intégralité de la base de données, mais seulement une fraction, déjà bornée en amont de la recherche :

vous pouvez également limiter les fonctionnalités proposées à l'utilisateur sur le portail web, de sorte qu'un nombre réduit de fichiers soit interrogé dans l'entrepôt de données – par exemple, en ne proposant pas « rechercher tout » comme une option standard, mais en laissant les utilisateurs indiquer quel fonds spécifique (journaux, livres ou magazines) doit être interrogé¹⁷⁴.

En sollicitant moins la puissance de calcul des serveurs, de telles fonctionnalités limitent leur consommation énergétique, et donc leur impact environnemental. On peut également ne pas proposer à l'utilisateur la possibilité de télécharger le document : le téléchargement est une activité coûteuse énergétiquement, qui entraîne la duplication des fichiers chez chaque usager. C'est le cas de la bibliothèque numérique *Delpher*, développée par la Bibliothèque royale des Pays-Bas, dont une « large partie des collections numérisées n'est pas téléchargeable par l'utilisateur, mais seulement consultable en ligne, ce qui n'a qu'un impact limité »¹⁷⁵. De son côté, Romain Wenz a constaté que le nombre de téléchargements depuis la bibliothèque numérique de l'Université de Bordeaux, BabordNum, était très élevé au regard du nombre de visiteurs uniques. Quoique toute empirique, notre propre expérience utilisateur de BabordNum nous invite à y voir un effet induit par la configuration de l'interface utilisateur : en effet, la page d'une ressource numérisée est conçue de telle sorte que le bouton « Fichier », en haut à droite semble la solution la plus naturelle pour accéder au document, alors qu'en réalité la visionneuse à gauche (que nous avons pris, de prime abord, pour un simple aperçu de la ressource) permet déjà sa consultation. Or ce bouton « Fichier » provoque le téléchargement du document, en format PDF. Comme le

¹⁷³ Évaluation réalisée le 16 février 2024.

¹⁷⁴ GILLISSE, Robert, GROEN, Arie, VAN ZWOL, Tamara et WIJSMAN, Lotte, *The CO₂ Emissions of Storage and Use of Digital Objects and Data. Explore climate actions*, iPres 2022 : The 18th International Conference on Digital Preservation, Glasgow, Scotland.

¹⁷⁵ *Ibid.*

constate Romain Wenz : « la conception de nos interfaces intègre assez peu les externalités négatives »¹⁷⁶.

Celle-ci est pourtant pleinement du ressort des établissements, qu'il convient d'inviter à systématiser la prise en compte de l'impératif environnemental dans les appels d'offre de projets numériques. Citons ici l'exemple de l'agence Occitanie Livre & Lecture, qui prépare le lancement d'un site web de valorisation du patrimoine écrit, graphique et sonore conservé en région Occitanie, et a inclus une clause d'éco-conception dans son cahier des charges, en renvoyant à la liste des bonnes pratiques proposée par l'ADEME, à celle fournie par le collectif GreenIT et au RGEN. Ce même cahier des charges exprime, au chapitre « fonctionnalités du site », le souhait de voir « la mise en place d'un CMS sobre, qui permet de construire des pages à faible écoindex ». Le lien hypertexte présent dans le document renvoie à l'EcoIndex conçu par Frédéric Bordage¹⁷⁷.

2.2. Numérisation patrimoniale et sobriété numérique

Après nous être arrêté sur les notions de « responsabilité » et de « durabilité », lesquelles, comme on l'a vu, sont étroitement liées, nous nous proposons de conclure cette étude en examinant les politiques de numérisation patrimoniale au prisme d'un concept qui a fait irruption plus récemment dans le débat public : celui de sobriété. Ce n'est, en effet, qu'au cours des années 2010 qu'émerge, progressivement, la notion de sobriété numérique. Pour Fabrice Flipo, qui en est l'un des principaux théoriciens, « la sobriété entend changer, même localement, même de manière limitée, un mode de vie dont la trajectoire ne paraît pas souhaitable. Elle renvoie à la norme du suffisant comme à la question de la justice dans un monde fini, c'est-à-dire dans lequel ce que les uns consomment est potentiellement rendu indisponible pour les autres »¹⁷⁸. Pour le Shift Project, auteur d'un rapport sur le sujet en octobre 2020, mettre en œuvre la sobriété numérique, c'est « passer d'un numérique instinctif voire compulsif à un numérique piloté, qui sait choisir ses directions : au vu des opportunités, mais également au vu des risques »¹⁷⁹. Qu'il s'agisse de « pilotage » ou de « changement de trajectoire », il s'agit bien d'effectuer des choix politiques, de prendre des décisions éclairées, réinterrogeant profondément le paradigme dominant.

2.2.1. Sobriété et « norme du suffisant »

Dans une perspective de sobriété, la question du besoin est fondamentale. Il ne s'agit pas de remettre fondamentalement en question la tripartition sur laquelle s'appuie la *Charte documentaire de numérisation des collections* rédigée par la Bibliothèque nationale de France :

¹⁷⁶ Entretien avec Romain Wenz réalisé le 16 janvier 2024.

¹⁷⁷ OCCITANIE LIVRE & LECTURE, *Cahier des charges - Site de valorisation du patrimoine écrit, graphique et sonore en Occitanie*, 18 octobre 2023, consultable en ligne : https://www.occitanielivre.fr/sites/default/files/2023-10/cahier%20des%20charges_valorisation%20patrimoine%20Occitanie_vdef.pdf.

¹⁷⁸ FLIPO Fabrice, *op. cit.*, p. 358.

¹⁷⁹ THE SHIFT PROJECT, *Déployer la sobriété numérique*, octobre 2020, p. 2.

À la question souvent posée de l'ambition d'exhaustivité de la numérisation de ses collections, la BnF répond qu'elle n'inscrit pas la numérisation dans une ambition d'exhaustivité quantitative, mais raisonnée, appuyée sur trois grands critères : l'intérêt patrimonial ; l'intérêt documentaire ; la conservation¹⁸⁰.

L'impératif environnemental ne saurait naturellement faire fi de la valeur inestimable des collections de la BnF. Le dernier paragraphe de la section relative aux critères de sélection mériterait toutefois être relu à la lumière des impacts environnementaux de la numérisation :

Une grande partie du patrimoine imprimé plus courant (livres, revues, presse, ...) mériterait d'être numérisée. On peut considérer en effet qu'à terme, les documents ne disposant pas d'avatar numérique facilement disponible retiendront de moins en moins l'attention des publics. L'ampleur des collections oblige cependant à être sélectif, en prenant d'abord en considération l'importance patrimoniale ou documentaire, la rareté, l'existence d'occurrence sur le web, le niveau de consultation par les chercheurs d'aujourd'hui, l'état de conservation. Faute de séries statistiques établies sur de longues périodes pour la consultation par les chercheurs, des objectifs *in abstracto* paraissent difficiles à expliciter. Une numérisation plus ou moins exhaustive sera surtout affaire de moyens sur le long terme¹⁸¹.

La prochaine version de cette charte documentaire ne gagnerait-elle pas à ajouter, aux côtés de « l'ampleur des collections », un autre motif « obligeant » à la sélectivité : celui du coût environnemental ? À l'heure de la sobriété numérique, l'objectif, à long terme, d'une « numérisation plus ou moins exhaustive » ne semble, en effet, guère tenable. L'argument invoqué ici – « à terme, les documents ne disposant pas d'avatar numérique facilement disponible retiendront de moins en moins l'attention des publics » – ressemble en effet à une position de principe, prenant acte d'un sens de l'histoire qui a toutes les apparences de l'inéluctable, mais que l'exigence de sobriété invite pourtant à réinterroger. Si, en effet, comme l'affirme Fabrice Flipo, la sobriété doit être envisagée avant tout comme un moyen de « reprendre le contrôle de l'historicité »¹⁸², il conviendrait de réinterroger la finalité de la bibliothèque numérique, qu'il faudrait se garder de considérer comme le miroir des collections physiques ou le devenir nécessaire et naturel des supports analogiques.

De manière apparemment triviale, Pendergrass rappelle que **la première question que doit se poser une institution patrimoniale sur le point de numériser est celle-ci : « a-t-on démontré l'existence d'un besoin de mise à disposition numérique d'un document analogique ? »**¹⁸³. Les bonnes pratiques recommandées en matière de gestion des données numériques invitent toujours à s'interroger à deux fois sur le bien-fondé de la sauvegarde de la donnée, ou de son archivage pérenne. Dans le cas de numérisations patrimoniales, cette interrogation

¹⁸⁰ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Charte documentaire de la numérisation des collections de la Bibliothèque nationale de France*, octobre 2017, p. 15.

¹⁸¹ *Ibid.*, p. 16.

¹⁸² FLIPO Fabrice, *op. cit.*, p. 7.

¹⁸³ PENDERGRASS Keith L., *art. cit.*, p. 185.

scrupuleuse est naturellement déplacée en amont de la production de donnée, au moment de la prise de vue :

La numérisation a lieu en réponse à des besoins qui ont été démontrés, qui peuvent être justifiés sur la base de la législation, de la dégradation naturelle des biens patrimoniaux, de demandes d'utilisateurs, et d'utilisabilité interne¹⁸⁴.

La deuxième question est celle de l'adéquation de la solution technique retenue avec l'usage attendu de la ressource. Une numérisation à 400 dpi est-elle vraiment nécessaire, s'il s'agit de presse ancienne ou d'un ouvrage imprimé ? Une démarche sobre recherchera en effet, plutôt que la meilleure qualité possible, le « "suffisamment bon" niveau »¹⁸⁵, c'est-à-dire celui qui optimise le rapport entre la quantité d'énergie mobilisée pour créer, maintenir et mettre à disposition la donnée numérique et la réalité de l'usage qui en fait.

On voit bien que c'est, *in fine*, la question de la justification du recours à l'artefact numérique qui se pose ici avec une acuité particulière. En effet, dans le cas de numérisations conservatives de documents fragiles, qu'une re-numérisation mettrait en péril, il convient naturellement de sécuriser au maximum la donnée ainsi produite : la durabilité s'entend ici par la recherche d'une qualité suffisante pour éviter d'endommager, voire de détruire le document en cas de seconde numérisation.

2.2.2. Sobriété et « pertinence sociétale » (1) : faire avec les usagers

En l'inscrivant dans la loi relative à la Transition énergétique pour la croissance verte, votée en août 2015, le législateur a contribué à dissiper le tabou qui a longtemps entouré la notion de sobriété. Pour l'association négaWatts, transposer concrètement l'exigence de sobriété énergétique consiste avant tout à « prioriser les besoins et les services énergétiques essentiels dans les usages individuels et collectifs de l'énergie »¹⁸⁶. Il ne s'agit donc pas simplement de « réduire la voilure », ni de réfléchir à une rationalisation de nos usages énergétiques, mais, bien plus fondamentalement, d'interroger nos besoins. Comme le note Jean-Marie Feurtet, la notion de sobriété « questionne la valeur de ce que nous faisons avant même de chercher à le faire le plus efficacement possible »¹⁸⁷.

