

La récupération d'énergie intégrée, une alternative technologique au cœur de l'environnement

Lionel Trojman, PhD-HDR
Directeur de recherche de l'Isep
Directeur du LISITE

Bientôt 70 ans d'histoire,
fondé en 1955



Formation initiale et continue:

- Ingénieur
- Bachelors
- Prépa intégrée

Le numérique en mode



LISITE, labo de
recherche prestigieux

Ecole du
numérique IDF

Réseau de 10000 Alumni

LISITE

Labo Informatique Signal & Image, Télécom & Electronique

Electronics Communication
and Security (ECoS)

✓ Com & Localisation

✓ Circuit intégré, système
électronique



→ **Cybersécurité** ←



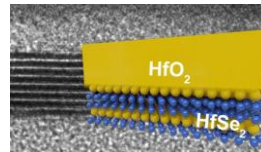
IA

La santé



Energie

Matériaux



Humanité

Data Science and Signal
Processing (DaSSIP)

✓ Détection d'anomalies &
explanabilité

✓ Traitement des signaux & Image

↳ Médico-Social



- 24 EC & 30 Doctorants
- 5 chaires recherche
- Thèses CIFRE, projet ANR & Européen

Contenu

- Les Energies Renouvelables
- la ressource insoupçonnée d'un gros consommateur
- Une innovation avec les récupérateurs d'énergie

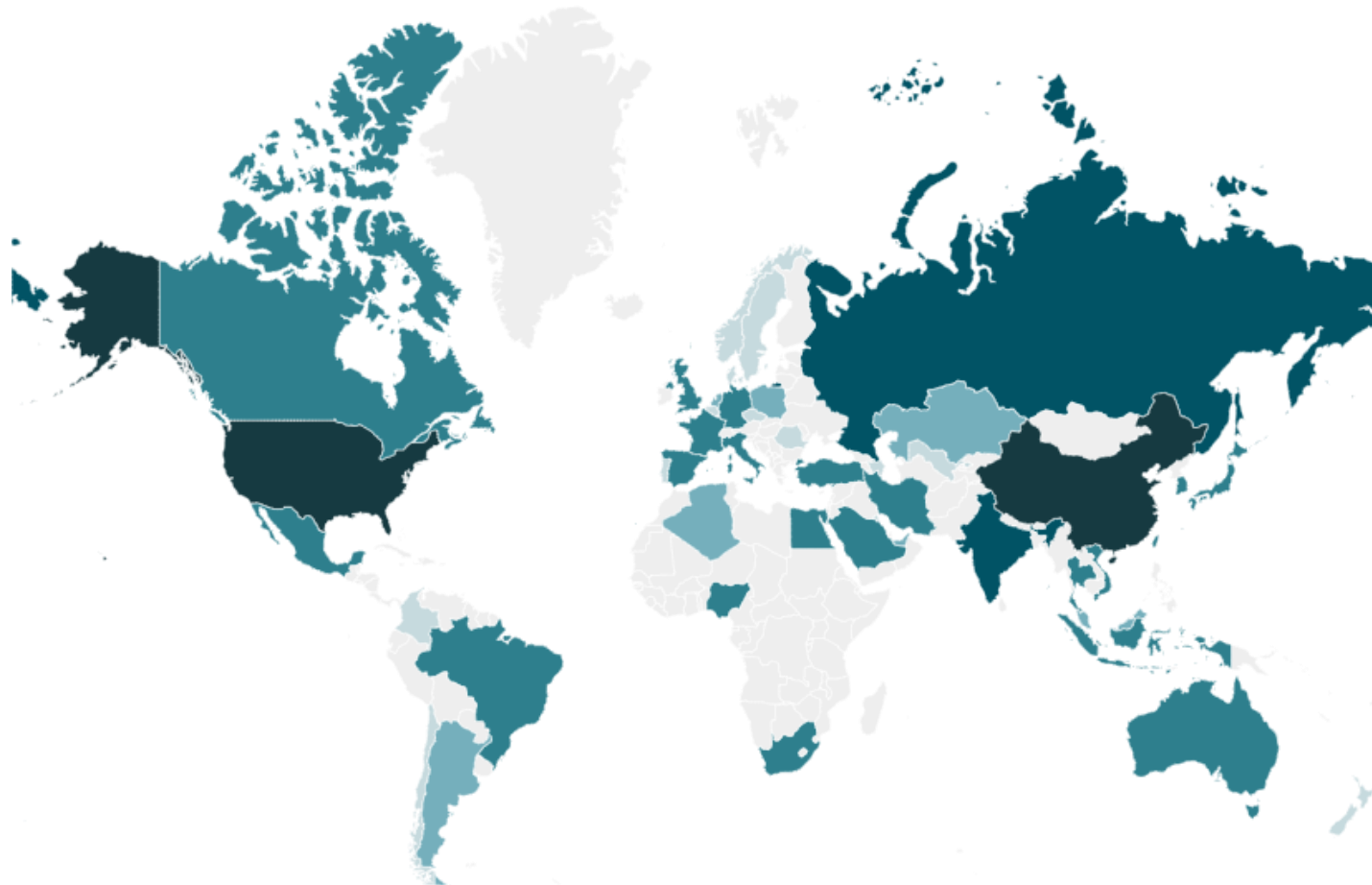
Contenu

- Les Energies Renouvelables
- la ressource insoupçonnée d'un gros consommateur
- Une innovation avec les récupérateurs d'énergie

Consommation d'énergie en 2023

TOTAL : 15 000MToe ou 174 000TWh ou 630 000 000TJ

Le Terre a reçu en en 2023
2 T de TJ (10^{24} J) d'énergie Solaire



Par pays : Below 50 50 to 100 100 to 500 500 to 2000 Above 2000 en MToe

<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>

<https://www.theworldcounts.com/challenges/climate-change/energy/global-energy-consumption>

Modèle de production doit Satisfaire les besoins & Réduire l'impact

Les besoins en énergie ne cessent d'augmenter

- Par la démographie
- Par l'utilisation des technologies numériques

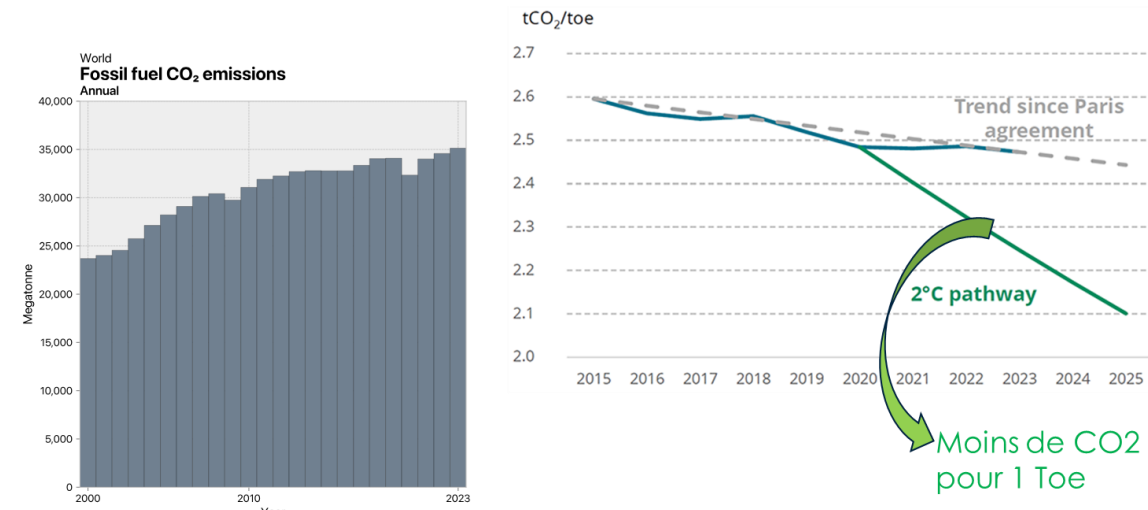
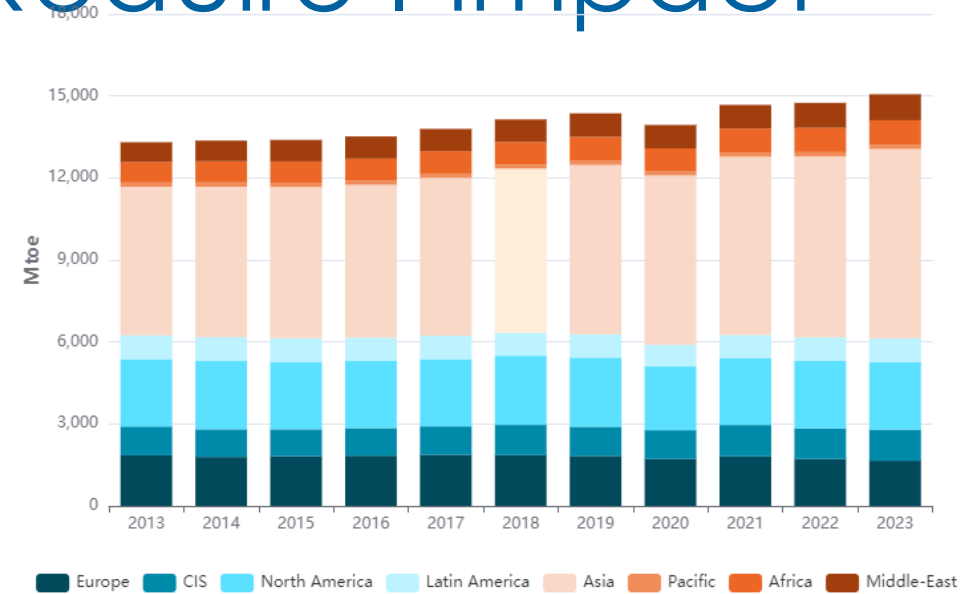
Impact néfaste l'environnement

