



Le stockage de données sur bandes – FUJIFILM

Conférence sur le stockage de masse en France - Juin 2026

Elisabeth Gameiro

Fujifilm en quelques chiffres

À l'origine **pionnier dans le domaine de la photographie**, Fujifilm est devenu un leader mondial réputé pour ses innovations dans les secteurs de la santé, des arts graphiques, des dispositifs optiques, des matériaux fonctionnels de pointe, etc...

19.8 milliards d'€

Chiffre d'affaires global*

€900 millions

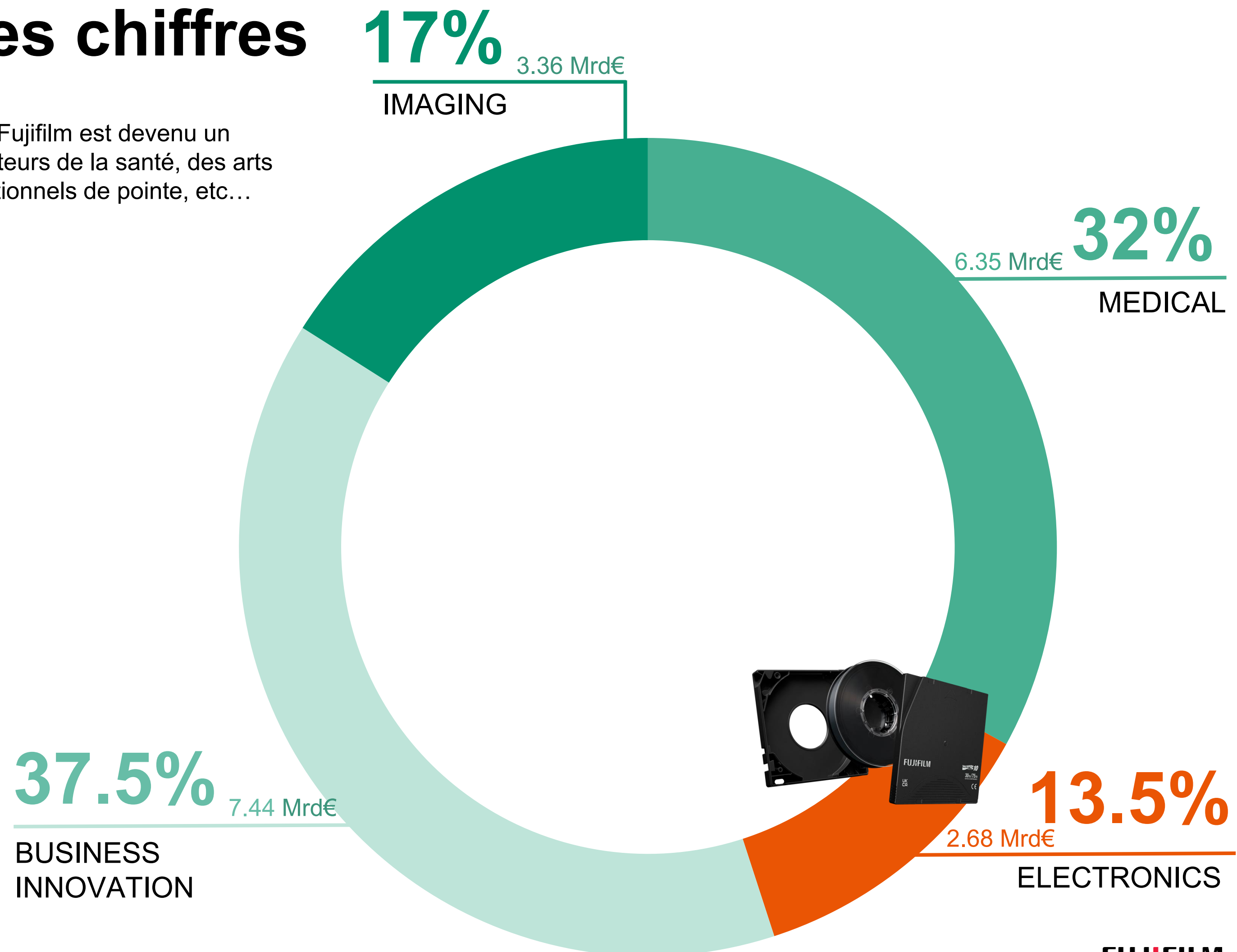
Dépense en R&D

25ème

Dans le classement mondial de détenteurs de Brevets

*Année fiscale avril 2024 – mars 2025

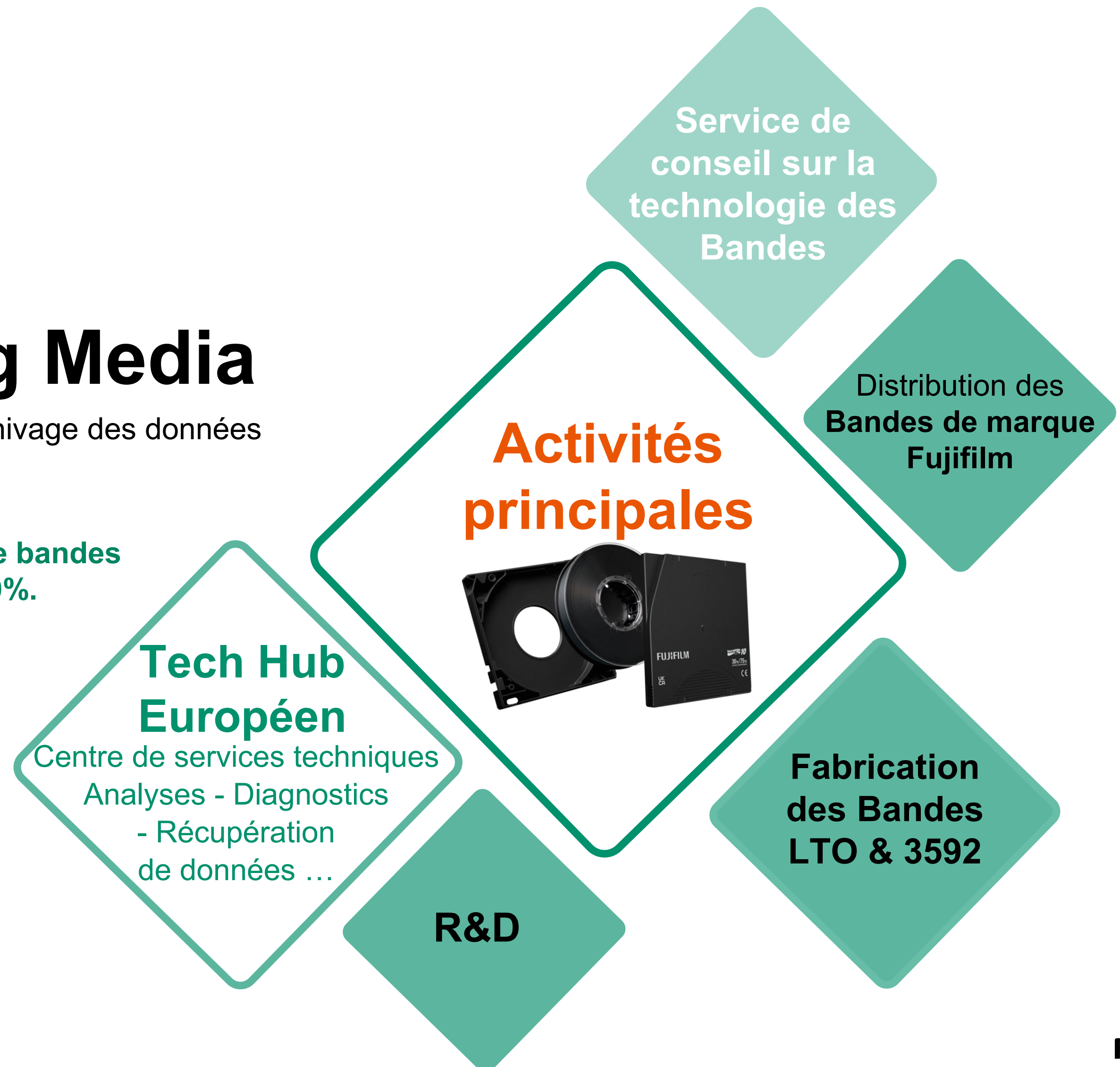
Année fiscal 2024. Converti de JPY en EUR en Mai 2025.



Fujifilm Recording Media

Faire progresser la recherche et sécuriser l'archivage des données

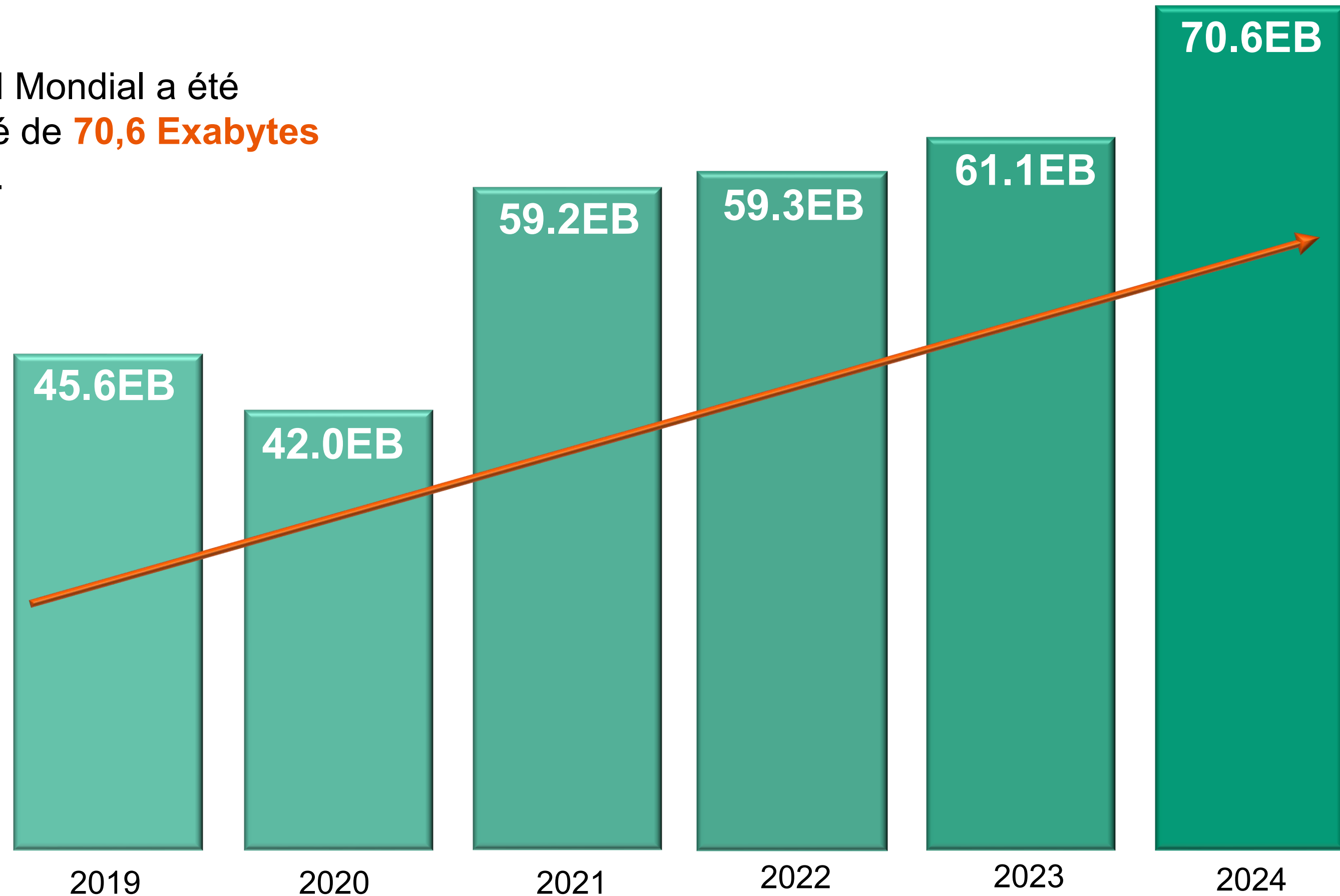
FUJIFILM est le premier fabricant Mondial de bandes avec une part de marché de plus de 60%.



Une demande de bandes en croissance*

En 2024, un nouveau record Mondial a été enregistré avec une capacité de **70,6 Exabytes** natifs livrés sur bandes LTO.