Comment questionner la valeur des politiques de numérisation patrimoniale, en tension avec l'exigence de réduction de l'impact environnemental ? Il est d'usage, au moins depuis l'ouvrage important dirigé par Cécile Touitou en 2017¹⁸⁸, d'interroger la « valeur sociétale » des bibliothèques. Le rapport que le *Shift Project* a produit en 2021 sur les impacts environnementaux du numérique emploie

¹⁸⁴ FAFET Charlotte, MILIOS Leonidas et PASCHALIDOU Evangelia, art. cit., p. 1078.

¹⁸⁵ « "good enough" level », dans : *Ibid.*, p. 1075.

¹⁸⁶ CHATELIN Stéphane, art. cit., p. 12.

¹⁸⁷ FEURTET Jean-Marie, « Écologie et numérique : de quoi parlons-nous ? », Blog de la Commission « Bibliothèques Vertes » de l'Association des bibliothécaires de France (ABF) : <https://bib.vert.es.abf.asso.fr/ecologie-et-numerique-de-quoi-parlons-nous/> (consulté le 10/01/2024).

¹⁸⁸ TOUITOU Cécile (dir.), *La valeur sociétale des bibliothèques. Construire un plaidoyer pour les décideurs*, Paris : Éditions du Cercle de la Librairie, 2017, 214 p.

une terminologie quasiment identique lorsqu'il affirme, au sujet de la hausse de l'empreinte carbone induite mécaniquement par le déploiement de la 5G, que « la consommation de ce budget carbone supplémentaire pour ces nouveaux usages doit se justifier par la *pertinence sociétale* (notamment au vu des enjeux énergie-climat) des services déployés »¹⁸⁹. S'il ne s'agit pas ici d'interroger frontalement la valeur sociétale des politiques de numérisation patrimoniale, il nous semble qu'aborder celles-ci sous l'angle de la durabilité peut fournir quelque éclairage sur cette question.

En effet, s'attacher à fournir la réponse la plus adéquate aux besoins nécessite tout d'abord d'inclure les usagers dans la définition et la mise en œuvre des politiques de numérisation patrimoniale. Cette conception ne va pas de soi : la numérisation des collections, telle qu'elle est le plus souvent envisagée par les bibliothèques françaises, relève avant tout d'une « logique de l'offre ». Or l'inclusion du public dans la conception d'une bibliothèque numérique, ou dans la formalisation d'une politique de numérisation, participe d'un usage responsable de la ressource numérique :

La participation du public est le meilleur moyen d'empêcher que les bibliothèques numériques ne deviennent de nouvelles boîtes noires, dont on ne comprend ni les questions qu'elles nous posent ni les réponses qu'elles nous donnent¹⁹⁰.

Or une telle « bibliothèque numérique boîte noire », c'est un poids mort dans l'écosystème du Web : un objet digital qui n'amortira jamais son coût de production et de maintenance.

En outre, l'écoconception peut devenir une externalité positive de la prise en compte du parcours utilisateur dans la création d'un portail patrimonial, et de sa conception partagée avec les usagers. Le réseau des bibliothèques de l'intercommunalité Romans Valence Agglo en offre un excellent exemple : sommée, dans le cadre de la loi REEN, de procéder à l'évaluation de l'empreinte environnementale de ses services numériques, elle a réalisé que sa bibliothèque numérique, « L'Empreinte », obtenait un bon score, alors même que l'écoconception ne figurait pas dans son cahier des charges. La raison de ce bon résultat, de l'avis de Lionel Dujol¹⁹¹, responsable de la prospective et de l'accompagnement au changement à la Direction de la lecture publique de la communauté d'agglomération Valence Romans Agglo, réside précisément dans le processus très particulier de conception de « L'Empreinte ». En effet, cette bibliothèque numérique a été conçue grâce à une démarche de design UX, qui a permis de construire le portail « à partir des ressentis des publics visés et de leurs usages réels »¹⁹². Cette logique « centrée utilisateur », qui évacue notamment la terminologie spécialisée et met en avant des fonctionnalités réellement attendues par le grand public, a abouti à un niveau élevé d'ergonomie, à un parcours

¹⁸⁹ THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique et gouvernance de la 5G. Note d'analyse*, mars 2021, p. 32. Nous soulignons.

¹⁹⁰ Citation de Philippe CHEVALLIER, citée par : PASTORE Graziella, *Les coopérations entre chercheurs et bibliothécaires dans le cadre des projets de numérisation de corpus documentaires*. Mémoire d'étude de conservateur des bibliothèques. Villeurbanne : Essib, 2018, p. 43.

¹⁹¹ Entretien avec Lionel Dujol, réalisé le 8 janvier 2024.

¹⁹² Interview de Lionel DUJOL, dans : BONNAUD Pierre-Marie, *La transition numérique des établissements culturels*, Voiron : Territorial Éditions, 2019, p. 61-63.

d'utilisation optimisé, à une navigation plus fluide. Or, comme le constate Lionel Dujol, « en facilitant la navigation, on réduit les flux de données »¹⁹³. La limitation des flux de données, en sollicitant moins les réseaux et les serveurs, permet à son tour de limiter l'impact environnemental des sites web. Elle participe d'un usage plus sobre du Web.

Surtout, que le bon score obtenu à l'écoindex par « L'Empreinte » ait résulté de la mise en œuvre, pour sa conception, de logiques « centrées utilisateur », met en pleine lumière la dynamique vertueuse qu'entretiennent des logiques écoresponsables et des modes de conception fondées sur la participation active de citoyens du territoire. Par ailleurs, la prise en compte de l'utilisateur dans la conception d'une bibliothèque patrimoniale numérique apparaît comme une solution pertinente à l'enjeu, soulevé au début de cette enquête, de la valeur ajoutée du recours au numérique. Cette approche, en activant la dimension sociale du triptyque « environnement-économie-social » du développement durable, va au-delà de la simple écoconception. Plus que d'écoconception, on gagnerait en effet à parler ici de « conception durable » – démarche, qui, d'après le lexique proposé par le Club Green IT, prend également en compte la performance sociale, et « vise autant à réduire des impacts qu'à créer de la valeur ajoutée en éco-innovant »¹⁹⁴.

En somme, ce genre d'approches permet d'envisager les bibliothèques numériques comme des « plateformes substantives ». Définies par Jeanne Vercher-Chaptal comme des modèles alternatifs qui « s'inscrivent à la fois dans la tradition coopérative et dans celle des communs, notamment numériques », celles-ci reposent sur des « choix technologiques "éthique *by design*", avec la volonté de privilégier des interactions humaines »¹⁹⁵ et de contrer la mainmise des GAFAM sur la diffusion des contenus numériques : une approche qui semble particulièrement pertinente pour déployer des politiques publiques et locales de médiation du patrimoine.

2.2.3. *Sobriété et « pertinence sociétale » (2) : faire pour les usagers*

En bref, une numérisation responsable, si elle conçue à des fins de médiation et de diffusion du patrimoine, doit s'appuyer sur ses utilisateurs, en cherchant à concevoir avec eux – ou, à tout le moins *pour* eux, par un effort soutenu de valorisation de la donnée. Il s'agira donc de numériser moins, de manière plus sélective et sans nécessairement rechercher une qualité optimale, mais en valorisant les documents rendus ainsi accessibles par des contenus éditoriaux – qui, naturellement, se devront de respecter les principes de l'écoconception détaillés dans le RGEN. Dans ce rééquilibrage des politiques de numérisation, les outils de rationalisation de la chaîne technique sont des alliés de poids : ainsi, Pauline Rivière constate que l'adoption de NumaHOP « a fait gagner du temps humain » à l'équipe de la BSG, ce qui lui a « permis de redéployer [ses] forces sur la valorisation et la médiation numérique »¹⁹⁶. Citons ici l'exemple de

¹⁹³ Entretien avec Lionel Dujol, réalisé le 8 janvier 2024.

¹⁹⁴ BORDAGE Frédéric et CHAUSSAT, Jean-Christophe (dir.), *Du Green IT au numérique responsable. Lexique des termes de référence*, Club GreenIT, mai 2018, p. 12.

¹⁹⁵ BOCHARD Rémi, FOUCHER Aurélie, GUÉPRATTE Juliette, LANOOTE Sophie et VELLOZZO Philippe, *Culture et numérique. Pour une écologie de l'attention*, Cycle des hautes études de la culture, 2023, p. 35-36.

¹⁹⁶ Entretien avec Pauline Rivière, réalisé le 19 janvier 2024.

l'exposition virtuelle « D'or et de pixels »¹⁹⁷, conçue par l'équipe de la BSG, et qui est un excellent exemple de sensibilisation du public aux enjeux de la diffusion d'un corpus de manuscrits médiévaux à l'heure du numérique.

Ainsi, si la sobriété repose avant tout sur l'estimation juste du besoin, et sur la proportionnalité de la réponse qui lui est apportée, les usagers peuvent devenir les meilleurs alliés d'une politique de numérisation durable. La BnF s'appuie ainsi de plus en plus sur les statistiques de consultation pour prioriser ses choix de numérisation¹⁹⁸, et procède à la numérisation des ouvrages hors d'usage au fil des demandes de consultation des lecteurs.

Incitant ainsi à « examiner de manière critique les justifications des numérisations de masse », Pendergrass invite à « développer des stratégies d'accès à la demande »¹⁹⁹. En effet, la numérisation à la demande répond à un besoin clairement identifié et justifié, tout en permettant d'éviter les coûts environnementaux induits par le déplacement physique de chercheurs. Il est possible d'imaginer des solutions de numérisation à la demande particulièrement sobres : dans un guide²⁰⁰ édité en 2011, l'*Online Computer Library Center (OCLC)* identifiait trois « trajectoires » possibles de mise en œuvre de numérisation à la demande, de la plus modeste et économe, à la plus ambitieuse, choisissant notamment, comme critères de différenciation, le poids des données produites et les modalités de stockage et de mise à disposition – les deux principales variables d'ajustement, on l'a vu, de l'impact environnemental des politiques de numérisation. Ainsi, la trajectoire la plus économe est sans surprise la plus sobre du point de vue environnemental : elle permet de répondre au besoin documentaire de l'utilisateur en pesant le moins possible sur les infrastructures de stockage. Elle consiste en effet à fournir au demandeur une numérisation à basse résolution, sans en garder trace sur les espaces de stockage de l'établissement. Cette absence d'archivage de la donnée numérisée expose bien entendu au risque d'une re-numérisation, si le document est demandé par un autre chercheur. Toutefois, on se souvient peut-être que nous avons conclu, de la comparaison entre les coûts carbone respectifs de l'acte de numériser et du stockage des données, à l'impact modéré d'une éventuelle re-numérisation. Aussi, nous inclinons à conclure, avec Pendergrass, que :

Même si [le document] est demandé plusieurs fois, de multiples numérisations à basse résolution d'un même item ne sauraient approcher le coût en ressources d'un seul fichier d'archivage stocké dans un entrepôt d'archivage numérique avec des métadonnées complètes et des vérifications de qualité²⁰¹.