- Augmentation → CO2 et donc de la température moyenne
- Épuisement des ressources
- Dégradation des écosystèmes

Une question géopolitique

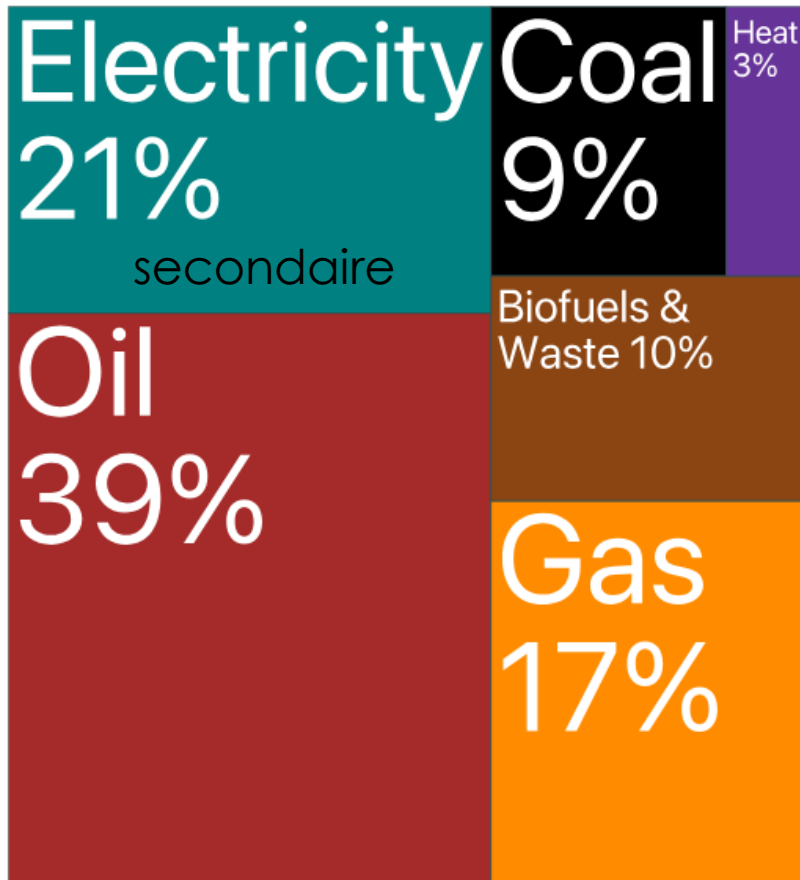
- Augmentation prix
- Distribution de l'énergie

<https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>



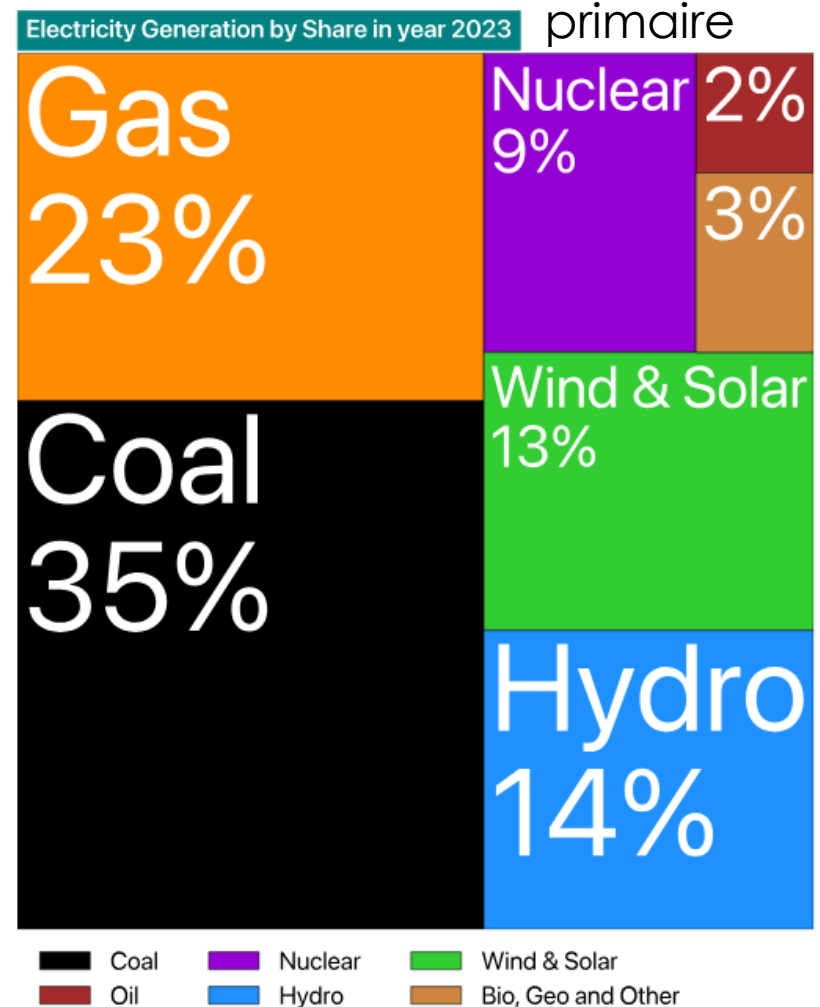
Source de l'Energie...

...que nous consommons (2021)



<https://www.worldenergydata.org/world-energy-trends/>

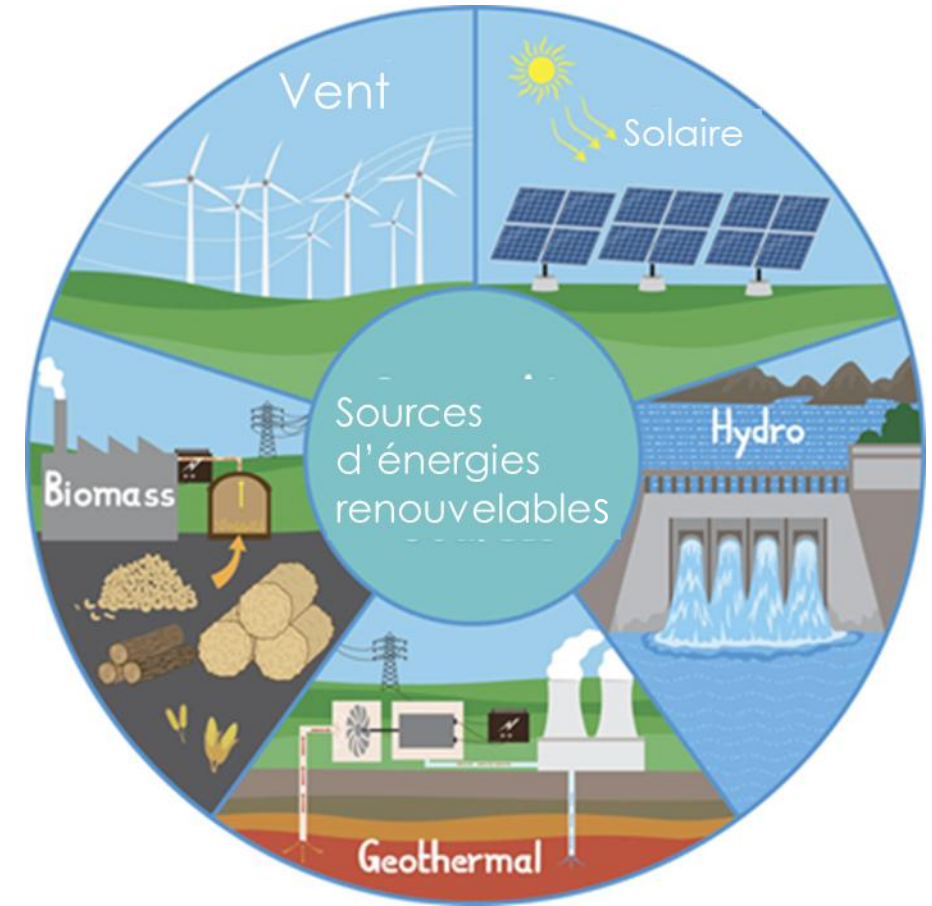
Source de la génération d'électricité



Coal
 Nuclear
 Wind & Solar
 Oil
 Hydro
 Bio, Geo and Other

Récupération des énergies renouvelables (ER)