Croissance annuelle moyenne : + 9,11%
Accélération en 2024 : + 15%

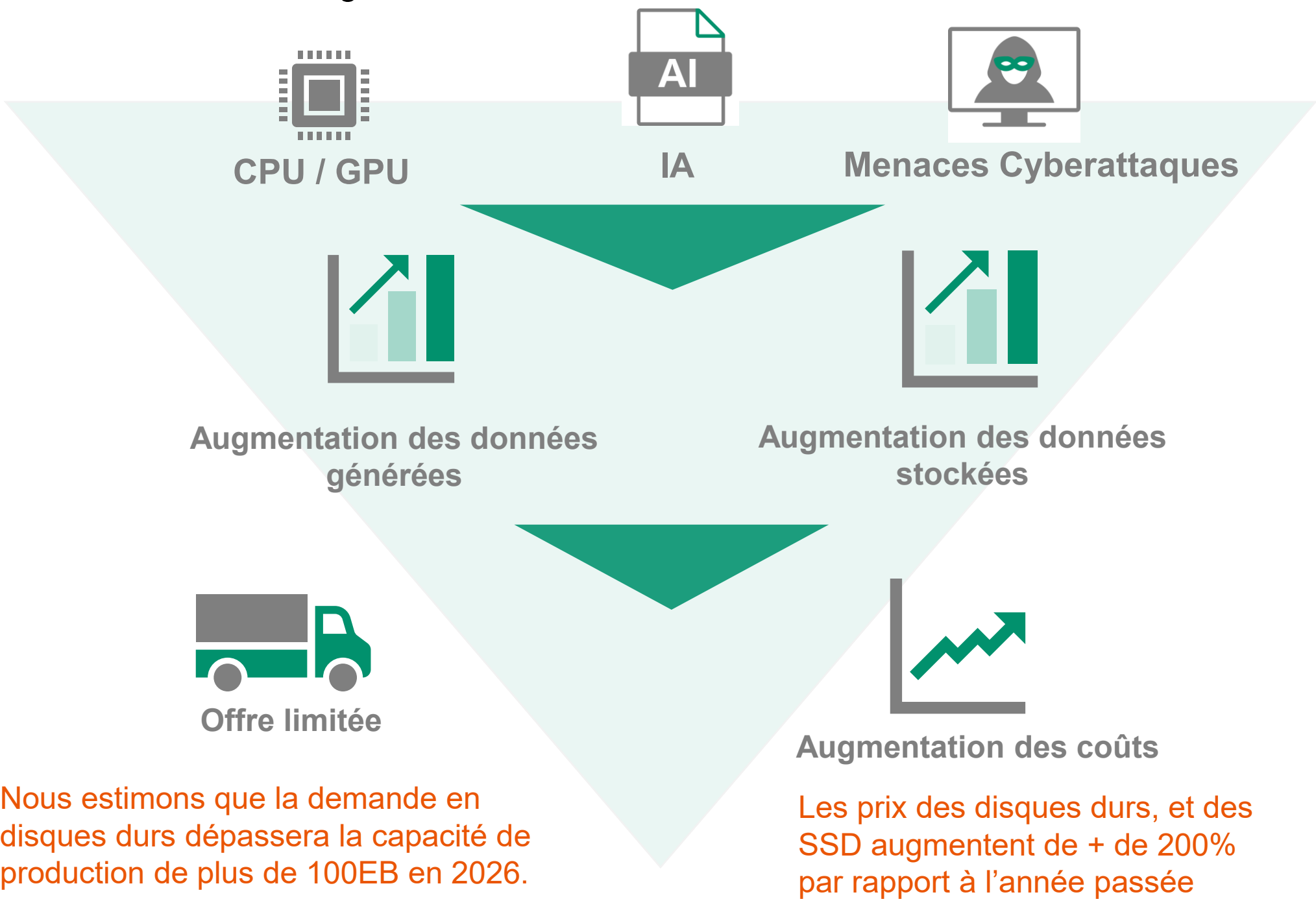


*Capacité native livrée sur bandes LTO, convertie avec un taux de compression de x2.5
Source: <https://www.lto.org/2025/07/lto-tape-technology-shipments-scale-to-new-heights/>

La tendance actuelle du marché du stockage des données

L'explosion des volumes de données ➡ un intérêt croissant pour la Bande

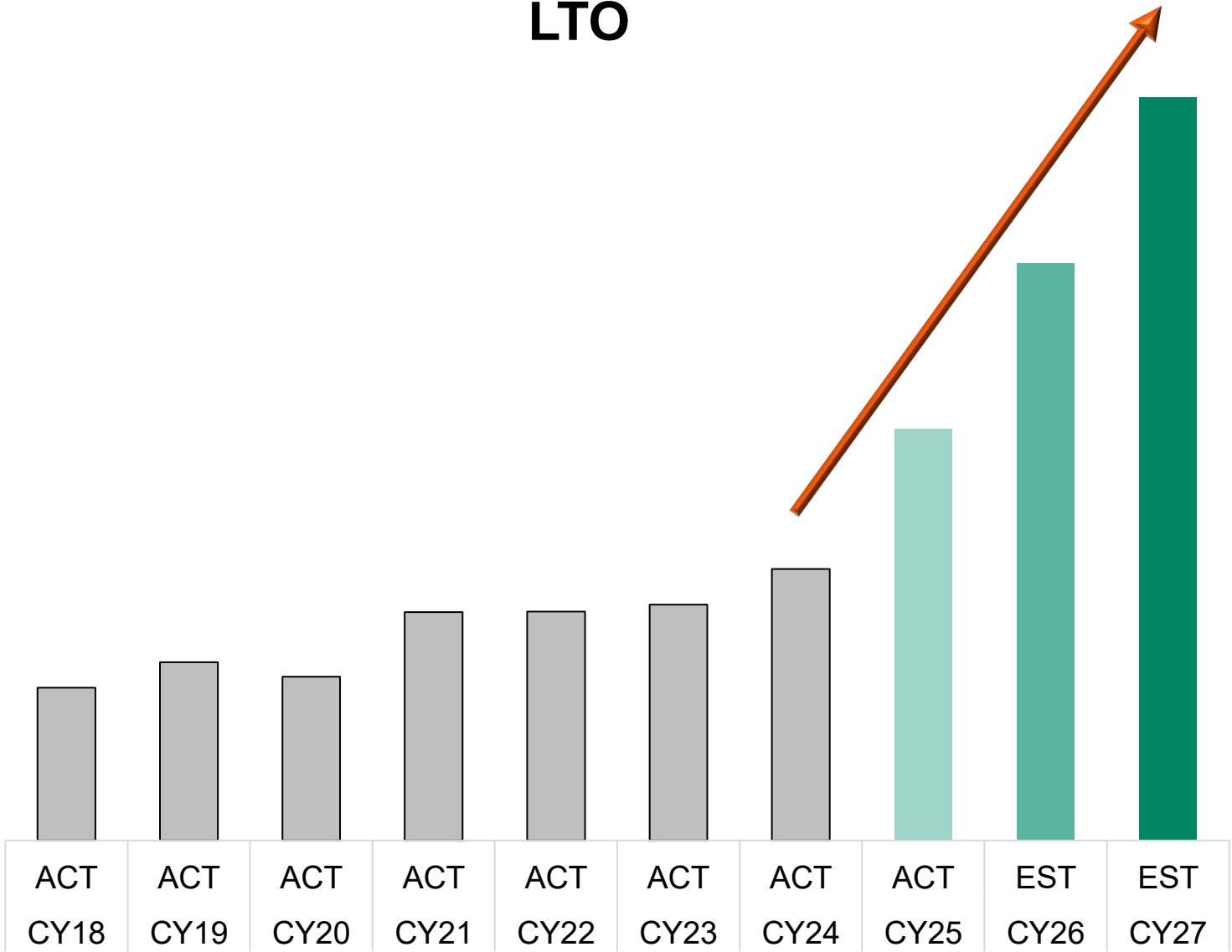
- La situation concernant la demande en processeurs (CPU), en DRAM et GPU, l'essor de l'IA et la menace de cyberattaques, contribuent à l'augmentation du volume des données générées et stockées.
- Les coûts de stockage augmentent proportionnellement au volume de données.
- De plus en raison de la forte demande de supports de stockage, les prix des disques durs et des SSD ont fortement augmenté.



La demande en LTO augmente (en capacité)

- La demande en bandes LTO augmente de manière sensible. En renforçant nos capacités de production, nous nous efforçons de livrer nos produits dans les meilleurs délais.

Croissance de la demande en bandes LTO

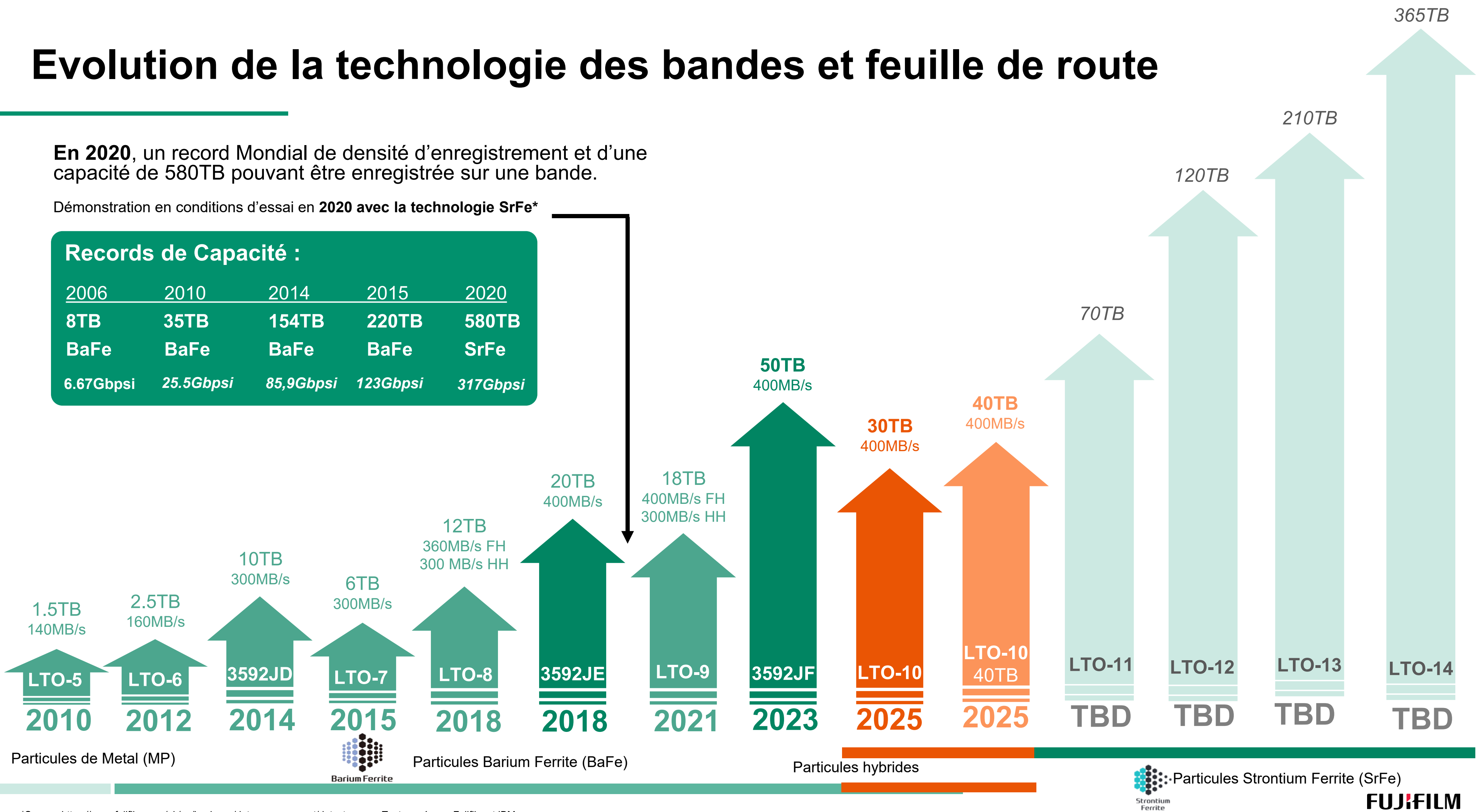


Evolution de la technologie des bandes et feuille de route

En 2020, un record Mondial de densité d'enregistrement et d'une capacité de 580TB pouvant être enregistrée sur une bande.

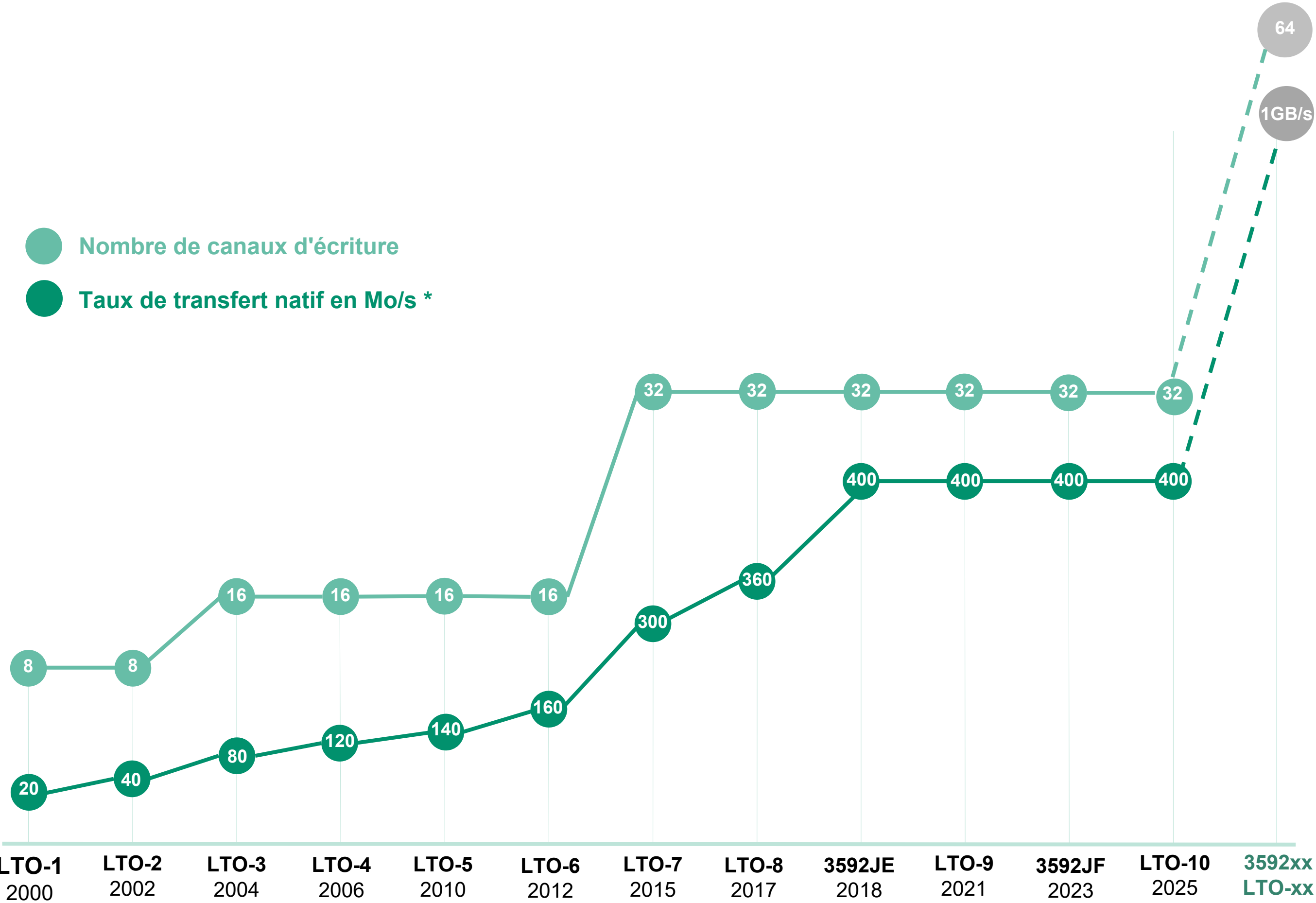
Démonstration en conditions d'essai en 2020 avec la technologie SrFe*

Records de Capacité :				
2006	2010	2014	2015	2020
8TB	35TB	154TB	220TB	580TB
BaFe	BaFe	BaFe	BaFe	SrFe
6.67Gbps	25.5Gbps	85,9Gbps	123Gbps	317Gbps



*Source: <https://www.fujifilm.com/uk/en/business/data-management/datastorage> - Test menés par Fujifilm et IBM

Évolution des taux de transfert en fonction du nombre de canaux d'écriture



Vitesse maximale permise avec une tête à 32 canaux = 450 Mo/s.