Rodolphe Leroy, de son côté, résume très bien la prise en compte de la « pertinence sociétale » des politiques de numérisation lorsqu'il témoigne explicitement d'une volonté de « restriction de la production de données pour

¹⁹⁷ <https://genovefa.bsg.univ-paris3.fr/s/d-or-et-de-pixels/page/welcome>.

¹⁹⁸ BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Programmes de numérisation des collections de la Bibliothèque nationale de France : perspectives 2017-2021*, 2017, p. 5.

¹⁹⁹ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 191-192.

²⁰⁰ SCHAFFNER Jennifer, SNYDER Francine et SUPPLE Shannon, *Scan and Deliver: Managing User-initiated Digitization in Special Collections and Archives*, Dublin : OCLC, 2011, p. 8.

²⁰¹ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 193

correspondre prioritairement au périmètre local »²⁰², qui englobe l'activité d'enseignement et de recherche des enseignants chercheurs de l'université, les projets possibles de médiation, les sollicitations d'acteurs locaux, etc. « L'usage numérique ne remplace pas la connaissance », note encore Rodolphe Leroy²⁰³, faisant ainsi écho à la distinction entre l'information et la connaissance, que Michael Gorman avait pris soin de rappeler, en décembre 2004, en réponse à l'ambition affichée par Google de constituer une bibliothèque numérique universelle de quinze millions d'ouvrages²⁰⁴. Une numérisation durable, responsable, serait donc avant tout celle qui ne vise pas à constituer le stock de données numériques le plus large, mais celle qui veille à inscrire les données ainsi produites dans un écosystème qui saura leur conférer une plus-value et, ce faisant – afin de réintégrer le propos dans une approche comptable de la gestion des ressources – amortir le coût, économique comme environnemental, de leur production.

2.2.4. Face au risque d'effet rebond, la nécessité de justifier le recours à des technologies nouvelles

Dans le contexte d'urgence environnemental qui est le nôtre, l'irruption d'une technologie nouvelle pose, de manière aiguë, la question de la justification de son emploi. « Rendre notre numérique soutenable réclame de questionner la manière dont nous rentabilisons et justifions nos choix technologiques »²⁰⁵. L'apparition de la numérisation d'objet permettra peut-être d'appliquer cette conclusion du *Shift Project* au champ de la numérisation patrimoniale.

La Bibliothèque nationale de France fait figure d'établissement pionnier en matière de numérisation d'objet. Dès 2014, grâce au mécénat de compétence de la société japonaise Dai Nippon Printing et au soutien de la Fondation d'entreprise Total, la BnF procède à la numérisation 3D de cinquante-cinq globes anciens. Plus récemment, dans le cadre du dispositif de médiation des collections mis en place dans la salle Ovale, à l'occasion de la réouverture au public du site Richelieu, elle a mené un projet de numérisation 3D de six costumes de scène issus des collections du département Arts du spectacle. Les différentes étapes de ce projet ont été précisément documentées dans un article détaillé, paru en 2023 dans la revue *Actualités de la conservation*²⁰⁶. S'y trouve décrite, à titre d'exemple, la chaîne de numérisation de l'un de ces costumes (celui, imaginé par Pierre-Noël Drain, du rôle d'Anaïs Beauperthuis dans *Un chapeau de paille d'Italie* d'Eugène Labiche), de l'instruction du dossier jusqu'à la diffusion des modèles. Celle-ci s'opère sur deux modes : d'une part, dans une version animée, destinée à un usage ludique en salle Ovale, sous la forme d'une borne numérique contenant « une application de réalité augmentée qui permet aux visiteurs de choisir parmi six costumes et de les vêtir virtuellement en interagissant avec les mouvements du

²⁰² Réponse de Rodolphe Leroy (Université de Bourgogne) au formulaire d'enquête.

²⁰³ Courriel de Rodolphe Leroy, daté du 15 janvier 2024.

²⁰⁴ GORMAN Michael, « Google and God's Mind », *Los Angeles Times*, 17 décembre 2004.

²⁰⁵ THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique et gouvernance de la 5G*, op. cit., p. 42.

²⁰⁶ FOURNIÉ Manon, GAGNIER Adeline, JEANNISSET William et PAPADOPOULOU Paraskevi, « Sous les feux de la rampe : Numérisation 3D des costumes de scène », *Actualités de la conservation*, n° 38, 2023, pp. 1-13.

corps » ; d'autre part, à des fins davantage scientifiques, dans une version de consultation accessible dans Gallica Intramuros.

La phase d'acquisition de données, qui combine prise de vues photographiques et scans réalisés par un numériseur à lumière structurée, a généré un grand nombre d'images : précisément 2 853 vues pour le costume d'Anaïs Beuperthuis, représentant un poids total de 163 Go. À l'issue de la phase de modélisation 3D assurée par le prestataire, ce dernier a livré à la BnF trois modèles différents. Le modèle 3D diffusé sur Gallica Intramuros pèse 68,9 Mo, tandis que le poids du modèle de conservation s'élève à 8,32 Go. La question de la conservation des projets 3D n'est pas encore tranchée à la BnF. Pour ce projet pilote de numérisation de costumes, la BnF a choisi, à titre d'expérimentation, de conserver tous les éléments produits : non seulement les livrables finaux, mais également l'ensemble des photographies nécessaires à la modélisation, c'est-à-dire environ 2 000 clichés pour chaque costume. Le poids de l'ensemble des données conservées pour ce projet de numérisation 3D de six costumes représente ainsi plus d'1 To.

Le stockage d'une telle quantité de données pour un seul costume n'est bien évidemment pas soutenable d'un point de vue environnemental. La BnF a donc engagé une réflexion sur la pérennisation de ces données, en prenant en considération l'impact environnemental. L'élaboration d'une telle stratégie est un bon exemple du type d'interrogations qu'il convient de mener dans le cadre d'une politique de gestion raisonnée de la ressource numérique :

Comme la numérisation 3D est le résultat de différentes phases de numérisation et de post-production, cette question de "qu'est-ce qu'on garde à la fin ?" prend une dimension nouvelle et différente de la numérisation "classique". Elle doit prendre comme critères : les contraintes technologiques actuelles d'affichage d'un modèle 3D, la pérennisation d'un modèle de haute définition qui servira comme "original 3D" et le coût, financier et écologique, pas seulement d'une pérennisation mais aussi d'une re-numérisation. Par exemple qu'est-ce qui "coûte" le plus cher, le stockage d'un modèle HD qui pourra servir plus tard ou la réalisation d'une campagne de numérisation pour avoir une meilleure résolution dans 5 ans ?²⁰⁷

Les spécificités de la numérisation 3D portent ces interrogations à un point critique. Au vu du coût énergétique et du niveau technologique des outils mobilisés pendant les phases de prise de vue et de traitement des images, la ré-numérisation serait ici particulièrement coûteuse d'un point de vue environnemental. Parallèlement, le stockage et la pérennisation du modèle haute définition paraît difficilement compatible avec une logique de sobriété, tandis que la fragilité des originaux, pièces uniques et exceptionnelles, ne supporteraient peut-être pas une nouvelle numérisation. Si ce jeu à trois bandes est périlleux, il apparaît nécessaire de justifier le recours à de nouvelles technologies de numérisation, en définissant précisément ce que l'on attend d'elles et y en adaptant la réponse technique adoptée. On ne pourra, ainsi, faire l'économie d'une réflexion de ce genre sur le recours, dans la gestion des collections de bibliothèques, à l'intelligence artificielle, dont le coût environnemental, même si son estimation se heurte à de

²⁰⁷ Courriel de Paraskevi Papadopoulou, Cheffe de projet numérisation 3D et objets exceptionnels, daté du 20 février 2024.

nombreuses difficultés²⁰⁸, s'annonce déjà colossal. La réflexion récemment engagée par la BnF au sujet de la numérisation 3D, technologie sur laquelle on dispose, pour l'heure, d'un recul encore insuffisant, illustre ainsi les défis qui se profilent à l'horizon de la numérisation patrimoniale.

²⁰⁸ COMITÉ NATIONAL PILOTE D'ÉTHIQUE DU NUMÉRIQUE, *Systèmes d'intelligence artificielle générative : enjeux d'éthique. Avis 7 du CNPEN*, 30 juin 2023, p. 18.

CONCLUSION

L'étude de l'impact environnemental des politiques de numérisation patrimoniale se trouve, à un moment ou à un autre, confrontée au même genre de dilemmes que ceux posés par tout autre processus de dématérialisation des activités humaines, à l'image du télétravail : la balance entre les coûts carbone qu'il génère et ceux qu'il contribue à éviter. En rendant accessibles des millions de documents depuis n'importe quel point (ou presque) de la Terre, il est évident que la numérisation épargne au chercheur des coûts de transport et d'hébergement, et à la planète l'empreinte carbone, potentiellement élevée, de ces déplacements. Pourtant, l'enjeu ne nous semble pas, au fond, résider dans la mise en balance des impacts respectifs de la numérisation et de la non-numérisation (par exemple : les GES émis par les chercheurs qui se rendent dans leur voiture personnelle à la salle de lecture *vs* les GES émis par les datacentres qui hébergent les données). Du fait de la difficulté de fonder les estimations sur des données fiables, de la logique d'effets-rebonds et du caractère extrêmement complexe et intriqué des chaînes de causalités, ce genre de calcul, comme on l'a vu, plus haut, est quasiment voué à l'échec.

Contournant l'écueil de la mise en balance, de la confrontation entre deux stratégies de gestion des « biens communs » (« le patrimoine *contre* l'environnement », pour le dire vite), il convient de trouver la solution la plus juste, c'est-à-dire la plus adaptée au contexte particulier d'un établissement. La nature de la responsabilité d'une politique de numérisation patrimoniale est fonction du contexte, de l'environnement informatique et institutionnel de l'établissement, de l'état de conservation des documents, de la nature du besoin identifié et de l'usage qui en sera fait : c'est en fonction de ces paramètres qu'il convient de moduler la qualité d'acquisition, les modalités de stockage, de pérennisation et de mise à disposition des données. On l'aura compris : de même qu'il n'existe pas un projet de numérisation similaire à un autre, il n'existe pas une seule solution de numérisation responsable.