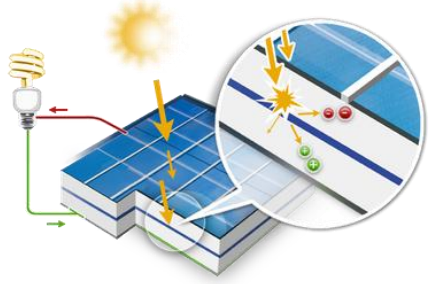
- ER: Inépuisable à l'échelle humaine
 - Temps de re-génération suffisamment court
- Réduction de l'empreinte carbone
 - Aspect matériel
 - Biomasse n'est pas neutre
- Energies issues de :
 - phénomènes physiques nous environnant
 - combustible dont la re-génération est plus rapide que son utilisation



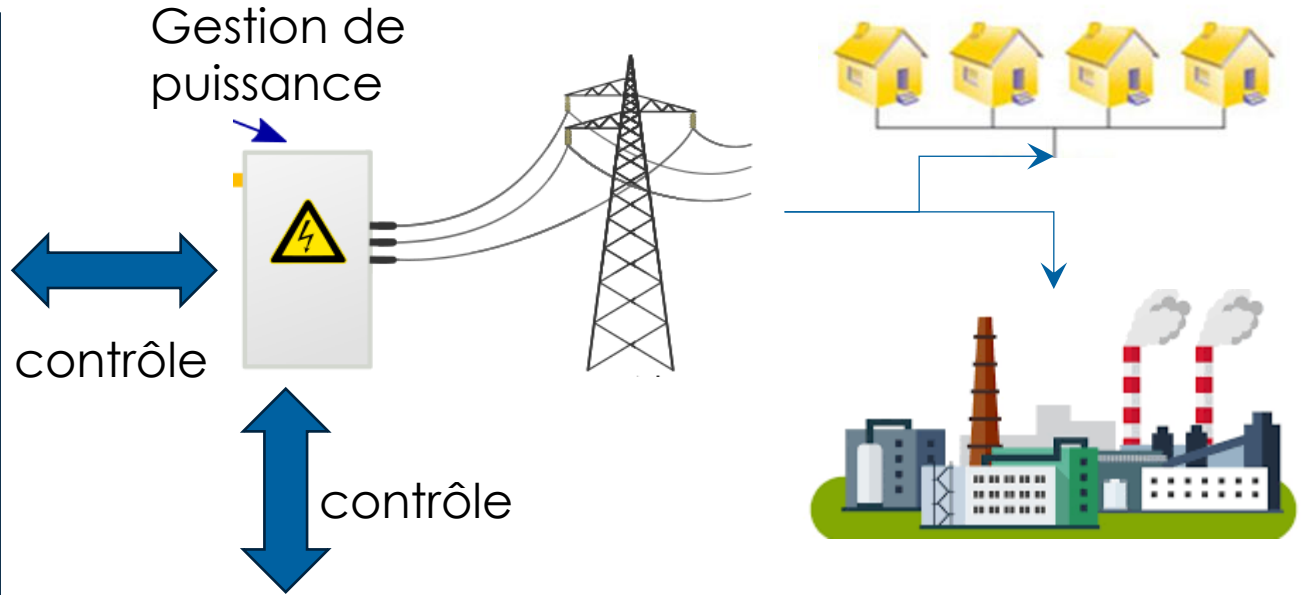
Récupération d'ER pour l'électricité

Effet photovoltaïque

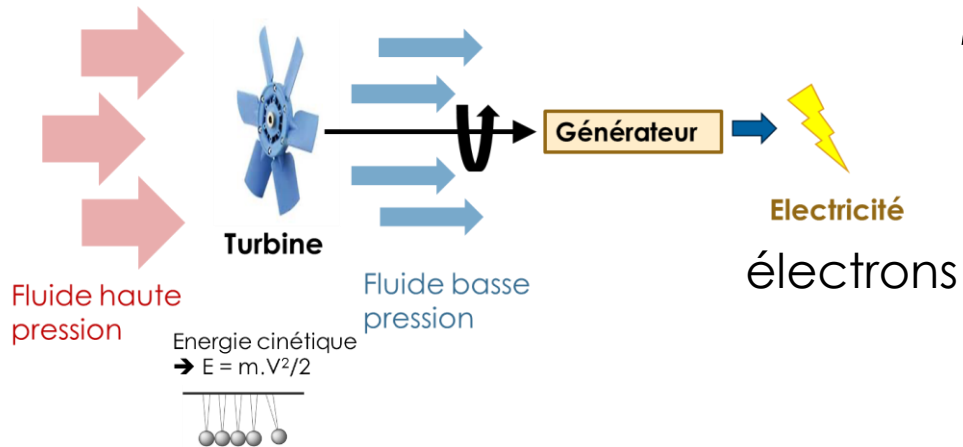
photon (lumière) →
paire d'électron-trou



Energie solaire



Mouvement mécanique



Energie Eolienne



Hydraulique/
Hydrolienne



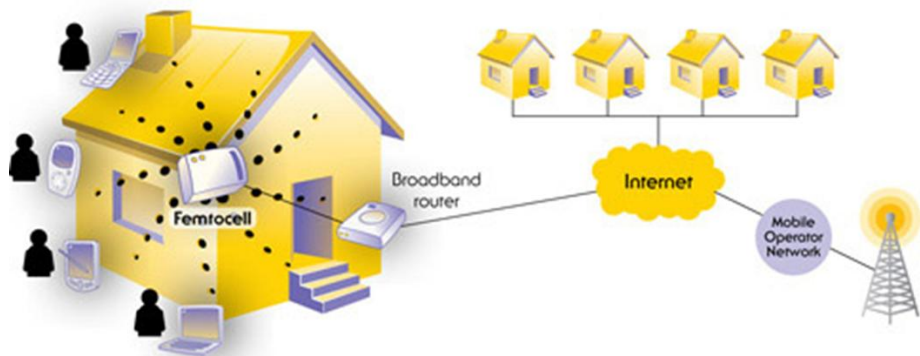
Géothermique



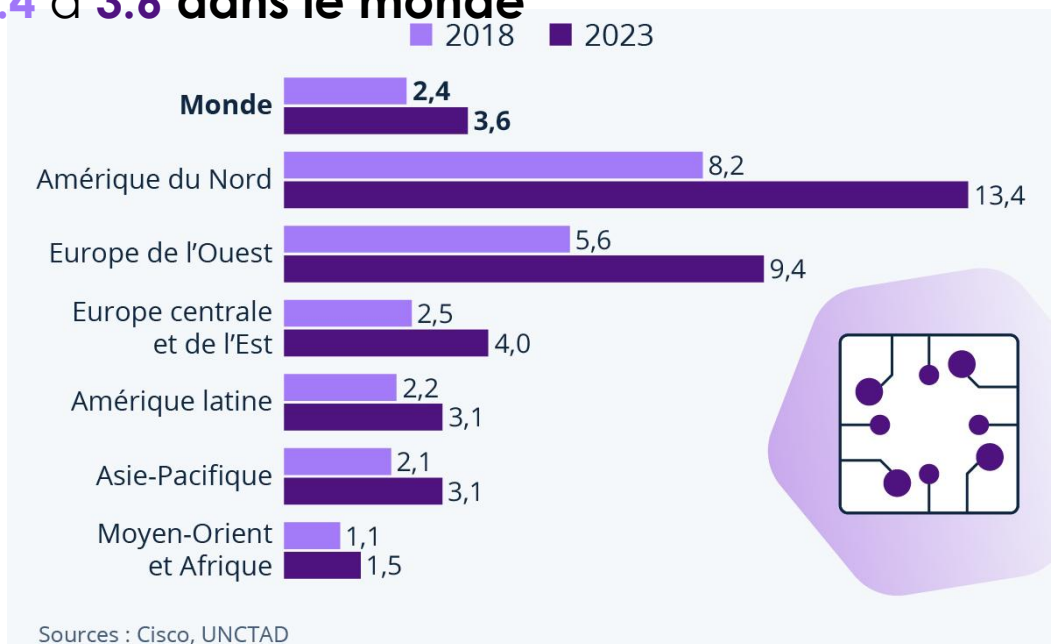
Contenu

- Les Energies Renouvelables
- la ressource insoupçonnée d'un gros consommateur
- Une innovation avec les récupérateurs d'énergie