Pour atteindre une **vitesse de transfert de allant jusqu'à 1GB/s**, il sera nécessaire de passer à **64 canaux**.

Jusqu'à présent, la demande a donné la priorité à la **capacité de stockage** plutôt qu'à la **vitesse d'écriture**.

* Pour les lecteurs de pleine hauteur depuis le LTO-8

La Vitesse d'écriture sur bandes

Quels sont les paramètres qui influencent la vitesse d'écriture sur les bandes, lorsque les données sont transférées vers le lecteur (*)

1- Vitesse de transfert native du lecteur
en fonction du nombre de canaux d'écriture

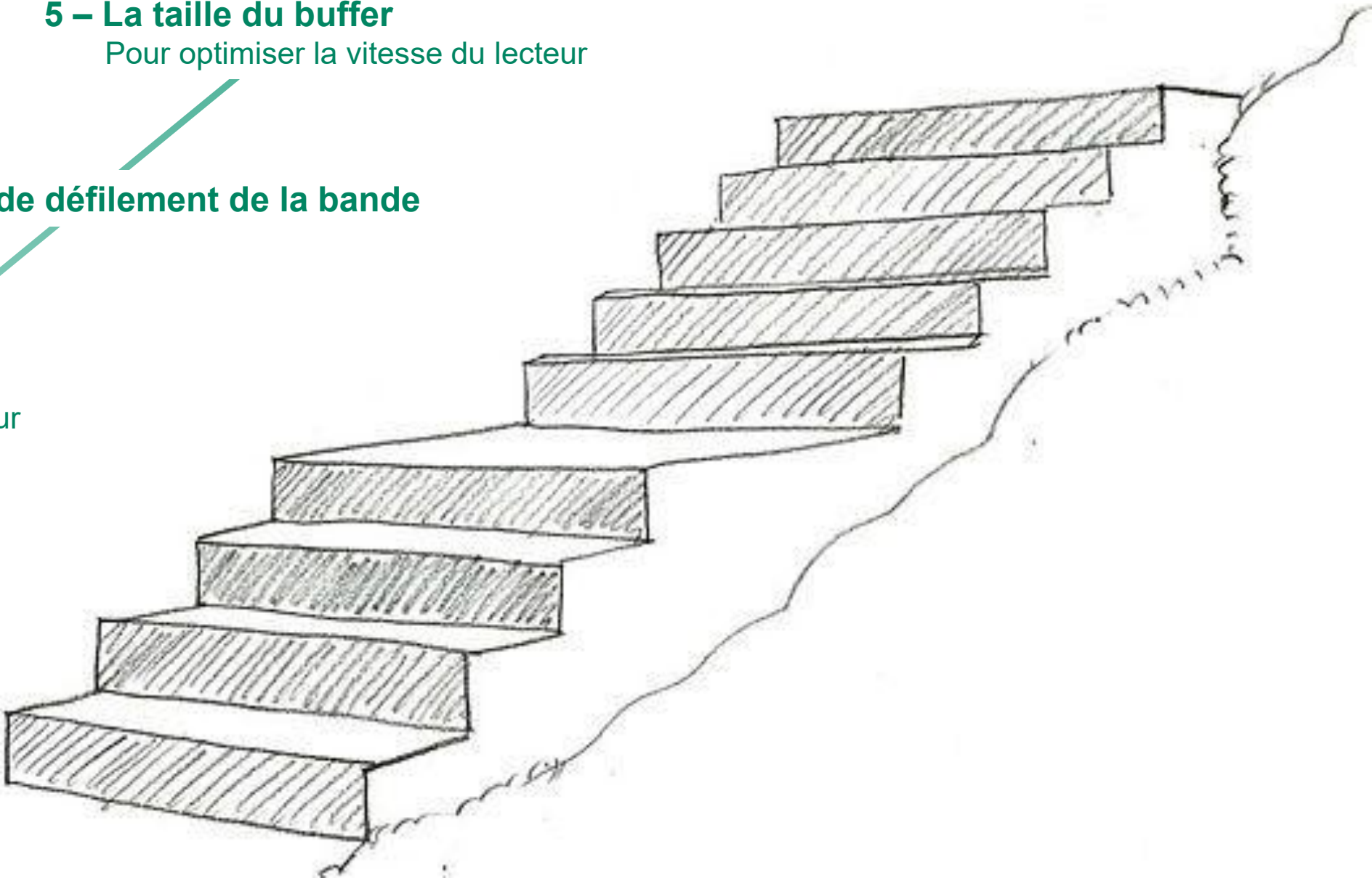
2 – La taille des fichiers
Plus on enregistre de nombreux petits fichiers, plus la vitesse nominale se dégrade

3 – Le Speed matching
Les multiples vitesses du lecteur

4 – La vitesse de défilement de la bande

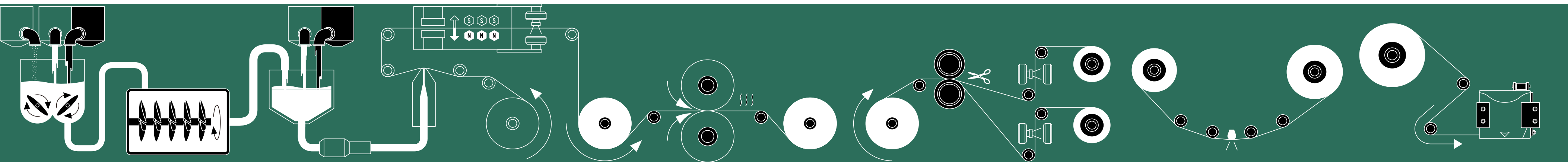
5 – La taille du buffer
Pour optimiser la vitesse du lecteur

6 – Les fonctionnalités avancées du lecteur
pour réduire les « backhitches »
Skip sync (LTO & Jaguar)
Fast sync (Jaguar) pour les fichiers de moins de 200MB



(*) Indépendamment du serveur et du logiciel utilisé pour écrire

Processus de fabrication des bandes magnétiques Fujifilm



1 - Préparation de l'agent de dispersion

Les particules magnétiques sont mélangées avec un agent de dispersion, en utilisant **la technologie de nanodispersion de Fujifilm (*)** pour les séparer les unes des autres.

2 - Enduction

Lors du **revêtement de haute précision**, le liquide de revêtement est appliqué à grande vitesse, créant ainsi une couche mince et uniforme. **L'orientation perpendiculaire des particules de BaFe et de SrFe** améliore les performances.

3 - Calandrage

Le film enduit est passé à travers des rouleaux chauffés à haute pression pour **lisser la surface de la couche magnétique**.

4 - Refendage

Le film enduit est **coupé** à une largeur de 12,65mm avec **une précision extrême**.

5 - Inscription des pistes Servo sur la bande

Des **signaux d'asservissement** sont **inscrits sur la bande** pour indiquer la position des données. Notre nouvelle gestion de la technologie des bandes réduit **les fluctuations des pistes servo**, pour permettre une **densité linéaire plus élevée**.

6 - Enroulement de la bande

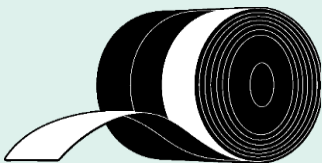
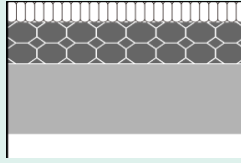
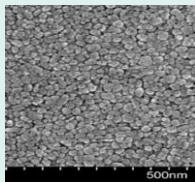
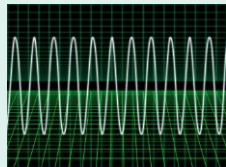
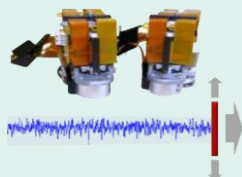
La bande est enroulée dans la cartouche, puis conditionnée.

(*) <https://www.fujifilm.com/in/en/business/data-management/datastorage/ltotape/technology>

Une vidéo décrivant le processus de fabrication des bandes LTO est disponible sur youtube : <https://www.youtube.com/watch?v=WeN7O73GGBw>

Des bandes à très haute capacité et défis technologiques

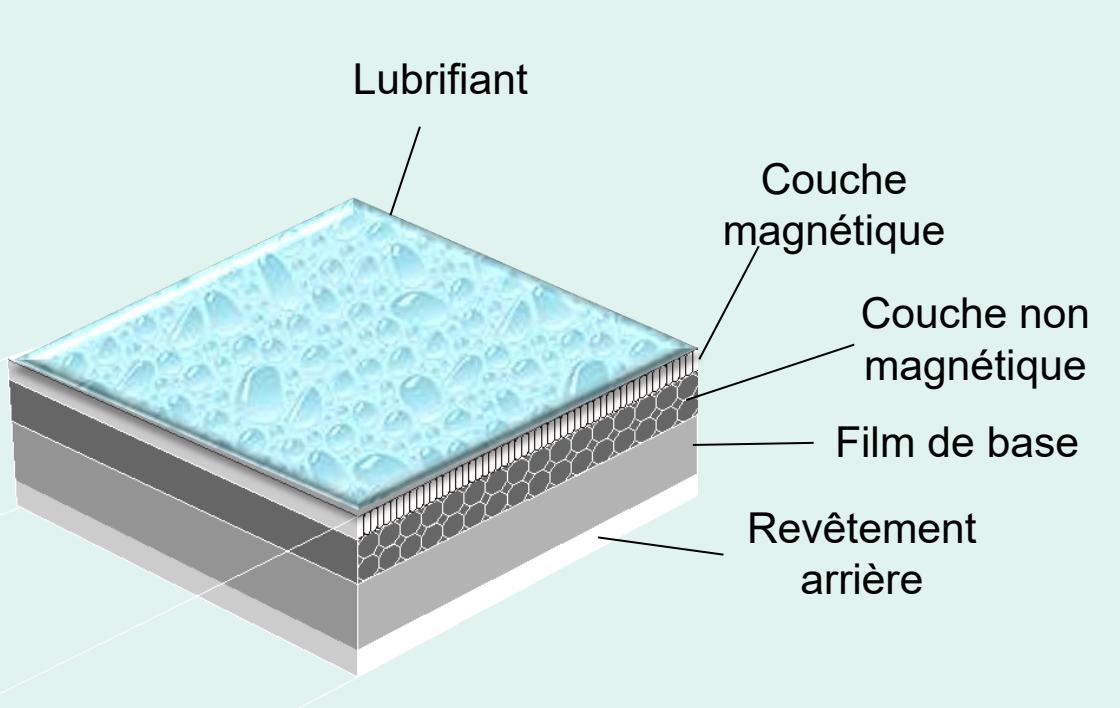
Progrès techniques et défis

Épaisseur et longueur de la bande	 Longueur de la bande	 Épaisseur de la bande
Taille des particules magnétiques	 Particules magnétiques	 Friction réduite
Nombre de pistes	 Pistes Servo	 Suivi des pistes

Les enjeux techniques pour augmenter la capacité sur une bande :

- Augmenter la longueur de la bande implique de réduire l'épaisseur de la bande.
- Réduire la taille des particules tout en maintenant des propriétés magnétiques élevées.
- Un meilleur alignement des particules pour permettre d'obtenir une bande plus lisse.
- Augmenter le nombre de pistes d'écriture
- Maintenir une précision de suivi des pistes.

Les bandes magnétiques sont composées de plusieurs couches :

	Bande	LTO-8	LTO-9	LTO-10 (30TB)	LTO-10 (40TB)
épaisseur		5,6µm	5,2µm	5,2µm	4,0µm
longueur		960m	1035m	1035m	1337m

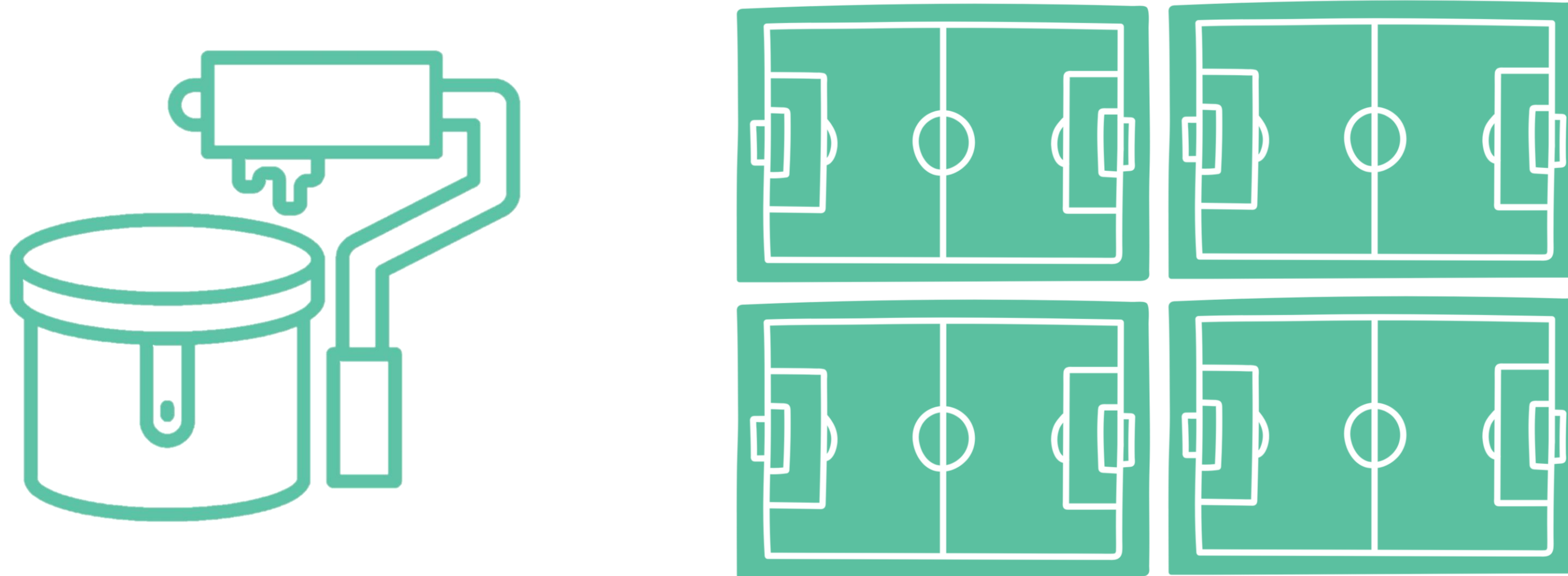
Réduire l'épaisseur de la bande magnétique permet d'enrouler davantage de mètres de bande dans une seule cartouche de même format, et de permettre ainsi une densité d'enregistrement supérieure.