Toutefois, au-delà de cette nécessité fondamentale d'adapter les choix aux besoins, se dégage un certain nombre de pratiques vertueuses. Nous avons ainsi identifié trois points critiques, qui peuvent grever le bilan environnemental de la numérisation patrimoniale. Le premier a trait aux équipements (numériseurs et appareils photos, sans parler du matériel bureautique nécessaire au traitement des données numérisées) ; impact que l'on peut tempérer en veillant à l'allongement de leur durée de vie, en réduisant l'ampleur du parc de numériseurs par le développement de stratégies de mutualisation avec d'autres institutions patrimoniales du territoire, en privilégiant les circuits d'économie circulaire et de don, en luttant contre l'obsolescence programmée des logiciels de production et de diffusion, par le choix du libre. Le second concerne les solutions d'hébergement et d'archivage des données ; le levier d'action ici est double. D'une part en réduisant le volume des données produites, au moment de l'enregistrement et du codage des données, par des choix sobres de résolution et de format ; d'autre part en veillant à modérer la consommation énergétique, à la fois par des gains d'efficacité énergétique (technologies d'optimisation des datacentres, serveurs mutualisés, etc.) et par un usage sobre de la ressource numérique (approche graduée de l'archivage pérenne, baisse de la fréquence des contrôles d'intégrité, « stockage froid » plutôt que « stockage chaud », etc.). Enfin, la conception des bibliothèques numériques

doit s'astreindre à respecter les principes d'écoconception, désormais bien formalisés.

De manière plus globale, la trajectoire esquissée par des plans de numérisation de masse, menés de manière cloisonnée par les établissements, en haute qualité, dans des formats lourds et dupliqués, ne semble pas soutenable. Heureusement, l'heure n'est plus tout à fait à ce genre de pratiques et, assurément, les logiques d'interopérabilité, de mutualisation de solutions d'hébergement et de plateformes techniques, de numérisation de corpus répondant à des besoins nettement formulés par les usagers desservis, ou encore d'intégration de parcours usagers dans la conception des portails Web, dont nous avons pu fournir ici quelques exemples, se généralisent progressivement, répondant à la nécessité d'une consommation plus sobre de la ressource numérique. On aura pu constater, au fil de cette étude, la vertu des logiques partenariales et de l'inclusion des usagers dans la définition et la mise en œuvre des stratégies de numérisation. Comme le soulignent Pendergrass et ses coauteurs, résumant bon nombre des pistes développées dans notre étude :

Les organisations opérant dans le champ du patrimoine culturel peuvent réduire l'impact environnemental de l'accessibilité et de la mise à disposition de contenus numériques en examinant de manière critique les justifications des numérisations de masse, en développant des stratégies d'accès à la demande, en ajustant les technologies de stockage et en assurant un délai convenable de mise à disposition – mais pas nécessairement une absence de délai²⁰⁹.

Dans la lignée de cet article pionnier, nous pouvons avancer que la prise en compte de l'impact environnemental dans la définition de politiques de numérisation patrimoniale invite à « déboulonner » trois « mythes » : l'accessibilité immédiate de la donnée numérisée ; la perfection de la conservation pérenne ; le numérique comme avenir et miroir de l'original physique.

Seul un « désenchantement » des attentes que l'on porte au recours au numérique (entreprise nécessaire au vu de la trajectoire insoutenable de la digitalisation de nos activités humaines) permettrait de justifier des politiques de « numérisation suffisante ». Promouvoir la « norme du suffisant », c'est s'engager dans une trajectoire qui entend réduire, en valeur absolue, l'énergie mobilisée, tout en maintenant les processus de conservation numérique nécessaires en proportion des objectifs poursuivis²¹⁰. Autrement dit : un modèle soutenable et durable, compatible avec la prise en compte des limites planétaires. En replaçant au cœur de la démarche la définition rigoureuse des objectifs poursuivis, les variables d'ajustement résumées plus haut sont amenées à être modulées : rappelons encore une fois que la responsabilité ne peut s'entendre que par rapport à un objectif fixé et à un public visé.

Le numérique est, depuis une vingtaine d'années, le contexte dans lequel se déploie une large partie des activités des bibliothèques ; cette situation engendre des externalités positives remarquables, qui répondent directement aux objectifs qui leur sont assignés collectivement. Il ne s'agit donc évidemment pas de

²⁰⁹ PENDERGRASS Keith L. et al., art. cit., p. 191-192.

²¹⁰ FAFET Charlotte, MILIOS Leonidas et PASCHALIDOU Evangelia, art. cit.,

renoncer à la numérisation des fonds patrimoniaux, mais de peser plus scrupuleusement leur nécessité, en adéquation avec les usages attendus et les besoins exprimés, en se méfiant du risque, bien connu, d'effet-rebond. Celui-ci, d'une certaine manière, est déjà perceptible dans l'usage actuel des ressources patrimoniales numérisées : il va de soi que tous les utilisateurs des bibliothèques numériques ne se seraient pas déplacés en salle de lecture pour consulter les documents qu'ils visionnent ou téléchargent depuis leur ordinateur personnel. On peut considérer qu'en numérisant leurs collections de presse ancienne, par exemple, les bibliothèques ont engendré un effet-rebond : elles ont ainsi considérablement accru le nombre de consultation de leurs journaux anciens. En l'occurrence, les externalités positives de la numérisation de la presse ancienne sont indiscutables, pour une large catégorie d'utilisateurs : chercheurs, généalogistes, étudiants, journalistes, simples curieux, etc. Cet usage, qui répond directement aux objectifs assignés collectivement aux établissements chargés de la conservation des documents patrimoniaux, correspond ainsi à l'idée d'un « numérique d'intérêt général » développée par Arnaud Levy²¹¹. Ne serait-ce pas là un nouveau mot d'ordre à même de mobiliser les bibliothèques ?

²¹¹ LEVY Arnaud, « Pour un numérique d'intérêt général », *Communication & Démocratie*, 4 juillet 2023, en ligne : <https://www.communication-democratie.org/fr/publications/2023-07-04-pour-un-numerique-dinteret-general/#le-numerique-doit-etre-fabrique-avec-soin>.

SOURCES

Entretiens réalisés avec :

- Maël Rannou (Inet), le 13 juin 2023
- Gilles Kagan (IRHT), le 3 juillet 2023
- Florent Palluault (BM Poitiers), le 25 juillet 2023
- Pierre-Emmanuel Guilleray (BM Besançon), le 7 septembre 2023
- Bertrand Caron (BnF), le 13 septembre 2023
- François-Xavier Boffy (Université Lyon-1), le 4 octobre 2023
- David Chesnet (MSHS Université de Poitiers), le 11 octobre 2023
- Elsa Courant-Bares (CNRS), le 24 octobre 2023
- Jean-Marie Feurtet (Abes), le 13 décembre 2023
- Lionel Dujol (Romans Valence Agglo), le 9 janvier 2024
- Adeline Batailler (BSU), le 15 janvier 2024
- Romain Wenz (Université de Bordeaux), le 16 janvier 2024
- Sarah Gauthé et Viviane Boulétreau (Persée), le 17 janvier 2024
- Pauline Rivière (BSG), le 19 janvier 2024
- Nathalie Pilet et Gauthier Raupp (Bulac), le 2 février 2024
- Hortense Longequeue (BmL), le 21 février 2024

Courriels échangés avec :

- Pierre-Marie Bartoli (INHA)
- Julien Baudry (Université Bordeaux-Montaigne)
- François-Xavier Boffy (Université Lyon-1)
- Bertrand Caron (BnF)
- David Chesnet (MSHS Université de Poitiers)
- Jean-Marie Feurtet (Abes)
- Emmanuel Fremau (Arkhênum)
- Pierre-Emmanuel Guilleray (BM Besançon)
- Mélanie Le Torrec (BmL)
- Rodolphe Leroy (Université de Bourgogne)
- Philippe Prat (Cines)
- Paraskevi Papadopoulou (BnF)

BIBLIOGRAPHIE

NUMÉRIQUE ET ENVIRONNEMENT

ÉTUDES ET RAPPORTS

ADEME, *Équipements électriques & électroniques. Données 2020, 2021*, 105 p.

ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, 17 p.

ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. État des lieux et pistes d'action. Rapport 1/3*, janvier 2022, 181 p.

ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Évaluation environnementale des équipements et infrastructures numériques en France. Rapport 2/3*, janvier 2022, 264 p.

ADEME et ARCEP, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Analyse prospective à 2030 et 2050. Rapport 3/3*, janvier 2022, 137 p.

ADEME et ARCEP, *Communiqué de presse : Christophe BÉCHU, Agnès PANNIER-RUNACHER et Jean-Noël BARROT reçoivent l'évaluation prospective de l'ADEME et l'ARCEP sur l'impact environnemental du numérique en 2030 et 2050*, 6 mars 2023.

ADEME, *Impact environnemental des usages du numérique en Grand Est. Rapport final*, septembre 2023, 154 p.

ARCEP, *Baromètre du numérique. Enquête sur la diffusion des technologies de l'information et de la communication dans la société française*, 2021, 349 p.

ARNOULD Florence, BARBIER Anthony et THORAVAL Gaëtan, *L'efficacité énergétique dans les data centers. Étude gisement du parc français*, Association technique énergie environnement, novembre 2016, 30 p.

COLLECTIF, *Proposition de Feuille de route de décarbonation de la filière numérique*, juillet 2023, 243 p.

DIGUET Cécile et LOPEZ Fanny (dir.), *L'impact spatial et énergétique des data centers sur les territoires*, Rapport Ademe, 2019, 140 p.

THE SHIFT PROJECT, *Impact environnemental du numérique : tendances à 5 ans et gouvernance de la 5G. Note d'analyse*, mars 2021, 47 p.

THE SHIFT PROJECT, *Décarbonons la culture !*, novembre 2021, 209 p.

THE SHIFT PROJECT, *Déployer la sobriété numérique. Résumé aux décideurs*, octobre 2020, 6 p.

ARTICLES, OUVRAGES ET COMMUNICATIONS

ALBERS Erik, « On the Sustainability of Free Software », Free Software Foundation Europe, disponible en ligne : [On the Sustainability of Free Software - FSFE](#) (consulté le 9 janvier 2024).

BORDAGE Frédéric, *Empreinte environnementale du numérique mondial*, septembre 2019. Disponible en ligne : https://www.greenit.fr/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-GREENIT-etude_EENM-rapport-accessible.VF_.pdf (consulté le 16 septembre 2023).

BORDAGE Frédéric et CHAUSSAT, Jean-Christophe (dir.), *Du Green IT au numérique responsable. Lexique des termes de référence*, Club GreenIT, mai 2018, 19 p.

CHAKRABORTY Shovra Chandra et al., « Metals in e-waste : Occurrence, fate, impacts and remediation technologies ». *Process Safety and Environmental Protection*, n° 162, 2022, p. 230-252. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.04.011>

CHATELIN Stéphane, « Qu'est-ce que la sobriété ? », *Fil d'argent*, n° 5, hiver 2016, p. 11-13.

CONSEIL SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT DES SCIENCES INFORMATIQUES ET LEURS INTERACTIONS (INS2I), *Rapport de prospective*, novembre 2023, 112 p.