Le numérique dans notre quotidien : objets connectés, IoT, Smart city, Edge



Nombre moyen d'objet connecté par personnes
2.4 à 3.6 dans le monde

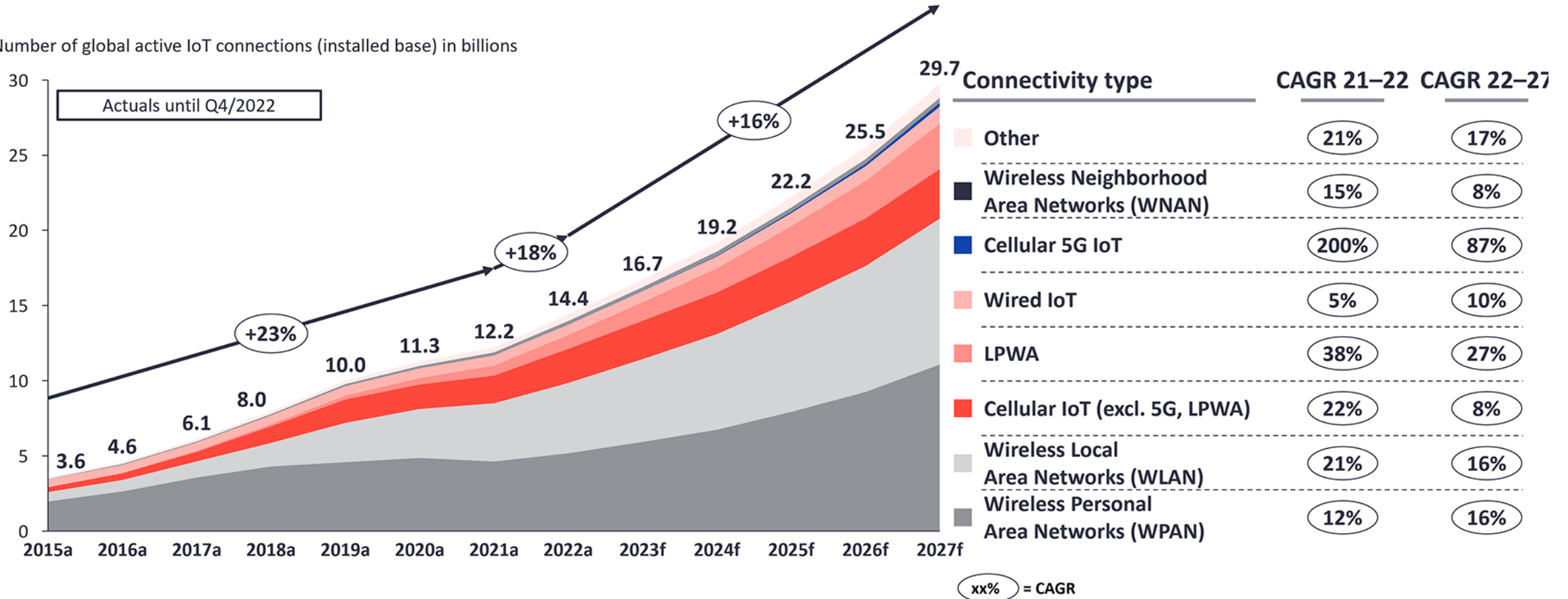


<https://fr.statista.com/infographie/32734/nombre-moyen-appareils-connectes-par-habitant-dans-les-regions-du-monde/#:~:text=Les%20données%20du%20rapport%20annuel,4%20à%20203%2C6%20entre>

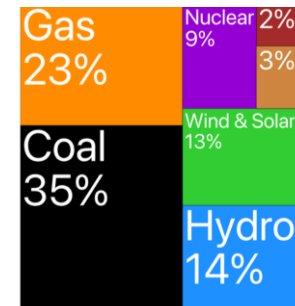
Dispositif IoT : presque 20 Milliard


Global IoT market forecast (in billions of connected IoT devices)

Number of global active IoT connections (installed base) in billions

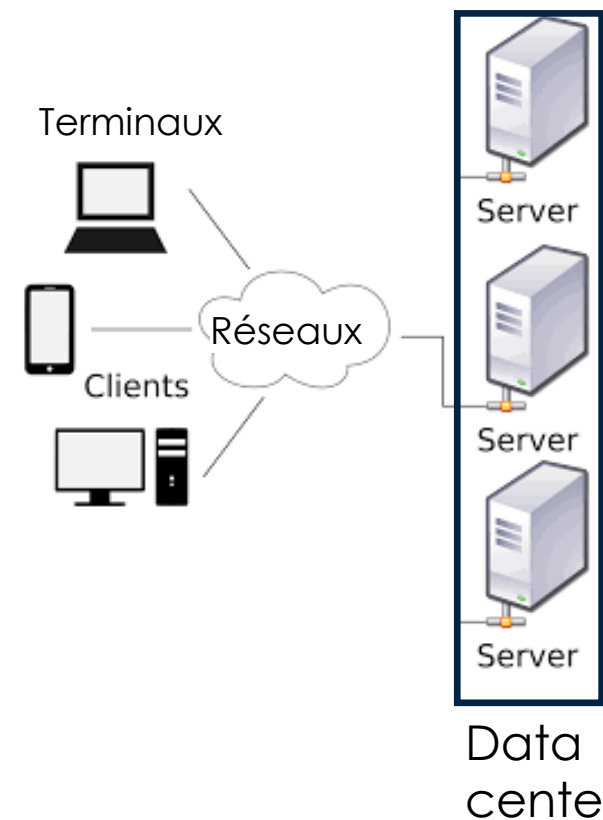


Le défi du numérique

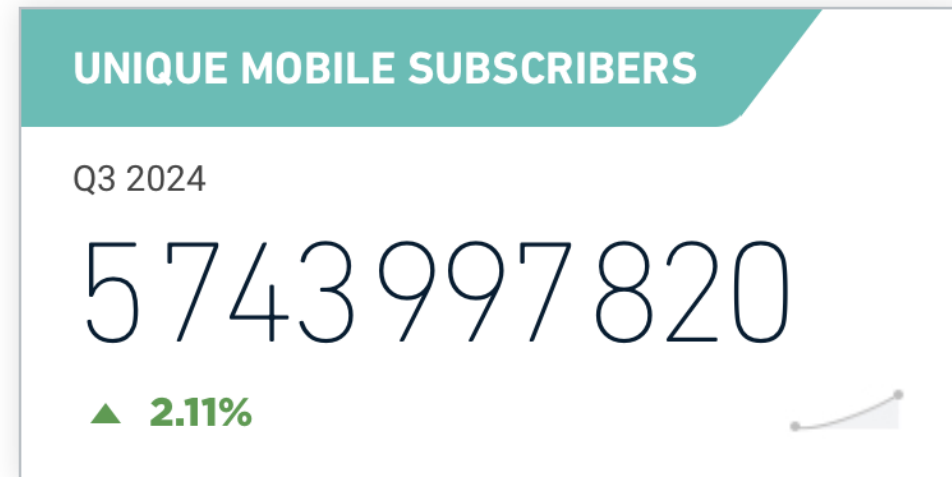
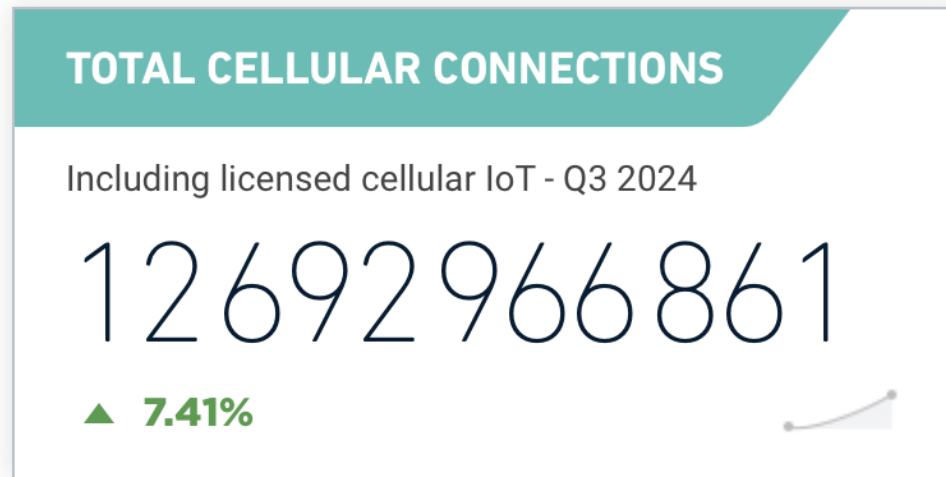


 PE balance	Industrie	Particuliers	Total
Terminaux	30%	30%	60%
Réseau	3%	20%	23%
Data centres	2%	15%	17%
	35%	65%	

Primary energy balance 2019



L'exemple du smartphone au 16/09/2024



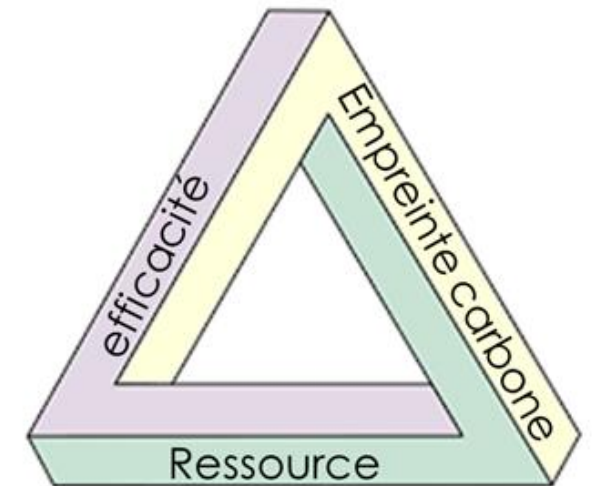
<https://www.gsmainelligence.com/data/>

- 12.6 Milliard de téléphones mobiles connectés
- 25% de l'énergie mondiale consommé par an (approx.)
 - 1 smartphone = 3.65kWh par an en moy → 30+ TWh à date (approx.)