La technologie d'enduction NANOCUBIC™ de Fujifilm

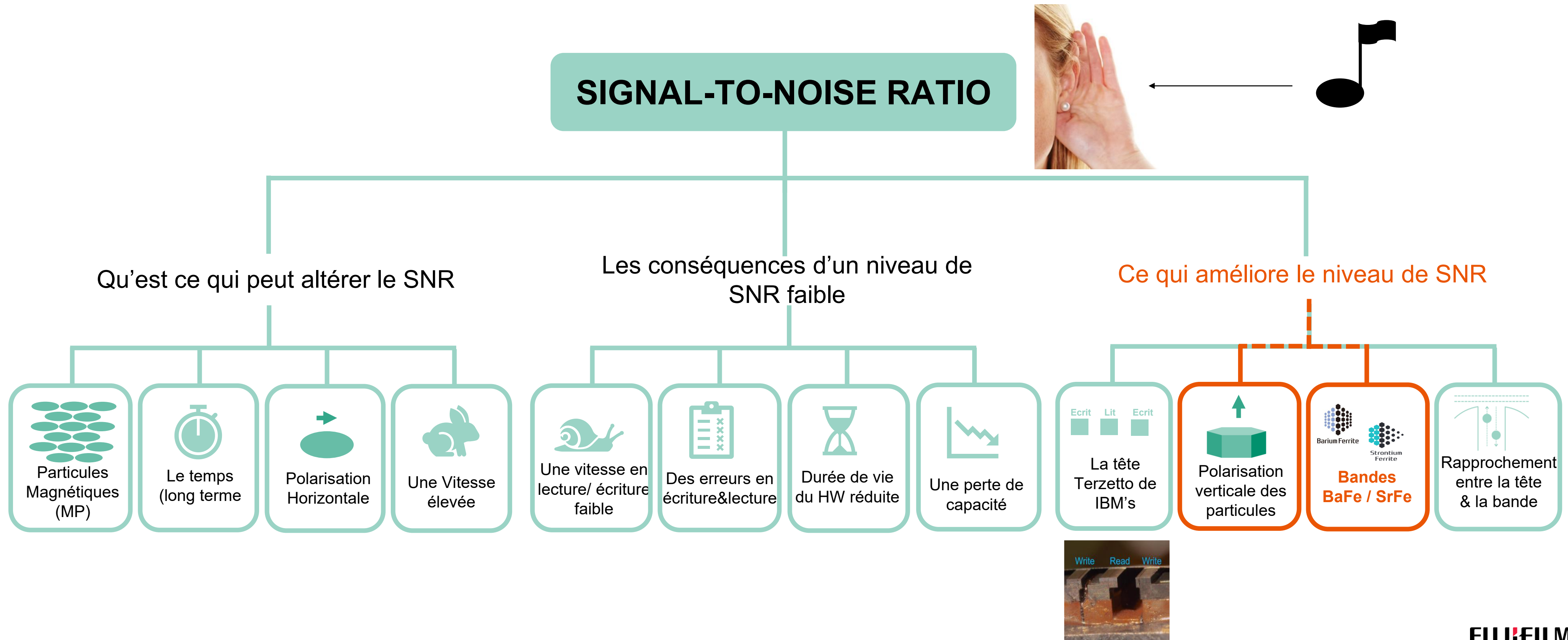


La technologie de nano-revêtement permet d'obtenir une couche magnétique ultra-fine.
On peut la comparer à la répartition uniforme d'un litre de peinture sur une surface équivalente à quatre terrains de football.
L'épaisseur de la couche magnétique est de 50 nm.



Améliorer l'intégrité des données en améliorant le niveau de SNR

Le rapport signal/bruit (SNR) exprime la clarté du signal utile par rapport au bruit indésirable ; il est essentiel pour garantir des résultats fiables et clairs.



La différence de qualité entre différentes bandes LTO-9

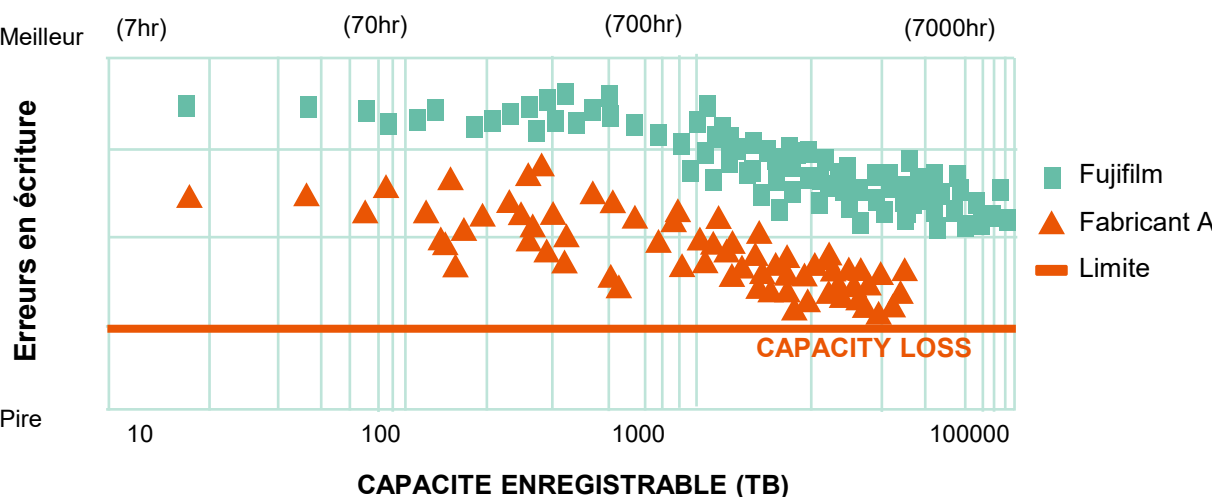
Les bandes Fujifilm LTO-9 offrent une durée de vie plus longue, une plus grande résistance et un transfert des données optimal dans tous les environnements

Test 1

GMT: Green Media Test

Le test GMT permet d'évaluer la durée de vie de la tête du lecteur en utilisant uniquement des bandes neuves, donc plus abrasives, comme lors des procédures d'archivage de données.

Ce test permet de démontrer une durée de vie plus longue avec les bandes LTO-9 fabriquées par Fujifilm.

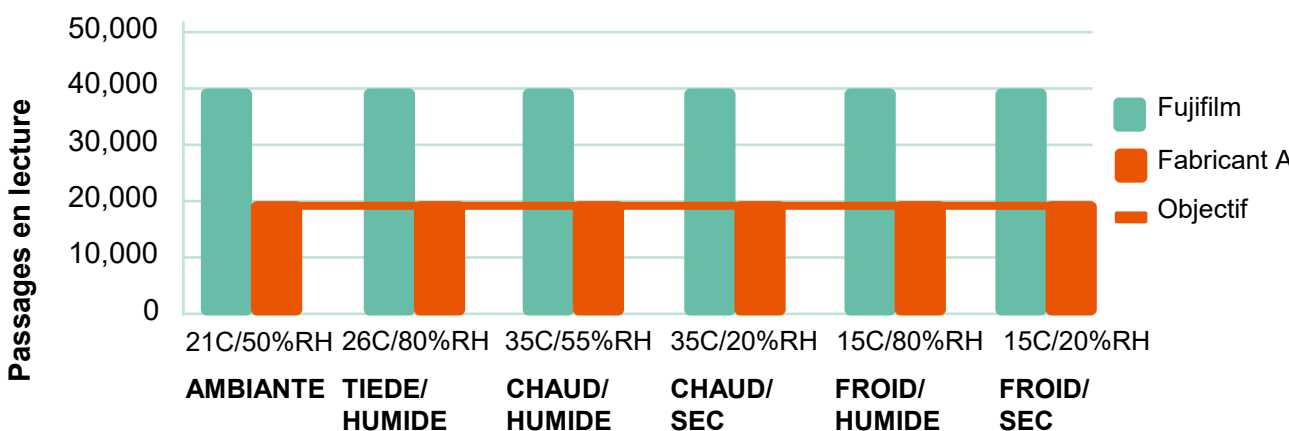


Test 2

SLD: Short Length Durability Test

Les test SLD mesure la résistance des bandes LTO-9 aux cycles de lecture/écriture répétés sur une même section, dans des environnements divers.

Les bandes LTO-9 de Fujifilm supportent 50% de cycles de chargements supplémentaires, prolongeant ainsi la durée de vie des cartouches.

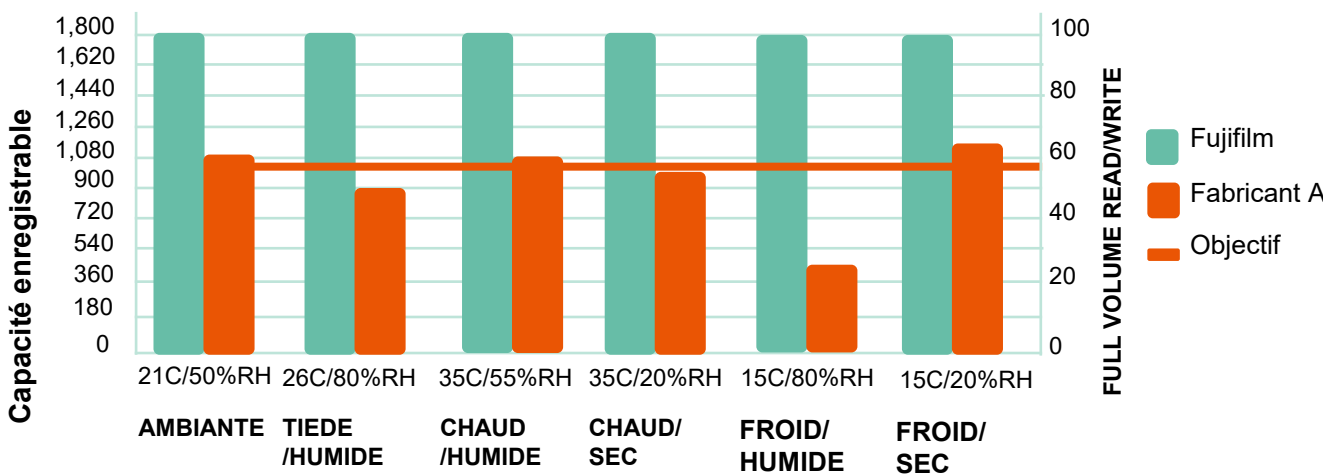


Test 3

LLD: Long Length Durability Test

Le LLD teste la capacité des bandes LTO-9 à récupérer et transférer des données grâce à des cycles de lecture/écriture répétés sur toutes leur longueur.

Les bandes LTO-9 de Fujifilm ont enregistré plus de 1,8 Po dans différents envrionnements, dépassant ainsi les objectifs fixés pour la technologie LTO.