COURBOULAY Vincent, *Vers un numérique responsable : repensons notre dépendance aux technologies digitales*, Arles : Actes Sud, coll. Domaine du possible, 2021, 214 p.

« Digitalisation et Dématérialisation Responsables : Bonnes pratiques et solutions numériques », webinaire organisé par Serda Conseil et Archimag, le 23 janvier 2024.

FEURTET Jean-Marie, « Écologie et numérique : de quoi parlons-nous ? », Blog de la Commission « Bibliothèques Vertes » de l'Association des bibliothécaires de France (ABF) : <https://bib.vert.es.abf.asso.fr/ecologie-et-numerique-de-quoi-parlons-nous/> (consulté le 10/01/2024).

FLIPO Fabrice, *L'impératif de la sobriété numérique. L'enjeu des modes de vie*, Paris : Éditions Matériologiques, coll. « Essais », 2020, 405 p.

FUZEAU Pierre, *Réduire votre impact environnemental grâce au référentiel 2022 sur la dématérialisation écoresponsable*, Serda Conseil, 2022, en ligne : go.serda.com/1/699653/2022-03-14/6cc1s9 (consulté le 15 janvier 2024).

GIBELLO Pierre-Yves, *Apports du logiciel libre à la durabilité des équipements (smartphones, ordinateurs, objets connectés, périphériques) : une synthèse*, 16 janvier 2023, 8 p., disponible en ligne : https://code.gouv.fr/docs/2023_01_RapportIndiceDurabilite.pdf.

GILLISSE Robert, GROEN Arie, VAN ZWOL Tamara et WIJSMAN Lotte, « The CO₂ Emissions of Storage and Use of Digital Objects and Data. Explore climate actions », iPres 2022 : The 18th International Conference on Digital Preservation, Glasgow, Scotland.

ID., *The CO₂ Emissions Of Storage And Use Of Digital Objects And Data. Case Study Platform Delpher* : <https://osf.io/8qjzh>.

LEVY Arnaud, « Pour un numérique d'intérêt général », *Communication & Démocratie*, 4 juillet 2023, en ligne : <https://www.communication->

democratie.org/fr/publications/2023-07-04-pour-un-numerique-dinteret-general/#le-numerique-doit-etre-fabrique-avec-soin.

NICOLET Aurèle, « Enjeux autour de l'impact environnemental des humanités numériques », *Journal of Information Sciences*, vol. 21, n° 2, 2022, p. 31-41. <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/jis-v21i2.36562>.

OPENDATAFRANCE, *Référentiel GreenData. Pour un impact environnemental maîtrisé*, septembre 2022.

ORGERIE Anne-Cécile, « Il est indispensable de quantifier l'impact du numérique », entretien, *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 15.

PASTOURET Jérémy, *Comment réduire l'impact de nos pratiques numériques : les clefs pour agir*, Saint-Herblain : Éditions ENI, 2023, 298 p.

PITRON Guillaume, « Quand le numérique détruit la planète », *Le Monde diplomatique*, octobre 2021, p. 18-19.

ROUSSILHE Gauthier, « Paradoxes et enjeux environnementaux de la numérisation [1/4] », 2021. Disponible en ligne : <https://gauthierroussilhe.com/articles/paradoxes-et-enjeux-environnementaux-de-la-numerisation> (consulté le 10 janvier 2024).

STIEGLER Bernard, « Numérique, éducation et cosmopolitisme », entretien avec Paul Audi et Cyril Bedel, *Cités*, 2015, n° 63, p. 13-36.

STRICOT Matthieu, « Penser des datacenters moins énergivores », *CNRS Le journal*, 14 septembre 2023. Disponible en ligne : <https://lejournald.cnrs.fr/articles/penser-des-datacenters-moins-energivores> (consulté le 4 février 2024).

ULLMANN Charlotte, VIDAL Philippe et BOURCIER Alban, « L'avènement d'une société de l'information durable », *Netcom*, 22-3/4, 2008, en ligne : <http://journals.openedition.org/netcom/1749>, (consulté le 22 février 2024). <https://doi.org/10.4000/netcom.1749>.

HISTOIRE, ENJEUX ET PRINCIPES DE LA NUMÉRISATION PATRIMONIALE

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Charte documentaire de la numérisation des collections de la Bibliothèque nationale de France*, octobre 2017, 29 p.

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Formats et techniques de numérisation en mode image* : <https://www.bnf.fr/fr/formats-et-techniques-de-numerisation-en-mode-image> (consulté le 12 juillet 2024).

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Formats de données pour la préservation à long terme : la politique de la BnF*, version 3 du 9 septembre 2021, 81 p.

BIBLIOTHÈQUE NATIONALE DE FRANCE, *Programmes de numérisation des collections de la Bibliothèque nationale de France : perspectives 2017-2021*, 2017, 21 p.

CHEVRY Emmanuelle, *Stratégies numériques, patrimoine écrit et iconographique*, Paris : Hermès, 2011, 267 p.

CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Numériser et mettre en ligne*, Villeurbanne : Presses de l'Enssib, 2010, 200 p.

CLAERR Thierry et WESTEEL Isabelle (dir.), *Manuel de constitution de bibliothèques numériques*, Paris : Éditions du Cercle de la librairie, 2013, 407 p.

CORDELLIER Agathe, *Numérisation à la demande : quelles incidences sur les politiques documentaires et de services ?*, Mémoire d'étude DCB, Villeurbanne : Enssib, 2019, 139 p.

DUFRENE Bernadette, IHADJADENE Madjid et BRUCKMANN Denis (dir.), *Numérisation du patrimoine. Quelles médiations ? Quels accès ? Quelles cultures ?*, Paris : Hermann, 2013, 311 p.

ESSEVAZ-ROULET Baptiste, *La numérisation d'archives. Des fondamentaux techniques aux programmes de numérisation*, Voiron : Territorial éditions, 2016, 126 p.

FERRACCI Elsa, *Archivage pérenne en bibliothèque universitaire : bilan et perspectives*, Mémoire d'étude DCB, Villeurbanne : Enssib, 2016, 124 p.

FOURNIE Manon, GAGNIER Adeline, JEANNISSET William et PAPADOPOULOU Paraskevi, « Sous les feux de la rampe : Numérisation 3D des costumes de scène », *Actualités de la conservation*, n° 38, 2023, pp. 1-13.

GORMAN Michael, « Google and God's Mind », *Los Angeles Times*, 17 décembre 2004.

INSPECTION GÉNÉRALE DES BIBLIOTHÈQUES, *Rapport annuel*, 2016, 72 p.

JEANNENEY Jean-Noël, *Quand Google défie l'Europe. Plaidoyer pour un sursaut*, Paris : Mille et une nuits, 2010, 219 p.

MAILLET Dominique, *La reproduction de sauvegarde des documents patrimoniaux. Partie 1. Numérisation et conservation*, Bibliothèque nationale de France, 11 p.

MINISTÈRE DE LA CULTURE, *Guide de gestion des documents patrimoniaux à l'attention des bibliothèques territoriales*, 30 juin 2020, 92 p.

PÉRÉSAN-ROUDIL Alice, *Dans la forêt touffue des bibliothèques numériques patrimoniales françaises : quels choix, quelles stratégies, quelles perspectives ?*, Mémoire d'étude DCB, Villeurbanne : Enssib, 2015, 108 p.

SCHAFFNER Jennifer, SNYDER Francine et SUPPLE Shannon, *Scan and Deliver: Managing User-initiated Digitization in Special Collections and Archives*, Dublin : OCLC, 2011, 18 p.

BIBLIOTHÈQUES, UNIVERSITÉS, INSTITUTIONS CULTURELLES ET ADMINISTRATIONS FACE AU NUMÉRIQUE RESPONSABLE

BOUTHERIN Bernard et al., *Bonnes pratiques pour l'infrastructure d'un Datacentre éco-responsable*, GIP Renater, 2014, disponible sur le site du GED ÉcoInfo : <https://ecoinfo.cnrs.fr/2017/06/07/bonnes-pratiques-pour-linfrastructure-dun-datacentre-eco-responsable/> (consulté le 13 janvier 2024).

BOFFY François-Xavier, « Le numérique écoresponsable au SCD Lyon 1 », *Arabesques*, avril-mai-juin 2023, p. 10.

BONNAUD Pierre-Marie, *La transition numérique des établissements culturels*, Voiron : Territorial Éditions, 2019, 95 p.

BÜRKI Reine (dir.), *Engager les bibliothèques dans la transition écologique*, Villeurbanne : Presses de l'Enssib, coll. La Boîte à outils, 2023, 208 p.

« Charte sur la conservation du patrimoine numérique », dans UNESCO, *actes de la Conférence générale, 32^{ème} Session, Paris, 29 septembre – 17 octobre 2003. Volume 1 : Résolutions*, p. 83-87.

BOCHARD Rémi, FOUCHER Aurélie, GUÉPRATTE Juliette, LANOOTE Sophie et VELLOZZO Philippe, *Culture et numérique. Pour une écologie de l'attention*, Cycle des hautes études de la culture, 2023, 56 p.

DIALLO Malik, « Les bibliothèques au service de l'inclusion numérique », *Bulletin des bibliothèques de France (BBF)*, 2020-2. Disponible en ligne : <https://bbf.enssib.fr/consulter/bbf-2020-00-0000-046> (consulté le 28 janvier 2024).

DIRECTION INTERMINISTÉRIELLE DU NUMÉRIQUE (DINUM), *Référentiel général d'écoconception de services numériques*, 2021 : [rgesn-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf \(numerique.gouv.fr\)](https://www.numerique.gouv.fr/ressources/rgsn-referentiel-general-ecoconception-v1.0.1.pdf), 93 p.

DIRECTION NATIONALE D'INTERVENTIONS DOMANIALES, *Mémento sur le cadre juridique et pratique du don par les personnes publiques*, août 2022, 37 p.

DUBOIS Olesea, MION-MOUTON Fanny et RIVIÈRE Pauline, « NumaHOP, une plateforme de gestion de contenus numérisés », *Arabesques*, n° 99, 2020, p. 10-11.

FAFET Charlotte, MILIOS Leonidas et PASCHALIDOU Evangelia, « A Strong Sustainability Framework for Digital Preservation of Cultural Heritage: Introducing the Eco-Sufficiency Perspective », *Heritage*, 2022/5, p. 1066-1088.

KAGAN Gilles, « Sobriété numérique : attention à la course aux pixels ! Numérique et numérisation : quels modèles pour un développement durable ? », communication présentée aux Journées BiblioPat 2022, disponible en ligne : <https://www.bibliopat.fr/journees-bibliopat-2022-le-patrimoine-a-lepreuve-du-changement-climatique>.