➤ Sans parler des ressources matérielles... frugalité numérique, autre présentation

Technologie numérique : besoin énergétique critique

- Réduire l'**empreinte carbone** des sources primaire et secondaire
 - tx_CO2/Toe plus faible
 - Sources primaires produisant le moins possible de CO2
- **Ressource** dimensionnée au besoin ou inépuisable à l'échelle de nos utilisations (libre)
 - Source d'Energie Renouvelable
- Augmenter l'**efficacité**
 - meilleure gestion de la puissance → contrôle
 - Réduire les pertes → décentraliser l'accès

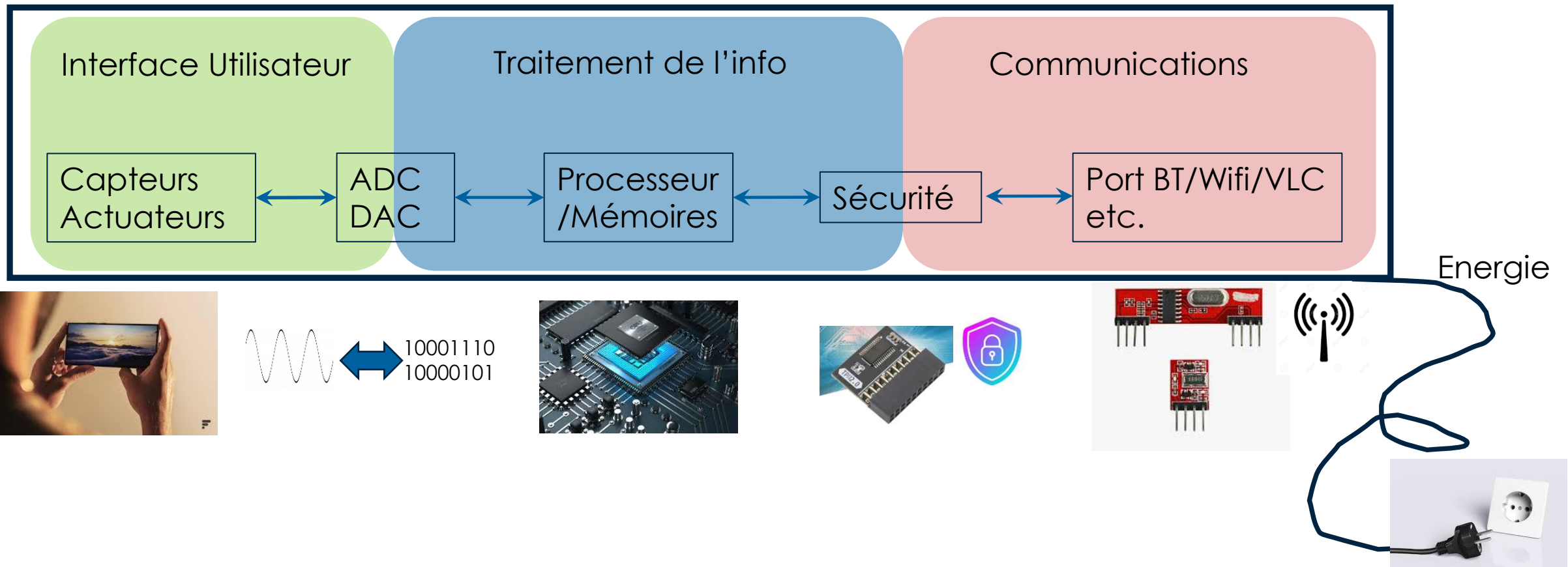


Contenu

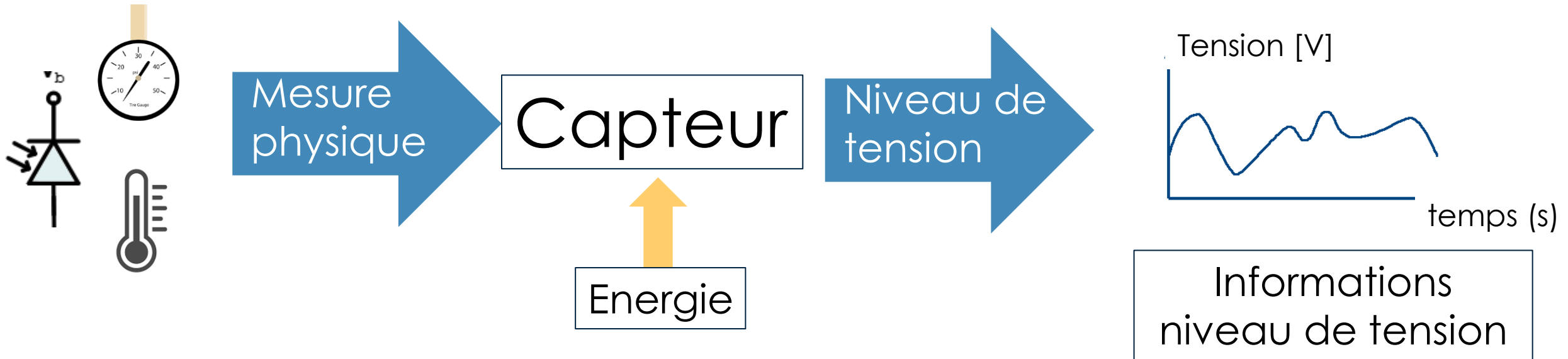
- Les Energies Renouvelables
- Le numérique mis au défi
- Une innovation avec les récupérateurs d'énergies

Anatomie d'objet connecté

Systeme complexe combinant:
Computation, com, capteur/actuateur, sécurité et gestion de puissance