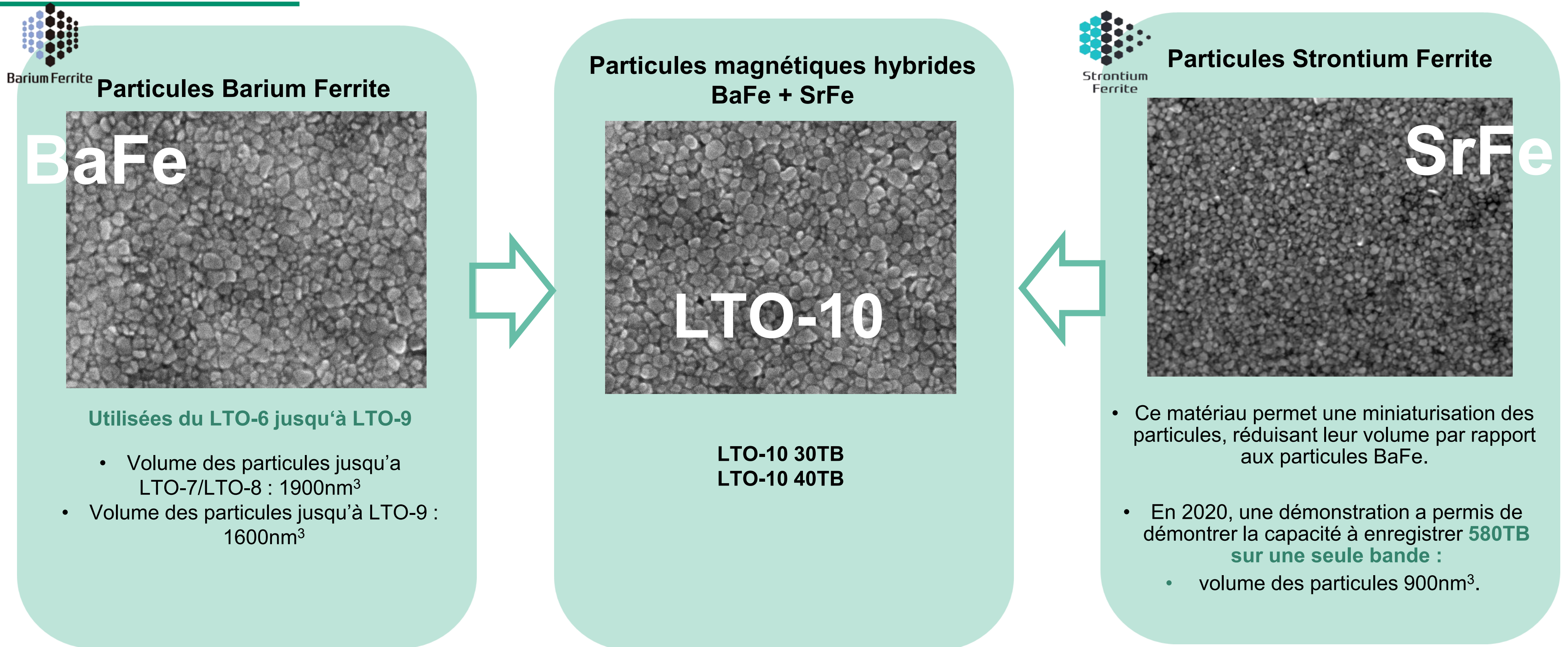


La différence de qualité entre différentes bandes LTO-9

	OBJECTIF	PROCÉDURE DU TEST	RÉSULTATS
GMT (Green Media Test)	Une bande LTO-9 de qualité moyenne peut très vite générer des erreurs d'écriture. La conséquence est que la bande offrira une capacité de stockage inférieure aux 18TB natifs annoncés.	Des cartouches, neuves uniquement, sont testées pour une écriture de la capacité totale, dans un seul lecteur dans des conditions ambiantes*. A mesure que les bandes passent devant la tête du lecteur, celle-ci se dégrade progressivement. Le test indique le nombre de LTO-9 qui peuvent être écrites avant que l'usure n'entraîne une perte de capacité.	✓ L'usure de la tête du lecteur entraîne une perte de capacité : Fabricant A Après 170 LTO-9 neuves = 3PB Fujifilm Après >500 LTO-9 neuves = 10PB Perte de capacité, augmentation des coûts
SLD Short Length Durability Test	Les écritures et lectures fréquentes sur une zone de la bande LTO-9 sont limitées. Ces opérations répétées sur une courte longueur de bande permettent d'évaluer sa durée de vie.	Le test SLD implique des milliers de cycles de lecture/écriture sur une courte longueur de la bande dans différents environnements. Les performances de lecture/écriture sont vérifiées après le test. Des erreurs de lecture permanentes surviennent généralement suite à l'usure de la bande.	✓ Ce test démontre que les bandes Fujifilm ont réalisé plus de 40,000 cycles de lecture sans aucune erreur permanente dans tous les environnements, dépassant ainsi les spécifications de la LTO. ✓ Elles supportent un nombre de chargements 50% plus élevé, qui se traduit par une durée de vie plus longue de la cartouche Durée de vie de la cartouche
LLD Long Length Durability Test	L'accès fréquent aux données ou l'écriture répétée sur une même bande (comme lors des opérations de sauvegarde), entraînent des lectures et des écritures répétées sur toute sa longueur. Le test LLD mesure la durée de vie de la bande dans ces conditions.	Le test LLD implique des cycles d'écriture et de lectures de la capacité totale de la bande dans des conditions environnementales diverses.	✓ Les bandes LTO-9 de Fujifilm ont permis d'enregistrer plus de 1,8PB de capacité, dans tous les environnements, dépassant ainsi l'objectif du LTO. Les bandes de l'autre constructeur ont juste atteint 1PB de données, ou on échoué avant. Durée de vie des bandes et conformité

*Ambient conditions: (23°C +/- 5°C/50% RH +/- 5%).

Evolution des particules magnétiques



SrFe

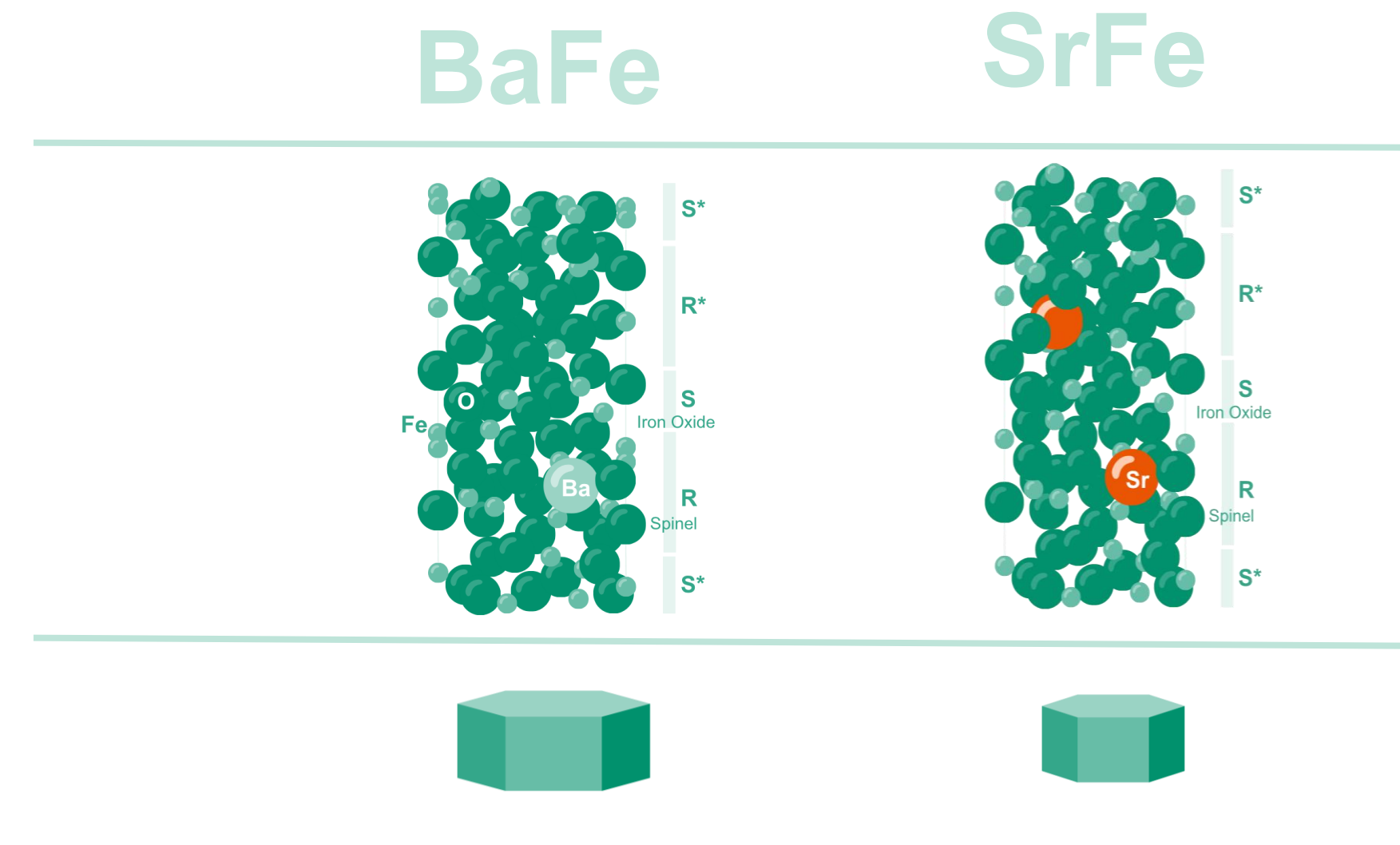
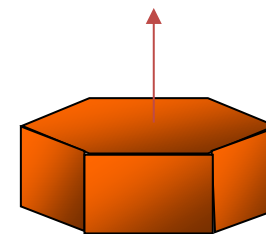
Strontium Ferrite

Exploration de la technologie et de la structure des particules

- ▶ Similaire au BaFe, mais avec le Sr remplaçant la structure cristalline.
- ▶ Puissance magnétique élevée (couramment utilisé dans les aimants de moteurs).
- ▶ Oxyde chimiquement stable (comme le BaFe), garantissant une durée de vie supérieure à 30 ans (les particules ont une durée de vie de 50 ans).
- ▶ Propriétés magnétiques supérieures à celles du BaFe, ce qui en fait un Matériau prometteur avec un potentiel de haute performance.

Le volume des particules **peut être réduit de plus de 60 %** tout en **conservant un rapport signal/bruit élevé**.

Un magnétisme plus puissant que celui du BaFe et une polarisation verticale améliorent la transmission du signal.

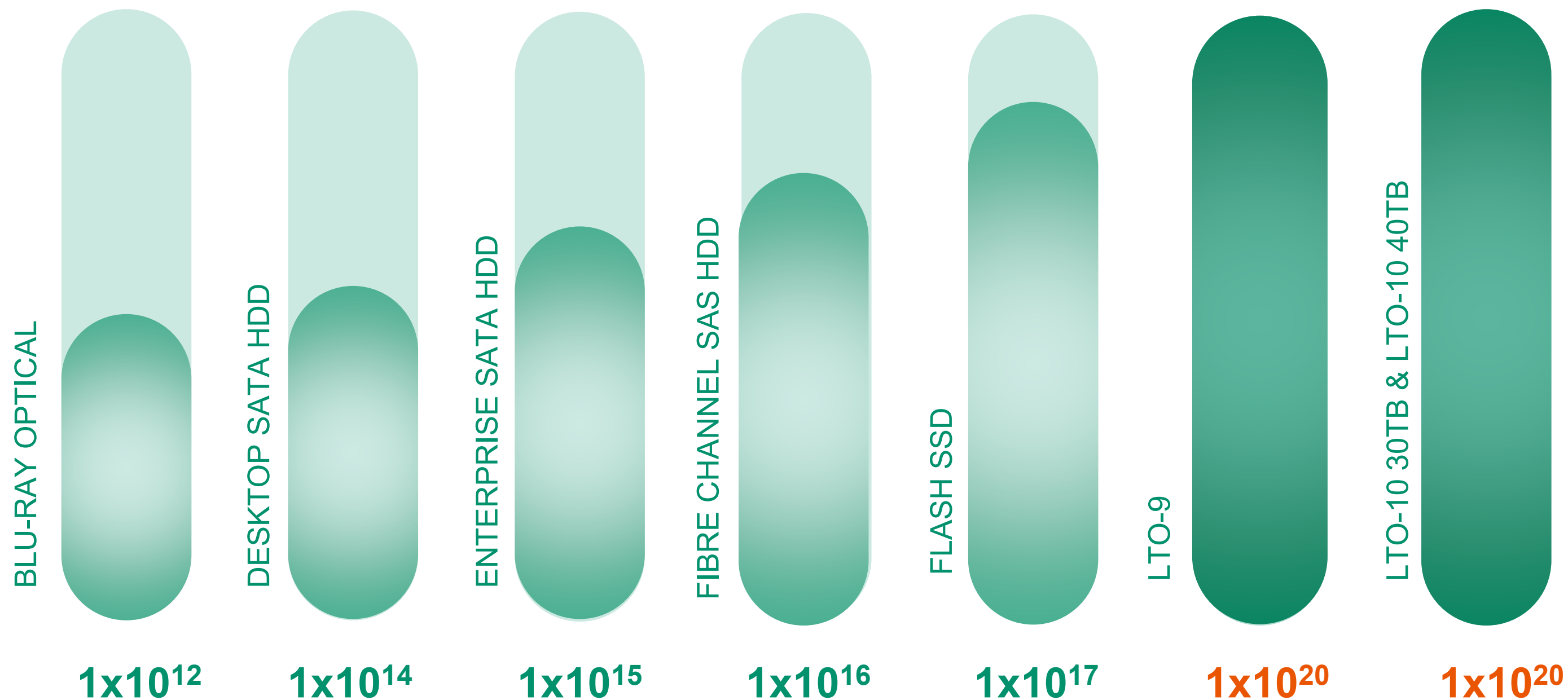


Propriétés magnétiques *

M_s (Am ² kg ⁻¹)	72	92
K_U (10 ⁵ Jm ⁻³)	3.3	3.5

Un niveau de fiabilité élevé grâce à une meilleure intégrité des données

Le Bit Error Rate (BER) ou taux d'erreur binaire, fait de la bande en fait le **support de stockage le plus fiable** disponible



Il est possible d'écrire ou de lire **100,000 fois** plus de données sur une bande LTO-10 que sur un disque dur SATA avant de risquer un erreur en écriture/lecture.



Cela permet d'écrire **12.5EB** de données sur une bande LTO-10 avant de risquer une erreur en écriture.

*Uncorrectable Bit Error Rate: Indique la probabilité de générer une erreur en écriture et en lecture des données.
Capacité équivalente en PB : La quantité de données que l'on peut écrire avant d'enregistrer une erreur d'un octet.

Les développements techniques de la LTO-10

Quelles avancées technologiques furent nécessaires pour produire les bandes LTO-10 ?

- ▶ Les bandes LTO-10 utilisent un matériau hybride composé de particules Strontium-Barium Ferrite plus petites, et une couche magnétique plus fine **pour augmenter la densité des pistes de 1.7x** comparé à la LTO-9.
- ▶ Le nombre de pistes **augmente de 8,960 à 15,104**, avec des canaux de lecture/écriture plus étroits. Le lecteur LTO-10 a été repensé pour des têtes de lecture/écriture plus petites.
- ▶ Pour les LTO-10 40TB, un nouveau film de base permet **d'augmenter la longueur de la bande de 1,035m à 1,337m**, et de réduire son épaisseur pour atteindre une capacité de stockage de **40TB**.