KRAJEWSKI Pascal, « La « bibliothèque verte », pour quoi faire ? : le rôle des bibliothèques dans la transition écologique », *Bulletin des bibliothèques de France (BBF)*, 30 mai 2023. En ligne : <https://bbf.enssib.fr/matieres-a-penser/la-bibliotheque-verte-pour-quoi-faire-71245>.

LARROUSSE Nicolas et MASSOL Marion, « La préservation à long terme des données de la recherche en Sciences Humaines et Sociales : un retour d'expérience », *JRES 2015*, Montpellier, 7 p., hal-02151185f.

MINISTÈRE DE LA CULTURE, *Guide d'orientation et d'inspiration pour la transition écologique de la culture*, décembre 2023, 64 p.

MISSION NUMÉRIQUE ÉCORESPONSABLE, *Guide Bonnes pratiques numérique responsable pour les organisations*, version 1, mai 2023, 113 p.

OCCITANIE LIVRE & LECTURE, *Cahier des charges - Site de valorisation du patrimoine écrit, graphique et sonore en Occitanie*, 18 octobre 2023, consultable en ligne : https://www.occitanielivre.fr/sites/default/files/2023-10/cahier%20des%20charges_valorisation%20patrimoine%20Occitanie_vdef.pdf.

ORY-LAVOLLÉE Bruno (dir.), *Entre potentiel de création et risque de dilapidation des ressources, un numérique culturel à inventer. Numérique*

culturel : tous responsables ?, octobre 2021, Centre des hautes études de la culture.

PASTORE Graziella, *Les coopérations entre chercheurs et bibliothécaires dans le cadre des projets de numérisation de corpus documentaires*. Mémoire d'étude de conservateur des bibliothèques. Villeurbanne : Enssib, 2018, 160 p.

PENDERGRASS Keith L., ALAGNA Laura, SAMPSON W. et WALSH Tim, « Toward Environmentally Sustainable Digital Preservation », *The American Archivist*, vol. 82, n° 1, 2019, p. 167.

ROBINEAU, Régis, « Comprendre IIF et l'interopérabilité des bibliothèques numériques », *Blog Insula*, 8 novembre 2016 : <https://insula.univ-lille.fr/2016/11/08/comprendre-iiif-interoperabilite-bibliotheques-numeriques/> (consulté le 29 août 2023).

TOUITOU Cécile (dir.), *La valeur sociétale des bibliothèques. Construire un plaidoyer pour les décideurs*, Paris : Éditions du Cercle de la Librairie, 2017, 214 p.

UNIVERSITÉ CLAUDE-BERNARD LYON-1 ET INSA, *Un data center au service des projets numériques de l'Enseignement supérieur et de la recherche. Dossier de presse*, avril 2023, 12 p.

UNIVERSITÉ DE PARIS-SACLAY, « Impacts environnementaux de la gestion et de l'ouverture des données », en ligne : <https://www.universite-paris-saclay.fr/impacts-environnementaux-de-la-gestion-et-de-louverture-des-donnees> (consulté le 5 février 2024).

ANNEXES

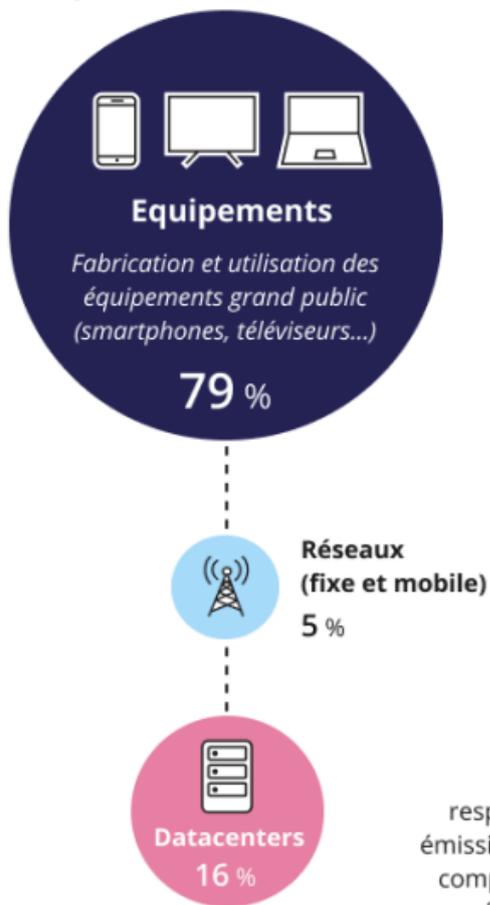
ANNEXE 1. RÉPARTITION DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE PAR BRIQUE DU SECTEUR NUMÉRIQUE ET PAR PHASE DU CYCLE DE VIE.....	84
ANNEXE 2. RÉPARTITION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMÉRIQUE PAR BRIQUE DU SECTEUR NUMÉRIQUE ET PAR PHASE DU CYCLE DE VIE.....	85
ANNEXE 3. FORMULAIRE D'ENQUÊTE	86
ANNEXE 4. CONVENTION DE MUTUALISATION D'UN NUMÉRISATEUR, CONCLUE ENTRE LA BIBLIOTHÈQUE MUNICIPALE DE DIJON ET LE PÔLE DOCUMENTATION DE L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE.	89
ANNEXE 5. ÉVOLUTION PARALLÈLE DES COÛTS DE NUMÉRISATION ET DE STOCKAGE DES DONNÉES DE LA BIBLIOTHÈQUE NUMÉRIQUE DE LA BIBLIOTHÈQUE MUNICIPALE DE BESANÇON.	91

ANNEXE 1. RÉPARTITION DE L'EMPREINTE CARBONE DU NUMÉRIQUE PAR BRIQUE DU SECTEUR NUMÉRIQUE ET PAR PHASE DU CYCLE DE VIE.

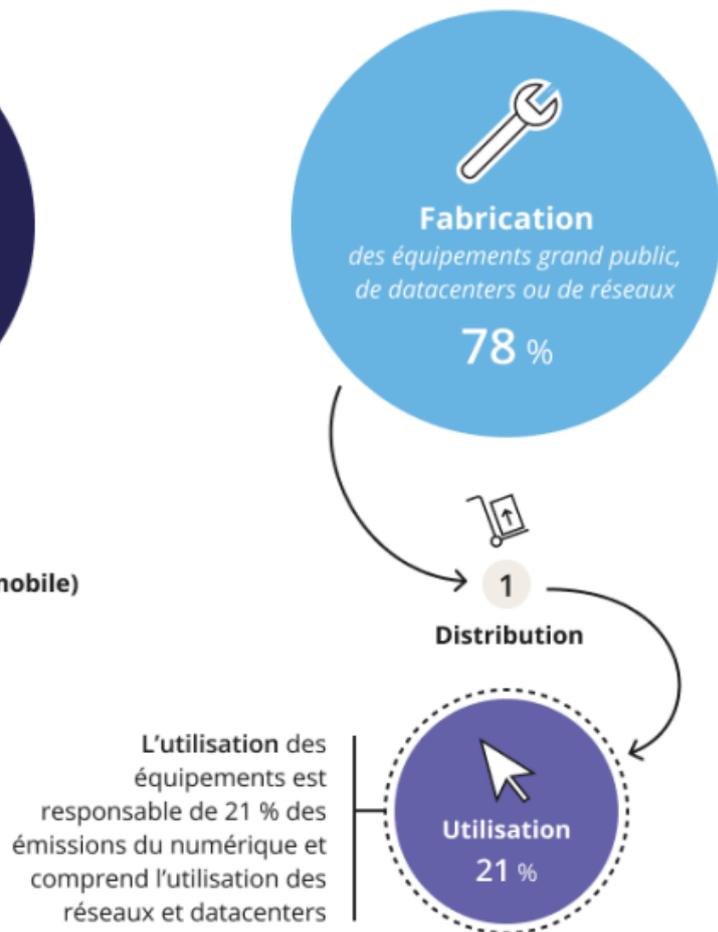
(source : Ademe et Arcep, *Évaluation de l'empreinte environnementale du numérique en France en 2020, 2030 et 2050*, dossier de presse, p. 3)

L'empreinte carbone du numérique dépend essentiellement des équipements et de leur fabrication

Répartition de l'empreinte carbone du numérique en 2020 par composantes du numérique (%)

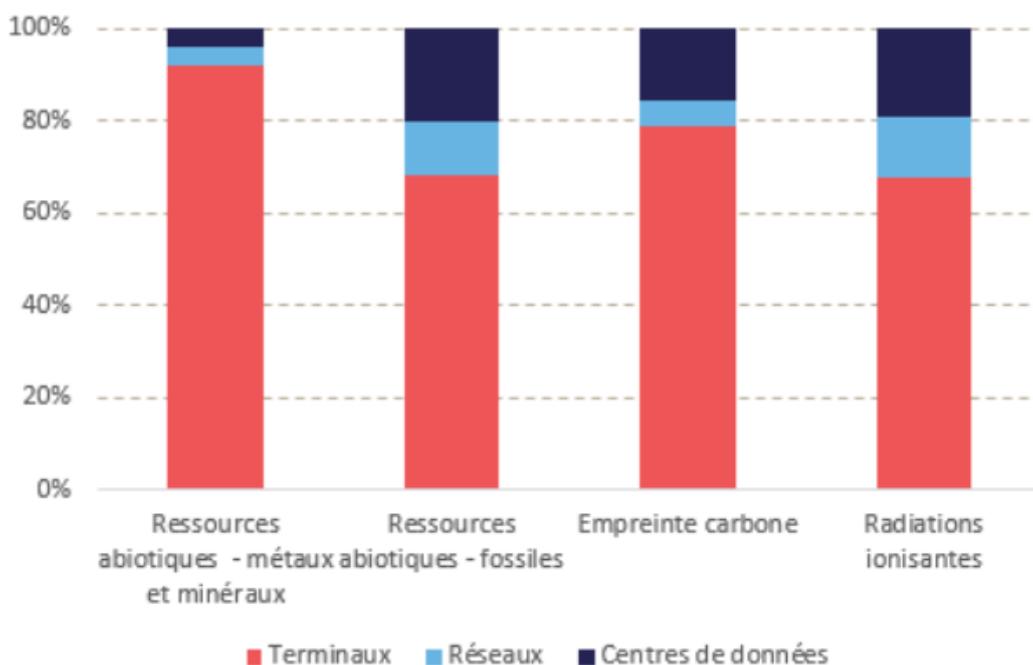
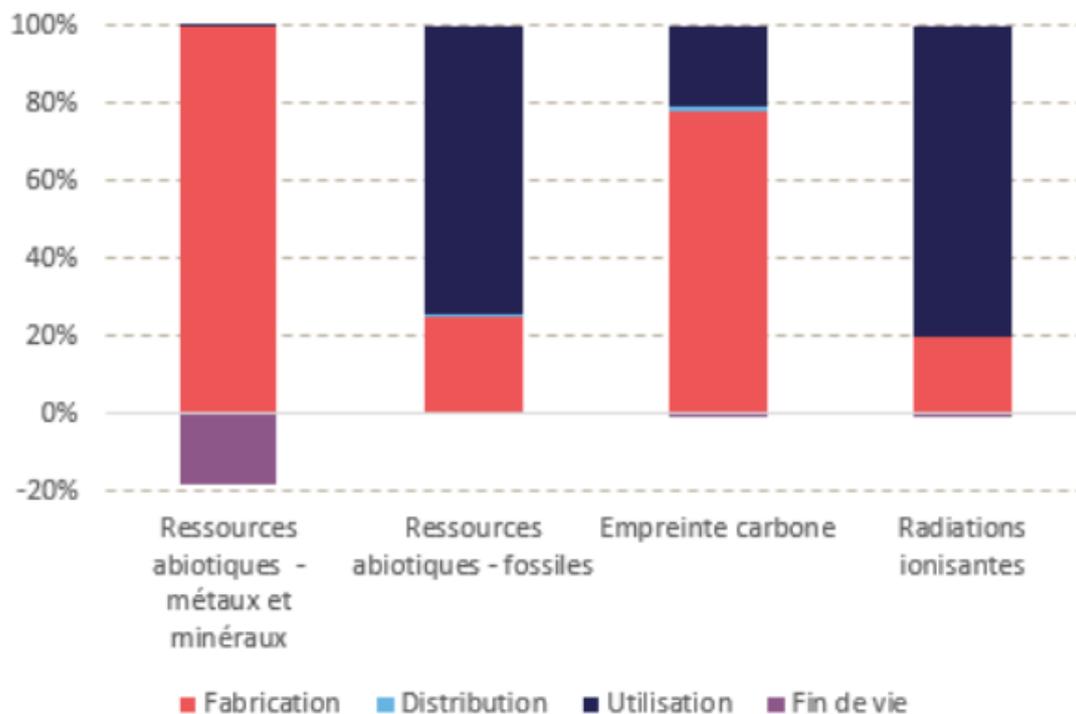