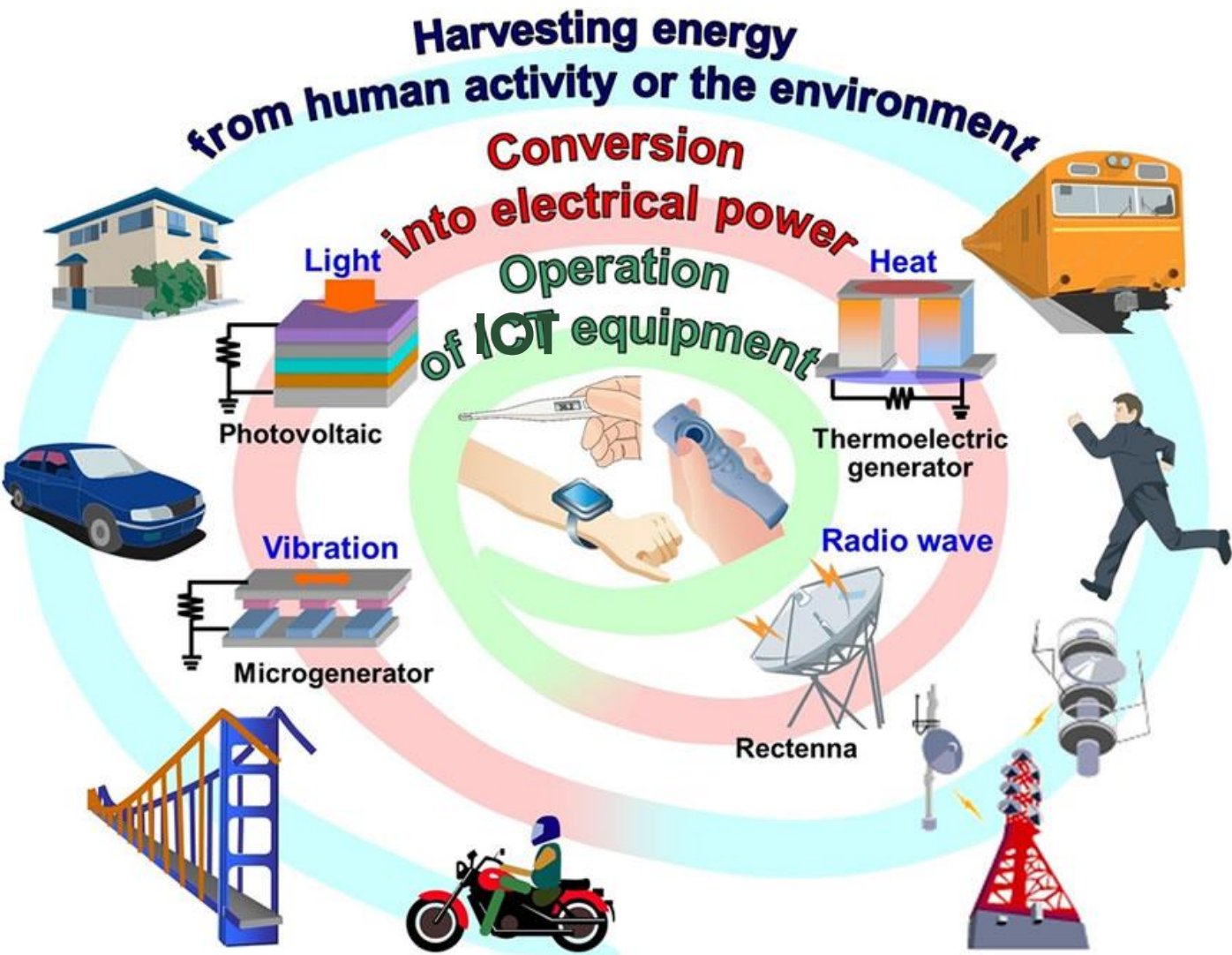


Les capteurs → récupérateur d'énergie

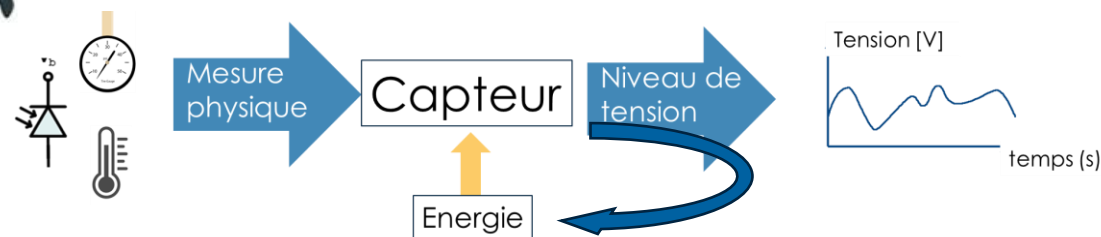


- Toutes grandeurs physiques → niveau de tension électrique $U = RI$
- Possible d'en « récupérer de l'énergie électrique » → puissance $P = UI$

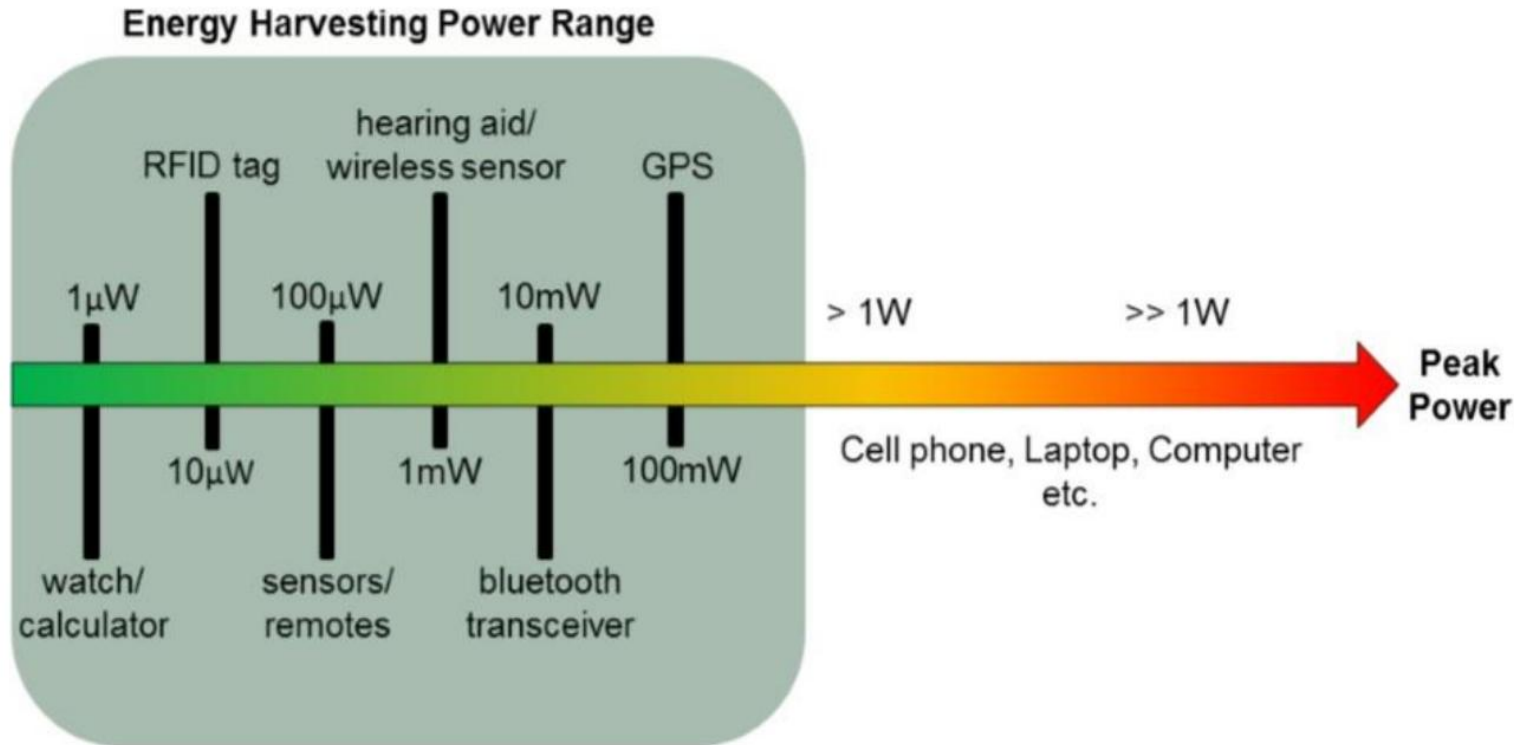
Alimenter les objets numériques avec l'activité humaine & son environnement



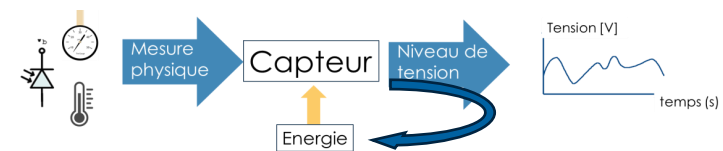
- Photoélectrique
- Piézoélectrique
- Thermoélectrique
- Onde EM



Contexte d'applications

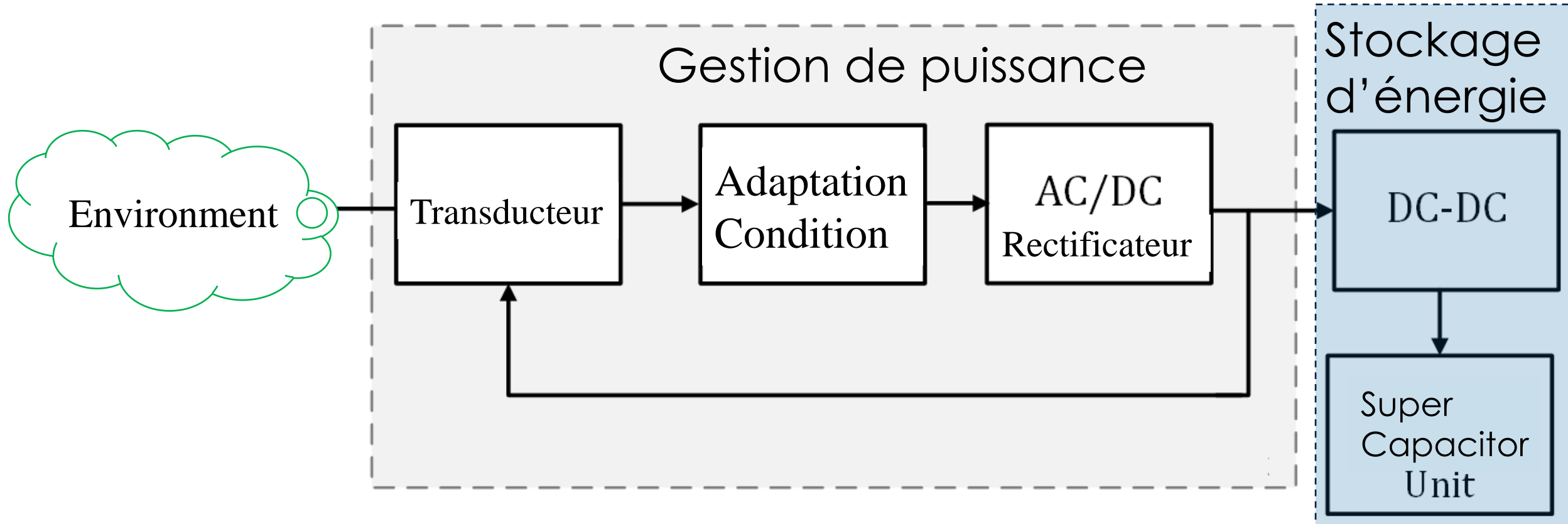


- Récupérateurs d'énergie à l'échelle micro
- Applications: partie d'IoT, RFID, biomedical devices (etc)
- Objets numériques de basse puissance
- La batterie fait de ressources polluantes est remplacée par un super condensateur