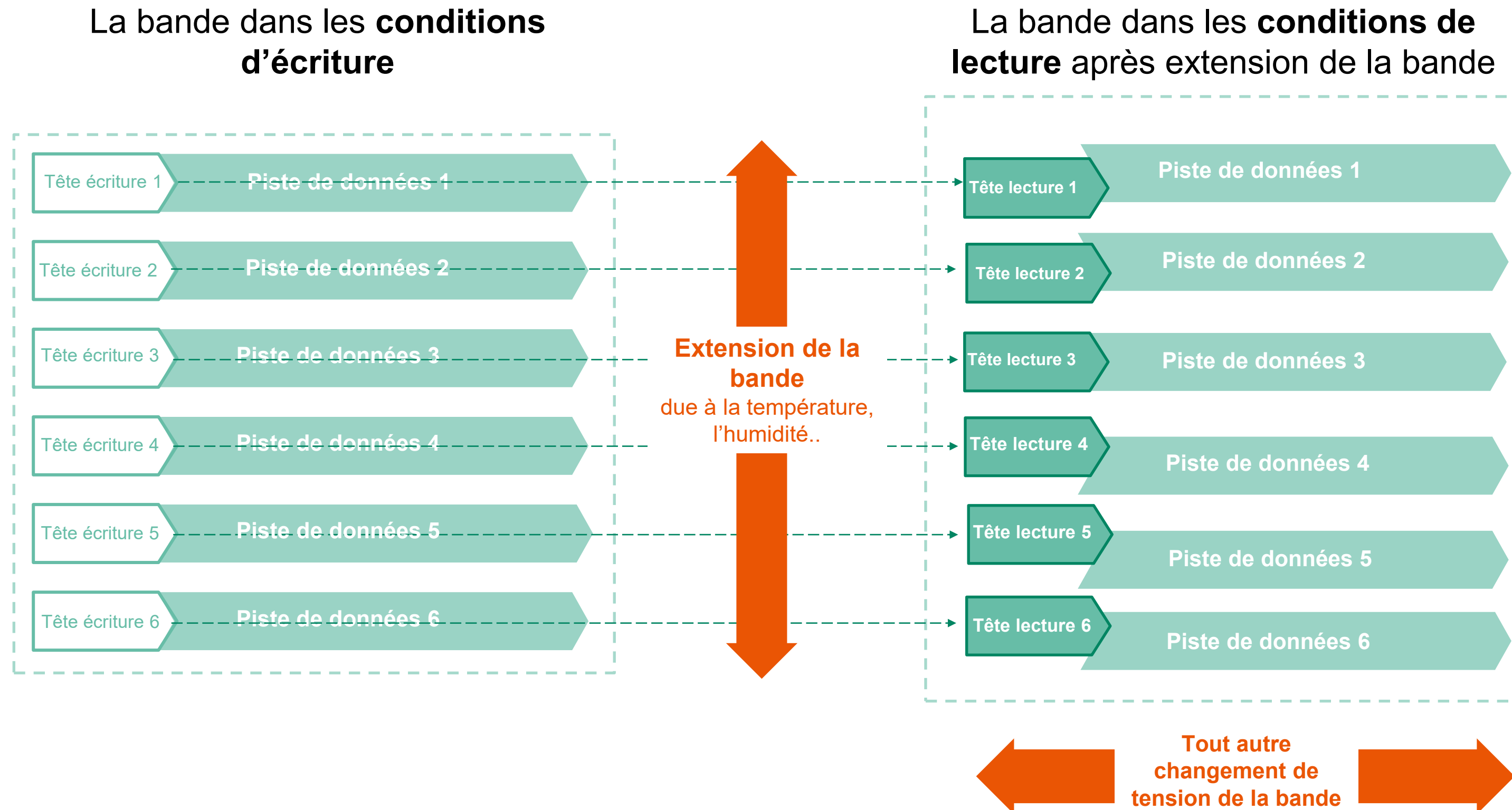


Évolution de LTO-7 à LTO-10

	LTO-7	▶ EVOL (%)	LTO-8	▶ EVOL (%)	LTO-9	▶ EVOL (%)	LTO-10 30TB	▶ EVOL (%)	LTO-10 40TB
Capacité native (TB)	6	100	12	50	18	66	30	33	40
Longueur de bande (m)	960	-	960	8	1,035	-	1,035	29	1,337
Épaisseur de la bande (µm)	5.6	-	5.6	7	5.2	-	5.2	23	4.0
Nombre de pistes	3,584	85	6,656	35	8,960	69	15,104	-	15,104
Taille des particules (nm³)	1,900	-16	1,900	-	1,600	-	hybride	-	hybride

Contrôle de la tension :

Approche traditionnelle de la stabilité dimensionnelle de la bande

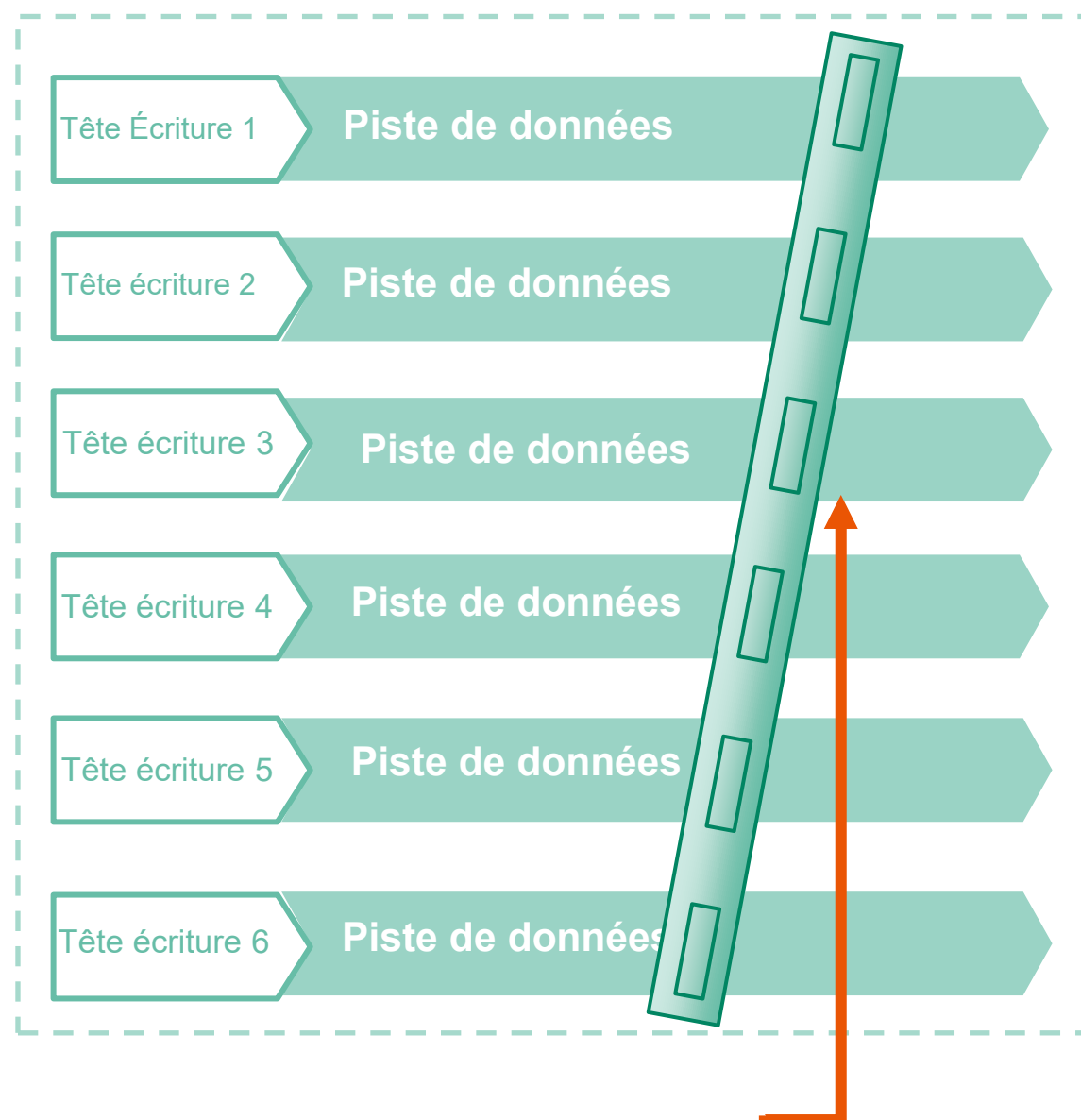


- Les données sont écrites sur différentes pistes en parallèle avec 32 têtes d'écriture (l'exemple en montre 6).
- Les 32 têtes de lecture doivent se maintenir alignées sur les pistes respectives.
- Tout décalage des têtes par rapport aux axes centraux peut entraîner une augmentation du taux d'erreur.
- Une extension ou contraction de la bande peut affecter le bon positionnement de la tête au moment de la lecture.
- La température, l'humidité et les tensions impactent la largeur et la longueur de la bande.

- Le LTO-9 a introduit la fonction de «**Tension Control**» pour compenser les variations dimensionnelles de la bande.
- Le calibrage / initialisation stabilise la largeur de la bande en l'enroulant d'avant en arrière.
- Le résultat est stocké dans la puce mémoire (CM), pour permettre de lire la bande avec succès ultérieurement.

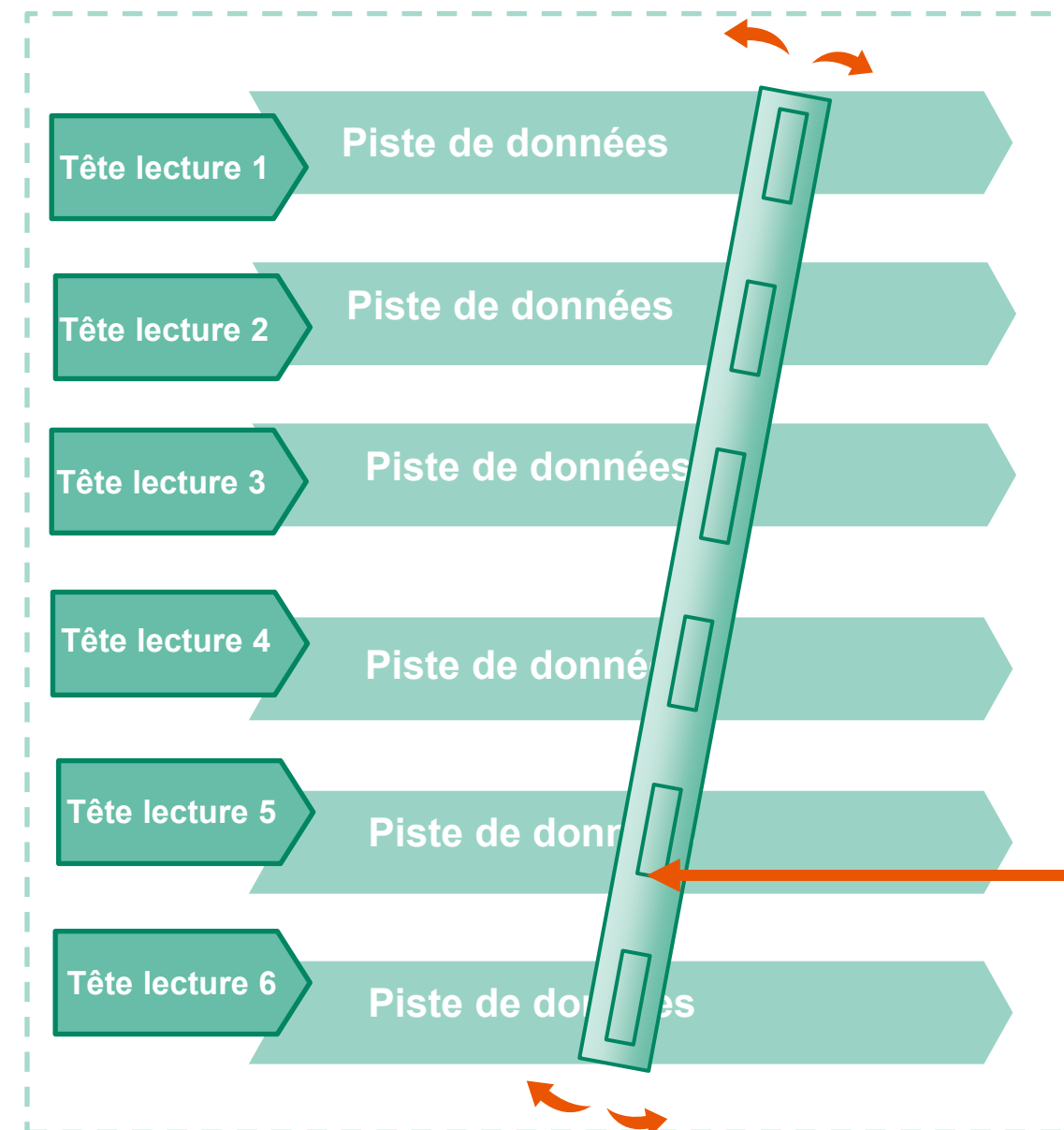
La tête inclinée : Nouvelle approche de stabilité dimensionnelle de la bande LTO-10

La bande dans les **conditions d'écriture**



La tête peut s'incliner pour **suivre les pistes**

La bande dans les **conditions de lecture** après extension de la bande



Extension de la bande due à la température, l'humidité..