Répartition de l'empreinte carbone du numérique en 2020 par phase du cycle de vie (%)



ANNEXE 2. RÉPARTITION DES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DU NUMÉRIQUE PAR BRIQUE DU SECTEUR NUMÉRIQUE ET PAR PHASE DU CYCLE DE VIE.

(source : Arcep et Ademe, *Évaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective. Note de synthèse*, 19 janvier 2022, p. 8-9)



ANNEXE 3. FORMULAIRE D'ENQUÊTE

Quelles perspectives pour des politiques de numérisation patrimoniale durables ?

Questionnaire d'enquête à destination des professionnels

Élève conservateur des bibliothèques à l'Enssib, je rédige actuellement, sous la direction d'Anne-Sophie Traineau-Durozoy (conservatrice responsable du service des collections remarquables au SCD de l'Université de Poitiers) un mémoire portant sur l'impact environnemental des politiques de numérisation patrimoniale.

Afin de dresser un état des lieux des usages et des pratiques de numérisation, particulièrement sur les points les plus sensibles à la question de l'impact environnemental (cycle de vie du matériel, choix de formats, solutions d'hébergement et de stockage, solutions de services numériques), j'ai élaboré le questionnaire d'enquête suivant.

Je vous remercie de l'attention que vous porterez à cette démarche.



1. Matériel de numérisation

Si vos chantiers de numérisation sont accomplis en interne, pouvez-vous spécifier :

- le nombre et le type des appareils :
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.. scanner(s) petit format (A3-A2)
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. scanner(s) grand format (A1-A0)
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. scanner(s) en V
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. autre(s) scanner(s)
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte. appareil(s) photographiques
- l'âge de chacun des appareils :
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- la politique de votre établissement relative à la fin de vie de vos appareils (réemploi, recyclage, etc.) ?
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

2. Solutions de numérisation

- Pour les fichiers d'archivage des documents issus des campagnes de numérisation, quels choix avez-vous opérés relativement :
 - à la profondeur d'acquisition (noir et blanc, niveaux de gris, couleur) ?
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
 - à la résolution (en dpi) ?
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
 - au format (TIFF, JPEG, JPEG2000, etc.) ?
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- Pour les fichiers de diffusion des documents issus des campagnes de numérisation, quels choix avez-vous opérés relativement :
 - à la profondeur d'acquisition (noir et blanc, niveaux de gris, couleur) ?
 - Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

- à la résolution (en dpi) ?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- au format (JPEG, JPEG2000, PNG, etc.) ?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

3. Solutions d'hébergement et de stockage

- Quelle solution d'hébergement avez-vous retenue ?
 - Hébergement dans un *cloud*
 - Hébergement dans des serveurs mutualisés, à l'échelle de la collectivité ou de l'organisme de tutelle
 - Hébergement en interne sur les serveurs de l'établissement
 - Autre : préciser : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

- Quel est l'espace de stockage occupé par l'ensemble des fichiers issus des campagnes de numérisation ?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

- Quelle est la part de cet espace de stockage occupée par les fichiers
 - destinés à l'archivage ? : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
 - destinés à la diffusion ? : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

- Avez-vous mis en œuvre une politique de réduction de l'espace de stockage (ou engagé une réflexion à ce sujet) ?
 - Oui
 - Non

- Avez-vous mis en place une solution de conservation pérenne (procédure permettant d'assurer la traçabilité, l'intégrité, la sécurité, la pérennité des données à long terme - par exemple : système SPAR développé par la BnF, Plate-forme d'Archivage du Cines, logiciels de préservation numérique, livres ou propriétaires, etc.) des fichiers issus des campagnes de numérisation ?
 - Oui : laquelle ? : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
 - Non

Si non, avez-vous développé en interne des solutions de stockage sécurisé (redondance des copies, multiplication des supports de conservation, etc.) ?

 - Oui : lesquelles ? : Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
 - Non

4. Bibliothèque numérique et services numériques

- Connaissez-vous le référentiel général d'écoconception des services numériques (RGESN) ?
 - Oui
 - Non

- Avez-vous intégré l'impératif de réduction de la consommation de ressources informatiques et énergétiques dans la conception de votre bibliothèque numérique ?
 - Oui
 - Non
- Si oui, quel impact sur la nature des services numériques proposés (sites web *low-tech*, contenus peu gourmands, code léger, mise à disposition asynchrone des collections numérisées, etc.) ?
Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.
- Avez-vous adopté une solution logicielle libre pour votre bibliothèque numérique ?
 - Oui
 - Non
- Avez-vous implémenté les technologies IIF dans votre bibliothèque numérique ?
 - Oui
 - Non

5. Suggestions, remarques libres et prise de contact

Avez-vous mené, de votre côté, une réflexion sur un usage écoresponsable du numérique, et plus spécifiquement sur la possibilité d'une numérisation durable ? Cette notion de numérisation durable appelle-t-elle, de votre part, des réflexions, des réactions, des suggestions ? Si oui, n'hésitez pas à en faire part ici :

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Si vous avez déjà engagé des réflexions ou des actions sur différents points abordés au cours du questionnaire, de la prise de vue à la mise en ligne et à l'archivage, pouvez-vous préciser à qui en revient l'initiative (décision de la tutelle, choix collectif porté par l'équipe, etc.) ?

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

Si vous acceptez d'être recontacté pour un entretien plus approfondi, vous êtes invité à laisser vos coordonnées ci-dessous :

Cliquez ou appuyez ici pour entrer du texte.

En vous remerciant pour votre participation,

Thomas Creusot
(thomas.creusot@enssib.fr)

ANNEXE 4. CONVENTION DE MUTUALISATION D'UN NUMÉRISSEUR, CONCLUE ENTRE LA BIBLIOTHÈQUE MUNICIPALE DE DIJON ET LE PÔLE DOCUMENTATION DE L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE.

CONVENTION D'UTILISATION D'UN SCANNER DE NUMÉRISATION ENTRE LA BIBLIOTHÈQUE MUNICIPALE DE LA VILLE DE DIJON ET LE
PÔLE DOCUMENTATION DE L'UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE.

N° : 10 755
Serv. Initiateur : Pôle Documentation
Serv. Instructeur : PASI
CA du : 28/09/2021

Il est convenu,

ENTRE

La Ville de Dijon

Sise place de la Libération CS73310 - 21033 Dijon Cedex
Représentée par l'Adjointe déléguée à la culture, à l'animation et aux festivals en exercice agissant en vertu de l'arrêté municipal du 24 juillet 2020 donnant délégation de fonctions et de quartiers aux adjoints, pris en application de la délibération du conseil municipal du 10 juillet 2020 mise à jour le 14 septembre 2020 donnant délégation de pouvoirs au Maire à l'effet d'accomplir certains actes de gestion énumérés à l'article L. 2122-22 du Code Général des collectivités territoriales en vue d'en accélérer l'exécution, pour le compte de la Bibliothèque Municipale,

ET,

L'Université de Bourgogne,

Etablissement public à caractère scientifique, culturel et professionnel, sise Maison de l'université, Esplanade Erasme, BP 27 877, 21 078 Dijon Cedex,

Représentée par son Président, Monsieur Vincent THOMAS

Ci-après conjointement désignées « les Parties ».

Objet : modalités d'utilisation d'un scanner de numérisation entre la bibliothèque municipale de la Ville de Dijon et le Pôle documentation de l'Université de Bourgogne.

Préambule

La Ville de Dijon, via La bibliothèque patrimoniale et d'étude (BPE), site du réseau des bibliothèques municipales, 3 rue de l'école de droit 21000 Dijon, met à disposition de ses usagers, en salle de lecture, à titre gratuit, un scanner de numérisation dédié aux collections patrimoniales.

L'Université de Bourgogne, via son Pôle documentation, 3 esplanade Erasme 21000 Dijon, met à disposition de ses usagers, dont les professionnels de la documentation, une documentation scientifique et spécialisée, notamment numérique. Elle conserve, traite et souhaite valoriser numériquement des collections patrimoniales remarquables.

Devant l'intérêt réciproque d'échanger des services et de mutualiser les moyens, il est conventionné que :

Article 1 : mise à disposition du scanner

Le Pôle documentation de l'Université de Bourgogne, 3 esplanade Erasme 21000 Dijon, est autorisé, comme institution, à utiliser ce scanner de numérisation pour ses propres collections patrimoniales, aux conditions suivantes :

- Sur rendez-vous, de préférence en dehors des heures d'ouverture au public, notamment le lundi entre 9h et 12h et 14h et 17h et du mardi au samedi de 9h à 11h.

- Les documents appartenant Pôle documentation de l'Université de Bourgogne devront être assurés par ses soins lorsqu'ils séjournent dans les murs de la BPE de Dijon, soit lors de la séance de numérisation, soit stockés en prévision de la séance de numérisation.
- Il appartient au personnel du Pôle documentation de l'Université de Bourgogne de réaliser la numérisation de ses documents.