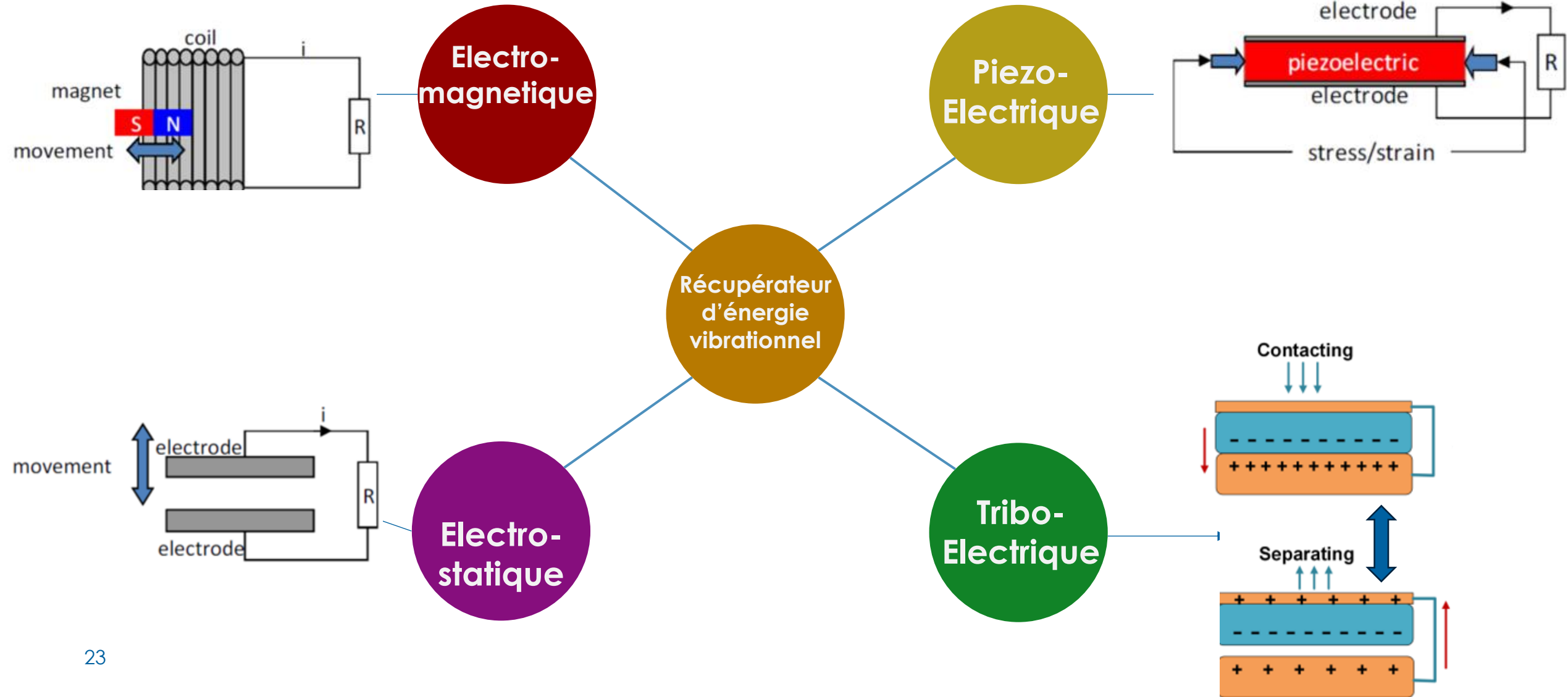


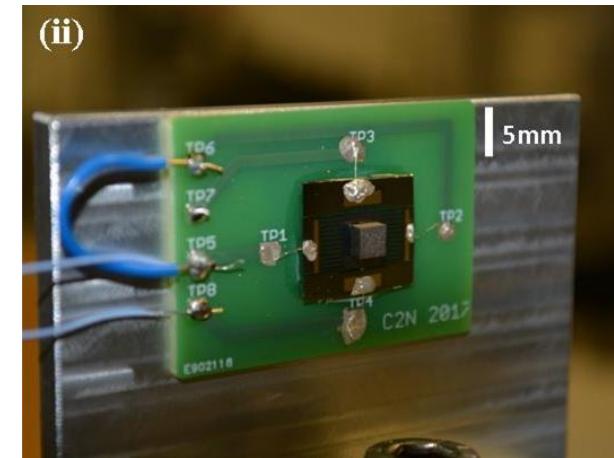
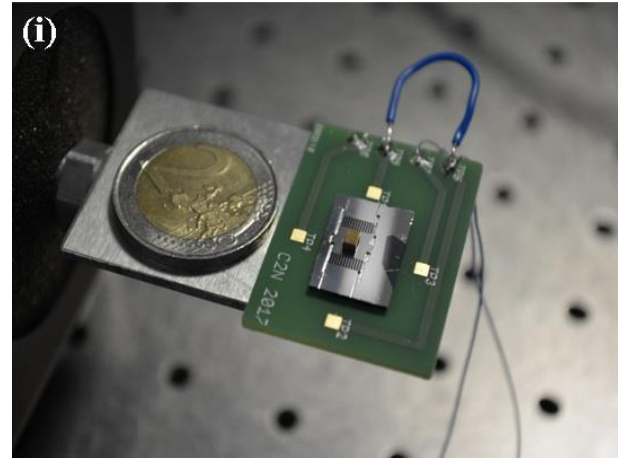
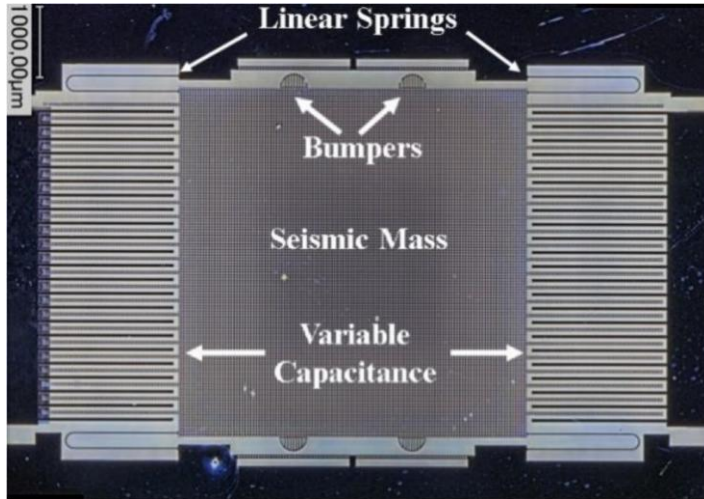
Récupérateur d'énergie intégrés

- Puissance électrique de notre environnement
 - Sources: chaleur, **Vibration**, Lumière, Onde **EM** etc.



Capteur MEMS de type vibrationnel



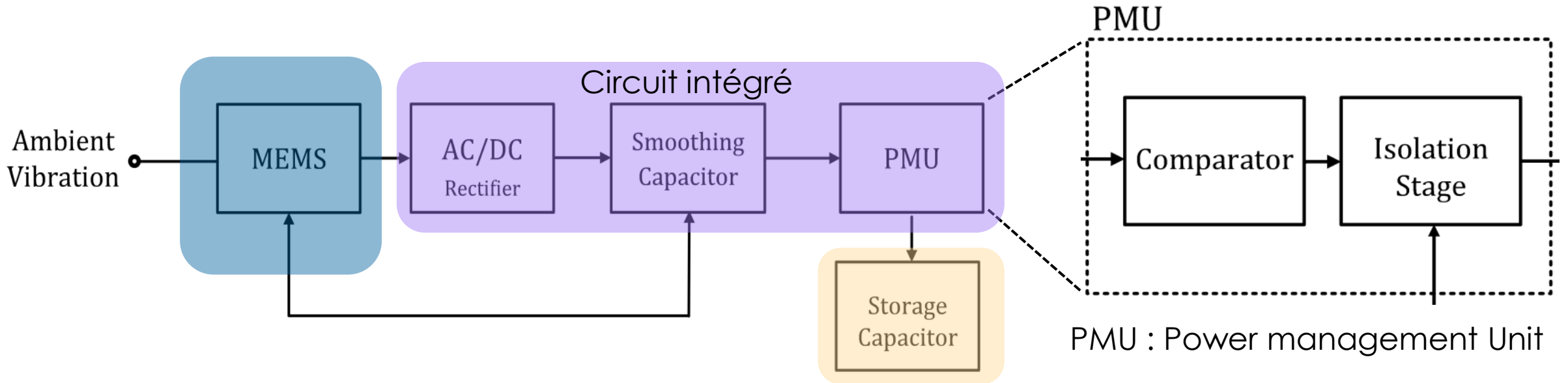


Parameters	Design Values
Gap (G)	50 μm
Length (L)	1.89 mm
Number of Teeth N	46
Mass (M)	0.15g
Thickness of the device	200 μm