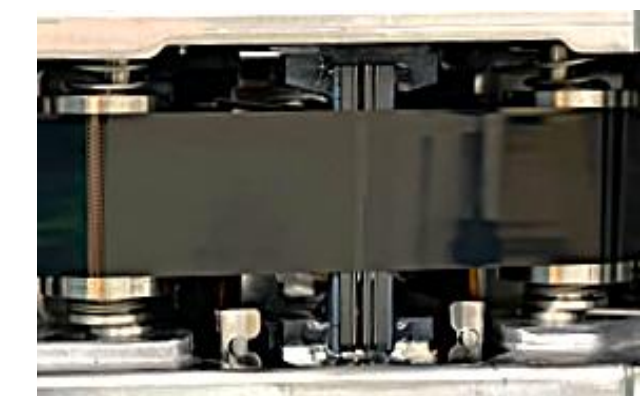
Tout autre changement de tension de la bande

- Pour le LTO-10, la tête du lecteur a été repensée en modifiant l'angle d'écriture/lecture pour gérer les variations de la bande : **"Tape dimensional stability" (TDS)**.
- En cas de décalage, l'**inclinaison de la tête est modifiée**.
- En augmentant ou en diminuant l'angle de la tête, le **lecteur peut suivre l'éventuelle dilatation ou contraction** de la bande.
- L'ajustement proactif garantit la **lisibilité des données même après des décennies**.

"Tête inclinée" du LTO-10



Tête de lecteur du LTO-9



Grâce aux améliorations apportées au LTO-10, **aucun calibrage/optimisation** n'est nécessaire sur ces cartouches.

Tableau récapitulatif de la compatibilité LTO

Compatibilité entre les lecteurs et les bandes (en lecture et en écriture)

Bandes LTO	Lecteurs									
	LTO-10	LTO-9	LTO-8	LTO-7	LTO-6	LTO-5	LTO-4	LTO-3	LTO-2	LTO-1
	LTO Ultrium 10 (40TB/100TB)	E/L								
	LTO Ultrium 10 (30TB/75TB)	E/L								
	LTO Ultrium 9 (18TB/45TB)		E/L							
	LTO Ultrium 8 (12TB/30TB)		E/L	E/L						
	LTO Ultrium 7 (6TB/15TB)			E/L	E/L					
	LTO Ultrium 6 (2,5TB/6,25TB)			E/L	E/L					
	LTO Ultrium 5 (1,5TB/3TB)			L	E/L	E/L				
	LTO Ultrium 4 (0,8TB/0,4TB)				L	E/L	E/L			
	LTO Ultrium 3 (0,4TB/0,4TB)					L	E/L	E/L		
	LTO Ultrium 2 (0,2TB/0,4TB)						L	E/L	E/L	
	LTO Ultrium 1 (0,1TB/0,2TB)							L	L	E/L

E/L Écriture / Lecture
L Lecture uniquement

✓ En raison de l'amélioration de la tête de lecture/écriture et du fait qu'elle est capable d'effectuer une rotation, **la compatibilité avec les générations LTO précédentes ne sera pas possible.**

Pourquoi deux cartouches LTO-10



► Différence 1

Augmentation significative de la capacité, avec 40TB de capacité native, pour une meilleure densité de stockage, et la réduction de l'espace au sol nécessaire.

► Différence 2

Amélioration des spécifications environnementales grâce à un nouveau film de base en aramid, permettant une meilleure résistance à la température et à l'humidité, et une réduction de la consommation d'énergie et des coûts.

► Différence 3

Le système hrRAO (High Resolution Recommended Access Order) divise la bande en 128 segments via le répertoire HRTD, permettant un accès plus rapide ainsi qu'une récupération plus efficace.

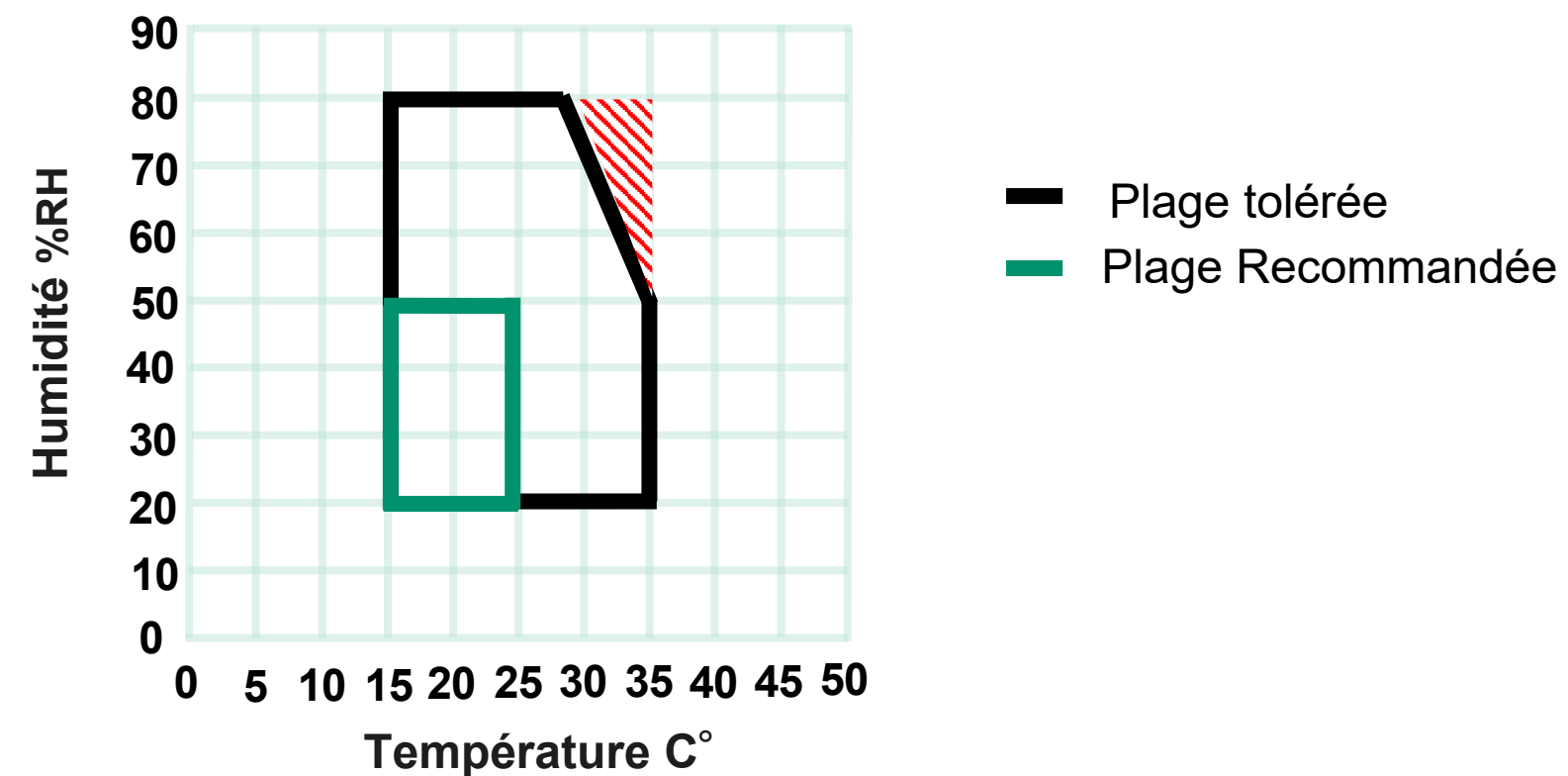
Conditions environnementales de stockage

Les principales modifications des spécifications et recommandations pour une retention fiable des données des LTO-9 aux LTO-10 30TB et LTO 40TB.

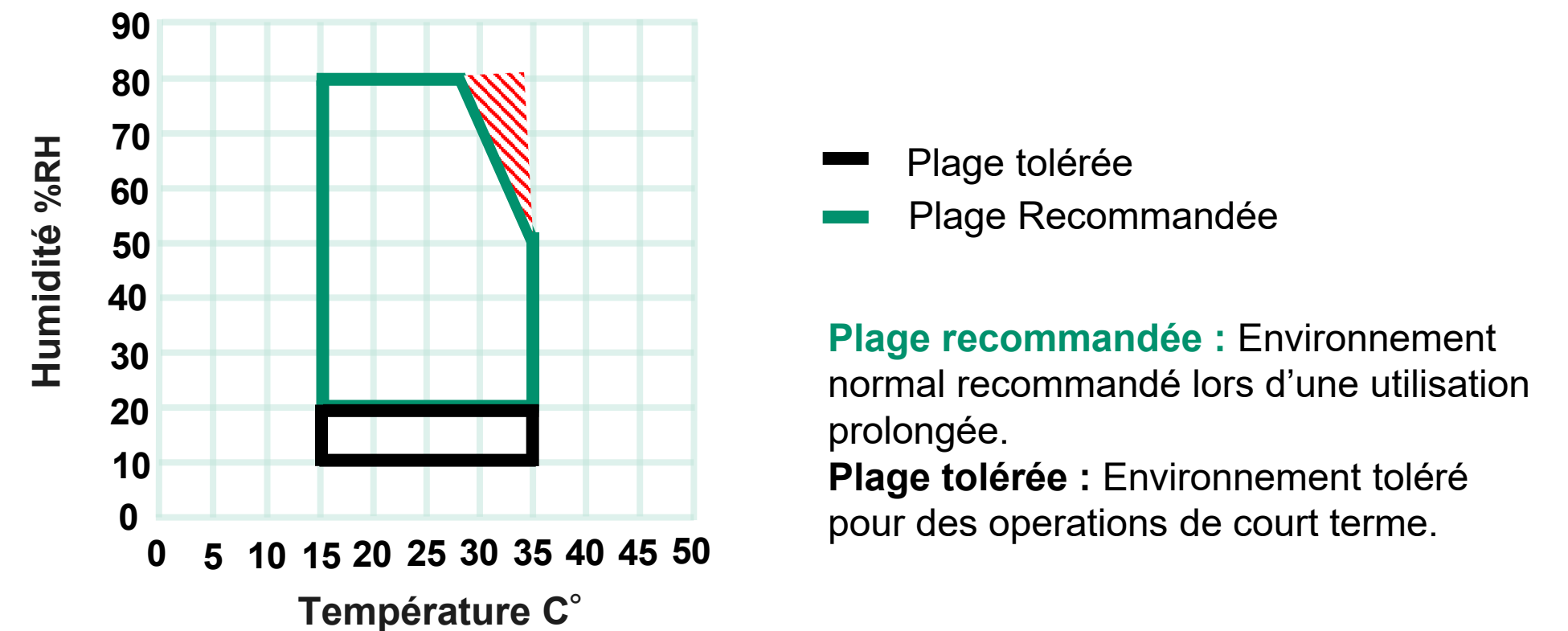
- **Entre la LTO-8 et LTO-9, un changement des spécifications** : La gamme d'environnements opérationnels s'est **adaptée aux spécifications du matériel et de simplifier la compréhension pour les utilisateurs.**
- **La LTO-10 40TB** permet d'étendre les spécifications environnementales grâce au nouveau film de base, pour une résistance accrue à la température et à l'humidité, d'excellentes performances de fluage et un TDS* amélioré dans le lecteur.

⇒ **Eviter les variations de température et humidité de plus de 5% en l'espace d'une heure pour garantir une conservation des données de 30 ans ou plus.**