Article 2 : contreparties

Les contreparties de ce service sont les suivantes :

- Des agents de la BPE désignés par leur direction (liste fournie ultérieurement de 6 agents environ) seront inscrits gratuitement comme lecteurs extérieurs du Pôle documentation de l'Université de Bourgogne.
- A ce titre, ils auront accès aux ressources numériques scientifiques : bases de données, bouquet de revues, articles en ligne, exclusivement sur place dans les bibliothèques universitaires du Pôle documentation.
- Une formation leur sera proposée, sur place, sur les bases les plus susceptibles de leur être utiles, pour les recherches qu'ils mènent dans le cadre professionnel.

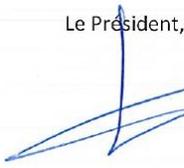
Article 3 : durée et fin de convention

La présente convention est valable un an, renouvelable trois fois par tacite reconduction. Elle prendra fin lorsque l'une des parties en informera l'autre sans obligation de justification par simple courrier postal avec accusé de réception.

Fait à Dijon, le 09/09/2021
En deux exemplaires originaux.

Pour l'Université de Bourgogne,

Le Président,



Vincent THOMAS

Pour la Ville de Dijon,

Adjointe déléguée à la culture, à l'animation
et aux festivals,



Christine MARTIN

ANNEXE 5. ÉVOLUTION PARALLÈLE DES COÛTS DE NUMÉRISATION ET DE STOCKAGE DES DONNÉES DE LA BIBLIOTHÈQUE NUMÉRIQUE DE LA BIBLIOTHÈQUE MUNICIPALE DE BESANÇON.

(source : document communiqué par Pierre-Emmanuel Guilleray, par courriel du 7 septembre 2023).

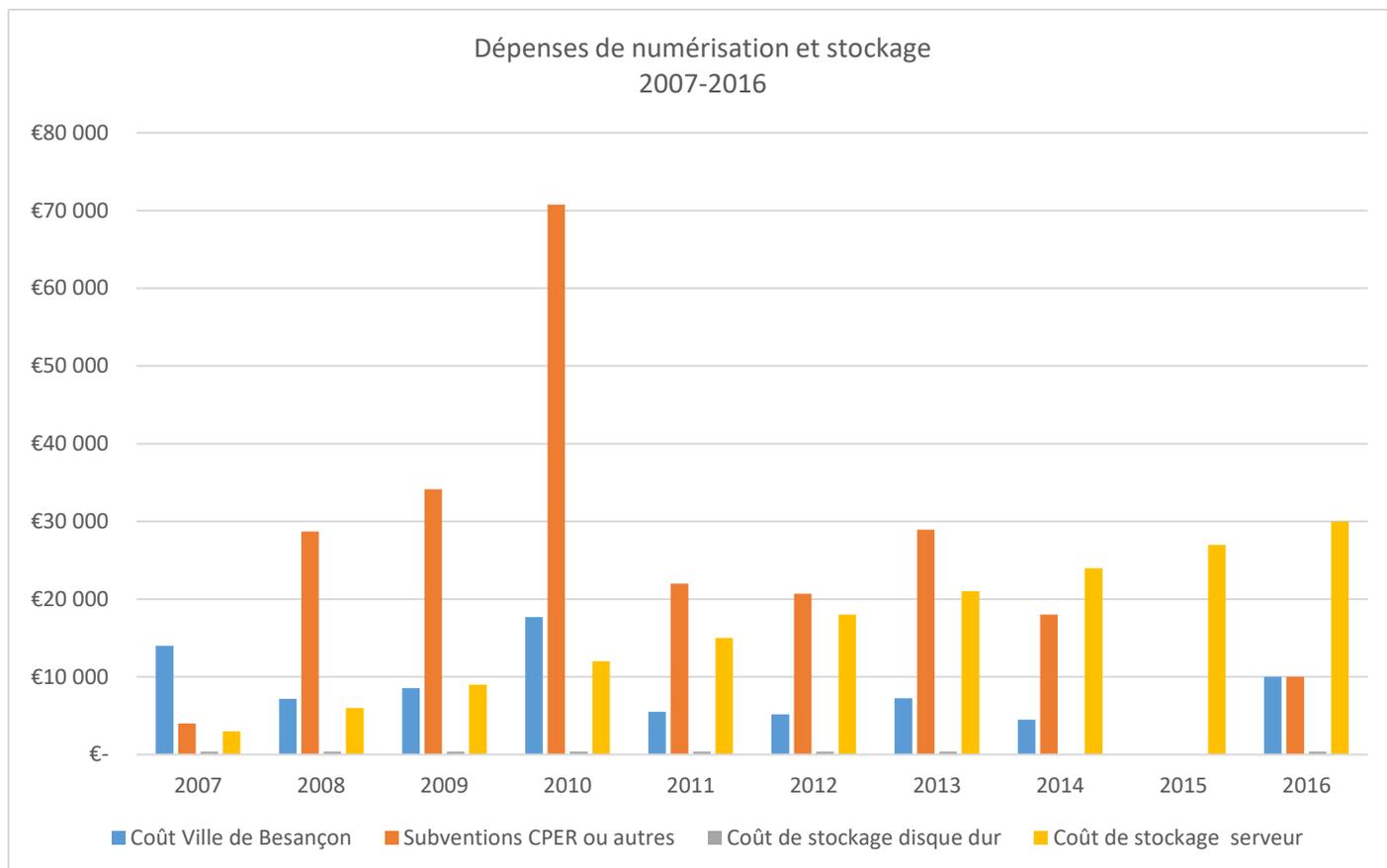


TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1. Typologie des impacts environnementaux d'un service numérique (ici, un système GPS)	11
Figure 2. Répartition des répondants au formulaire d'enquête.....	26
Figure 3. Modèle hiérarchique des stratégies de conservation numérique des biens patrimoniaux, d'après FAFET, MILIOS et PASCHALIDOU	29
Figure 4. Poids d'une image numérique brute en fonction des choix croisés de résolution et de profondeur d'acquisition.....	30
Figure 5. Variation du poids des fichiers produits par la plate-forme de numérisation de la MSHS de Poitiers, suivant les choix de résolution et de format.	34
Figure 6. Typologie des datacentres d'après leur taille et leurs usages. On notera que les collectivités locales ou les universités recourent le plus souvent aux services de datacentres « moyens »	40
Figure 7. Puissance nominale des numériseurs de la plateforme de numérisation de la MSHS de l'Université de Poitiers (fin 2023)	50
Figure 8. Gains financiers représentés par l'adoption de NumaHOP pour la gestion de la chaîne de numérisation de la Bibliothèque Sainte-Geneviève	56

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	6
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	7
INTRODUCTION.....	9
L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DU NUMÉRIQUE : UN ENJEU NOUVEAU POUR LES BIBLIOTHÈQUES	12
1. Une problématique émergente... ..	12
<i>1.1. Un sujet mal identifié ?.....</i>	<i>12</i>
1.1.1. Réalité physique de l'univers numérique.....	12
1.1.2. Deux transitions incompatibles ?	13
1.1.3. Un obstacle : le manque d'indicateurs.....	15
<i>1.2. Un constat partagé</i>	<i>16</i>
1.2.1. Une trajectoire insoutenable	16
1.2.2. Un cadre législatif et réglementaire récent mais fourni	18
1.2.3. De la reconnaissance de la responsabilité à l'impératif de la durabilité	19
2. ... dont les bibliothèques s'emparent timidement.....	20
<i>2.1. Bibliothèques et numérique (éco)responsable</i>	<i>20</i>
2.1.1. Les bibliothèques : « clés de voûte de la sobriété numérique » ?	20
2.1.2. Des stratégies numériques écoresponsables en cours d'élaboration	22
<i>2.2. Numérisation du patrimoine et impératif environnemental : un impensé ?.....</i>	<i>23</i>
2.2.1. L'espace numérique, un terrain d'action privilégié des bibliothèques patrimoniales.....	23
2.2.2. Vers un changement de paradigme ?	25
ENJEUX ET IMPACTS DU CYCLE DE VIE DE LA DONNÉE NUMÉRIQUE	27
Quelques éléments d'introduction	27
1. Produire la donnée numérique : l'impact des choix de résolution et de format.....	29
<i>1.1. Le poids d'une image : profondeur d'acquisition, résolution, définition</i>	<i>29</i>
<i>1.2. Le poids d'un fichier : questions de format et de compression ...</i>	<i>32</i>
1.2.1. Éléments de définition.....	32
1.2.2. Quels formats pour l'archivage et la diffusion ?	33
1.2.3. Un même format pour l'archivage et la diffusion ?.....	35

2. Stocker et pérenniser la donnée numérique.....	37
2.1. <i>L'impact des choix d'hébergement.....</i>	37
2.1.1. Sauvegarde et archivage pérenne	37
2.1.2. Des datacentres en quête d'efficacité énergétique.....	39
2.1.3. Des logiques vertueuses de mutualisation de serveurs	41
2.2. <i>Pérenniser la donnée numérique.....</i>	43
2.2.1. L'archivage pérenne : comment articuler durabilité des données produites et durabilité environnementale de leur conservation ? .	43
2.2.2. Repenser les modalités d'archivage et de mise à disposition des données numériques.....	45
Quelques éléments de bilan	47
VERS UN MODÈLE DE NUMÉRISATION DURABLE	49
1. Durabiliser la chaîne de numérisation	49
1.1. <i>L'impact des numériseurs.....</i>	49
1.1.1. L'impact environnemental de la fabrication et de l'utilisation des numériseurs	49
1.1.2. Des logiques vertueuses de mutualisation de numériseurs ...	51
1.1.3. Don, réemploi et recyclage	52
1.2. <i>Effizienz et durabilité : l'exemple de NumaHOP</i>	54
1.2.1. Vers une efficacité accrue de la chaîne de numérisation	54
1.2.2. Vers une pérennisation des pratiques professionnelles	55
2. Interroger la responsabilité globale des politiques de numérisation	57
2.1. <i>S'inscrire dans un écosystème digital responsable</i>	57
2.1.1. Logiciels libres vs solutions propriétaires	57
2.1.2. L'enjeu du signalement efficace des données	58
2.1.3. L'enjeu de l'interopérabilité des données : l'exemple de la bibliothèque numérique « Genovefa »	60
2.1.4. Des bibliothèques numériques écoconçues	62
2.2. <i>Numérisation patrimoniale et sobriété numérique</i>	64
2.2.1. Sobriété et « norme du suffisant »	64
2.2.2. Sobriété et « pertinence sociétale » (1) : faire avec les usagers	66
2.2.3. Sobriété et « pertinence sociétale » (2) : faire pour les usagers	68
2.2.4. Face au risque d'effet rebond, la nécessité de justifier le recours à des technologies nouvelles	70
CONCLUSION	73
SOURCES.....	76
BIBLIOGRAPHIE.....	77

ANNEXES.....	83
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	92
TABLE DES MATIÈRES.....	93