LTO-9 et LTO-10 30TB



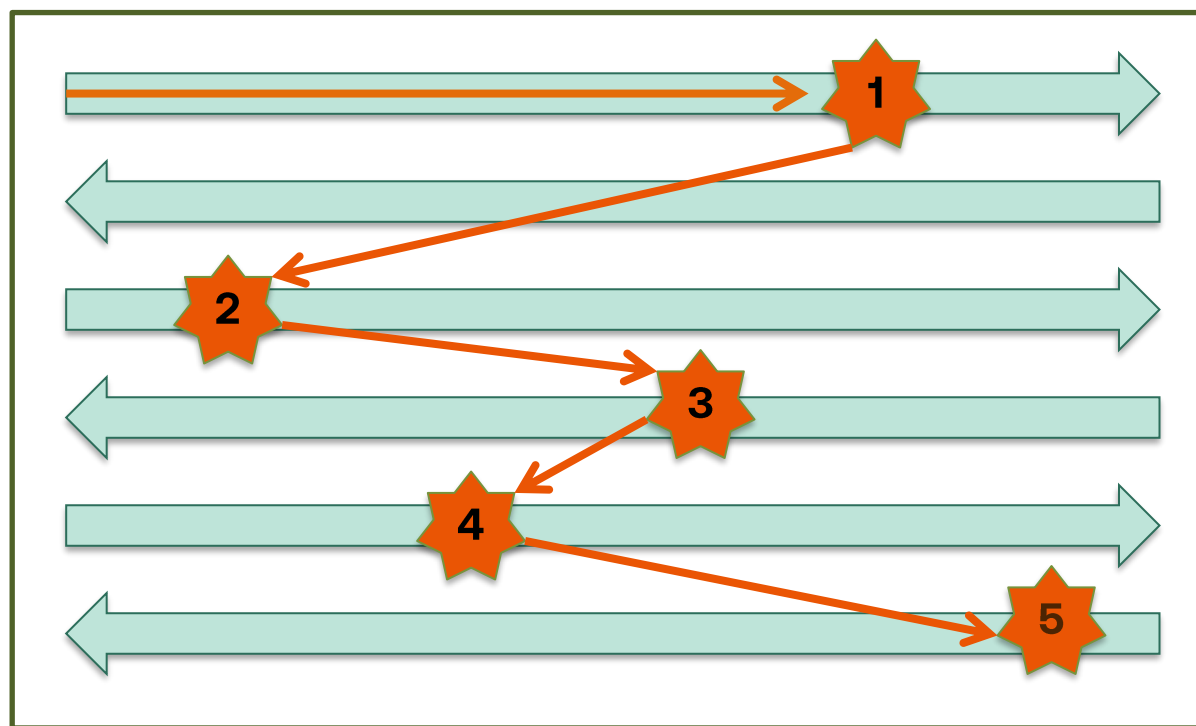
LTO-10 40TB



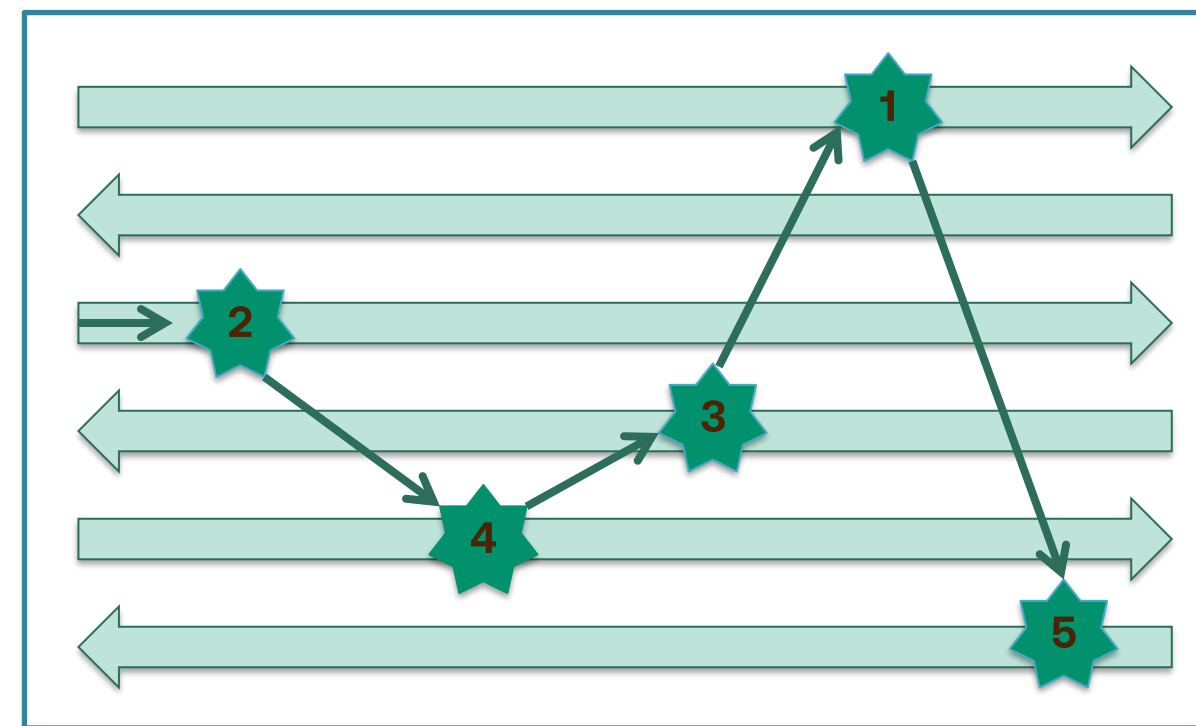
Le LTO-10 conserve la fonction oRAO (Open Recommended Access Ordering) implémentée à partir du LTO-9

Ordre d'accès recommandé (RAO) – un exemple

LTO-1~8



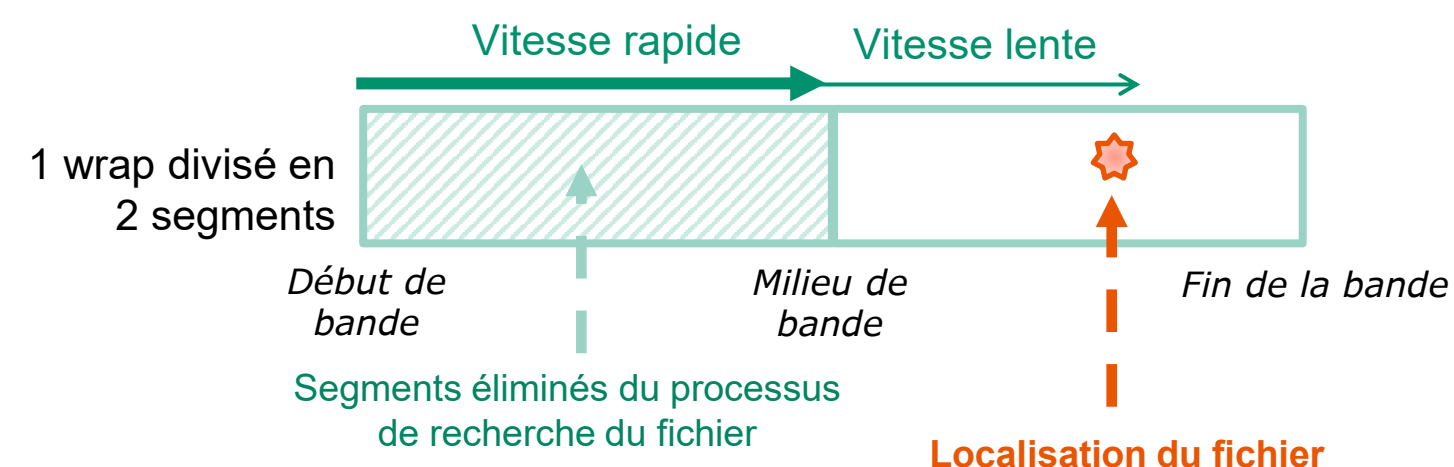
3592~LTO-9~10 (oRAO)



- Le rappel de multiples fichiers sur une même bande est complexe, puisque le lecteur doit dérouler/rembobiner et se repositionner de manière répétée.
- Le RAO est une fonctionnalité de la technologie intégrée dans les formats Enterprise d'IBM 3592 Enterprise qui **optimise l'ordre de récupération** de plusieurs fichiers **en fonction de leur taille ou de leur position sur la bande, et du taux de transfert**.
- Avec le oRAO, la **récupération de fichiers multiples** sur une même bande réduit le temps d'accès aux données **jusqu'à 73 % sur LTO-9 et LTO-10 (30TB)**.

La fonction High Resolution Tape Directory accélère l'accès aux fichiers.

Déplacement de la tête

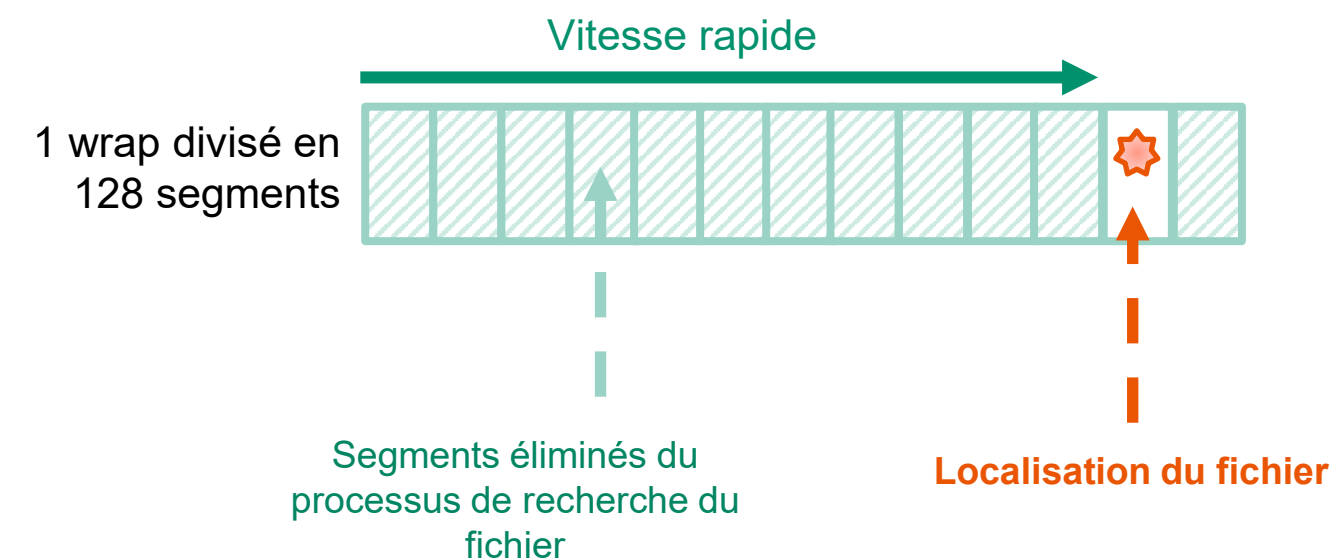


01

Système de répertoire traditionnel d'une bande LTO

- Lors du processus de recherche, le système guide la tête du lecteur vers le segment de la bande contenant le fichier, à l'aide de trois points de référence (début, milieu et fin), divisant ainsi la bande en deux segments.
- La tête recherche ensuite les fichiers en détectant des signaux magnétiques. Cependant, cette approche limitée rend le système peu efficace.

Déplacement de la tête



02

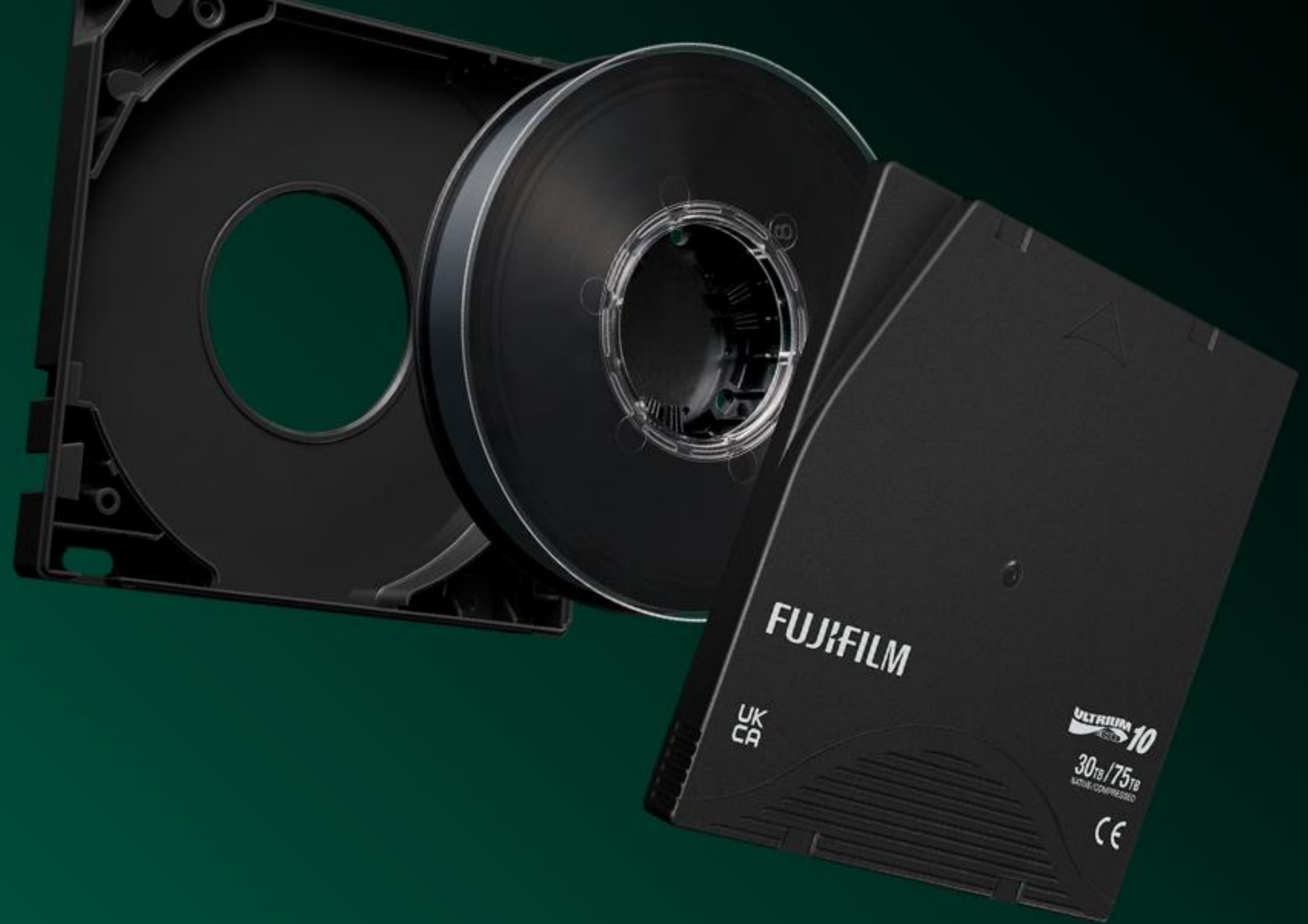
Avec la fonction "High Resolution Recommended Access Order" (HrRAO)

- Avec le système HrTD, la bande est divisée en 128 segments, permettant à la tête du lecteur d'exclure de nombreuses zones et de se concentrer sur une zone de recherche plus restreinte. La récupération des fichiers est ainsi accélérée : la tête se déplace rapidement dans les segments exclus, et ralentit à proximité du fichier.
- Le système HrRAO permet de récupérer des fichiers sur une même bande 5 fois plus vite sur les LTO-10 40TB ou 3592JF.

Tableau comparatif

		LTO-10 40TB	LTO-10 30TB	LTO-9	LTO-8
Différence 1	Capacité de la bande	40TB	30TB	18TB	12TB
	Particules magnétiques	Hybride (BaFe +SrFe)	Hybride (BaFe +SrFe)	BaFe	BaFe
	Film de base	Polyamide (Aramide)	PET	PET	PET
	Épaisseur de la bande	4.0 µm	5.2 µm	5.2 µm	5.6 µm
	Longueur de la bande	1,337 m	1,035 m	1,035 m	960 m
	Nombre de pistes (Pistes)	15,104 (610nm)	15,104 (610nm)	8,960 (1160nm)	6,656 (1560nm)
	Spéc. environnementales	Recom./Tolérées	Recom./Tolérées	Recom./Tolérées	Recom./Tolérées
Différence 2	Température	15-35/15-35	15-25/15-35	15-25/15-35	16-25/16-25
	Humidité	20-80/10-80	20-50/20-80	20-50/20-80	20-50/20-50
Performance du lecteur	Vitesse de transfert	400MB/s	400MB/s	400MB/s	360MB/s
	Optimisation du Media	Non requis	Non requis	Nécessaire	Non requis
	Temps moy. rembobinage	74 sec	62 sec	55-165 sec	59 sec
	Compatibilité arrière	Non compatible	Non compatible	LTO-8	LTO-7
Différence 3	Supporte le RAO	hrRAO	oRAO	oRAO	Non

Merci



Fujifilm Recording Media - Elisabeth Gameiro
elisabeth.gameiro@fujifilm.com

FUJIFILM
Value from Innovation