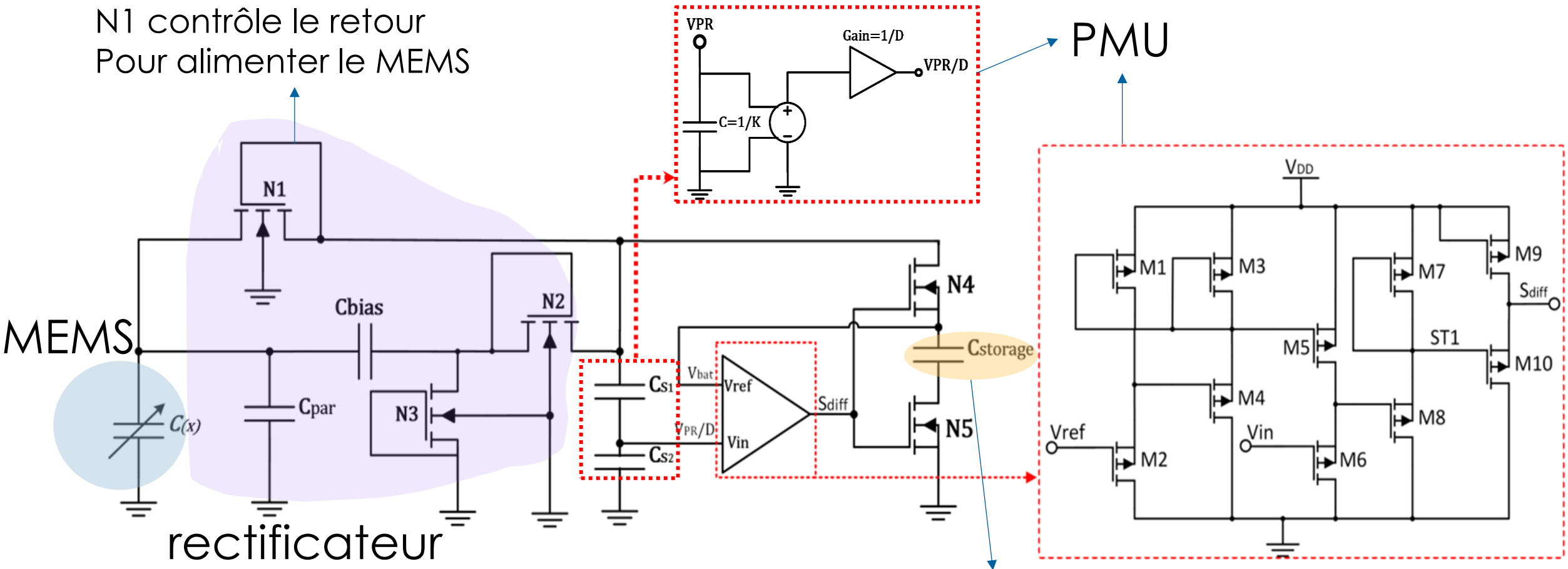
Bogdan Vysotskyi, "Electrostatic MEMS vibrational energy harvester with large bandwidth for biomedical applications", Micro and nanotechnologies/Microelectronics. Université Paris Saclay (COMUE), 2018

Implementation du RE intégré

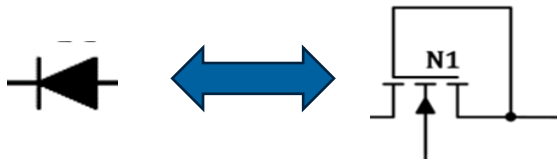
Défi d'une hétéro-intégration, implémenter ensemble:



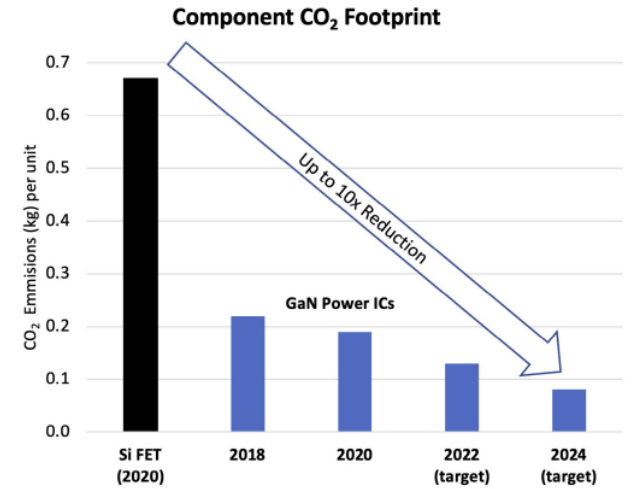
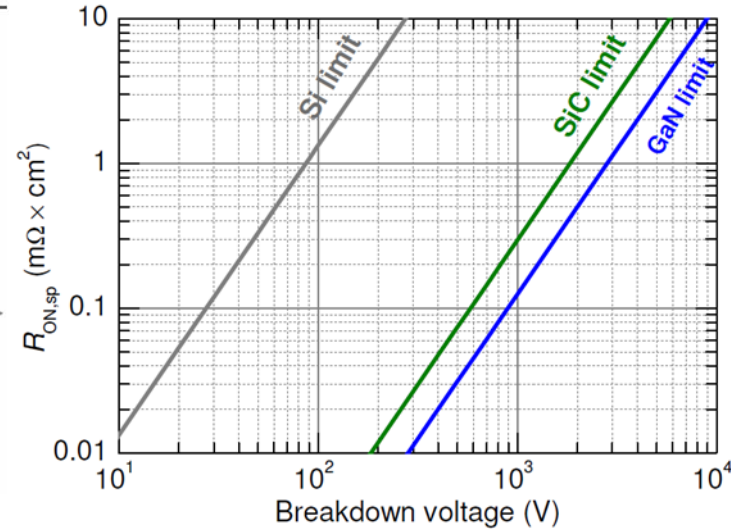
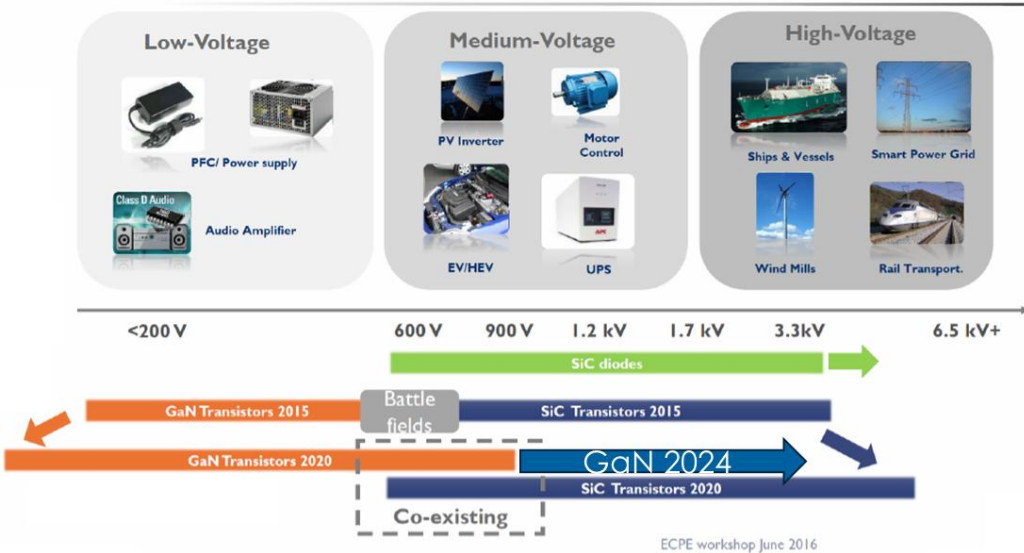
N1 contrôle le retour
Pour alimenter le MEMS



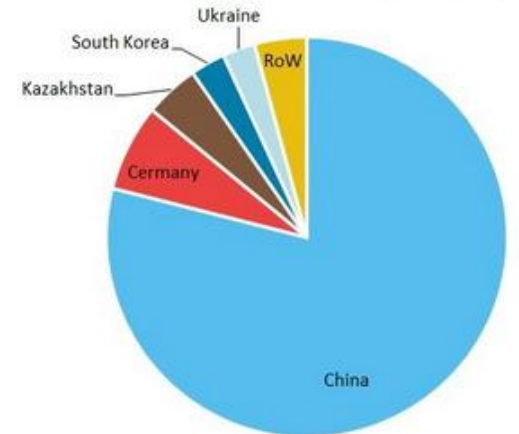
Stock l'énergie avant de l'injecter
dans le système à alimenter



Technologie Silicium vs. GaN

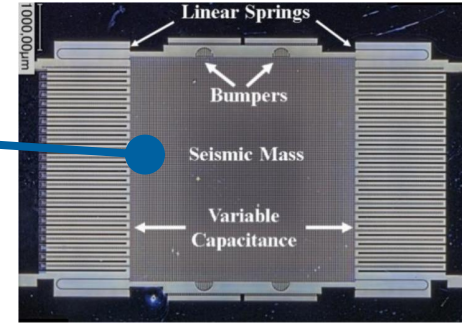
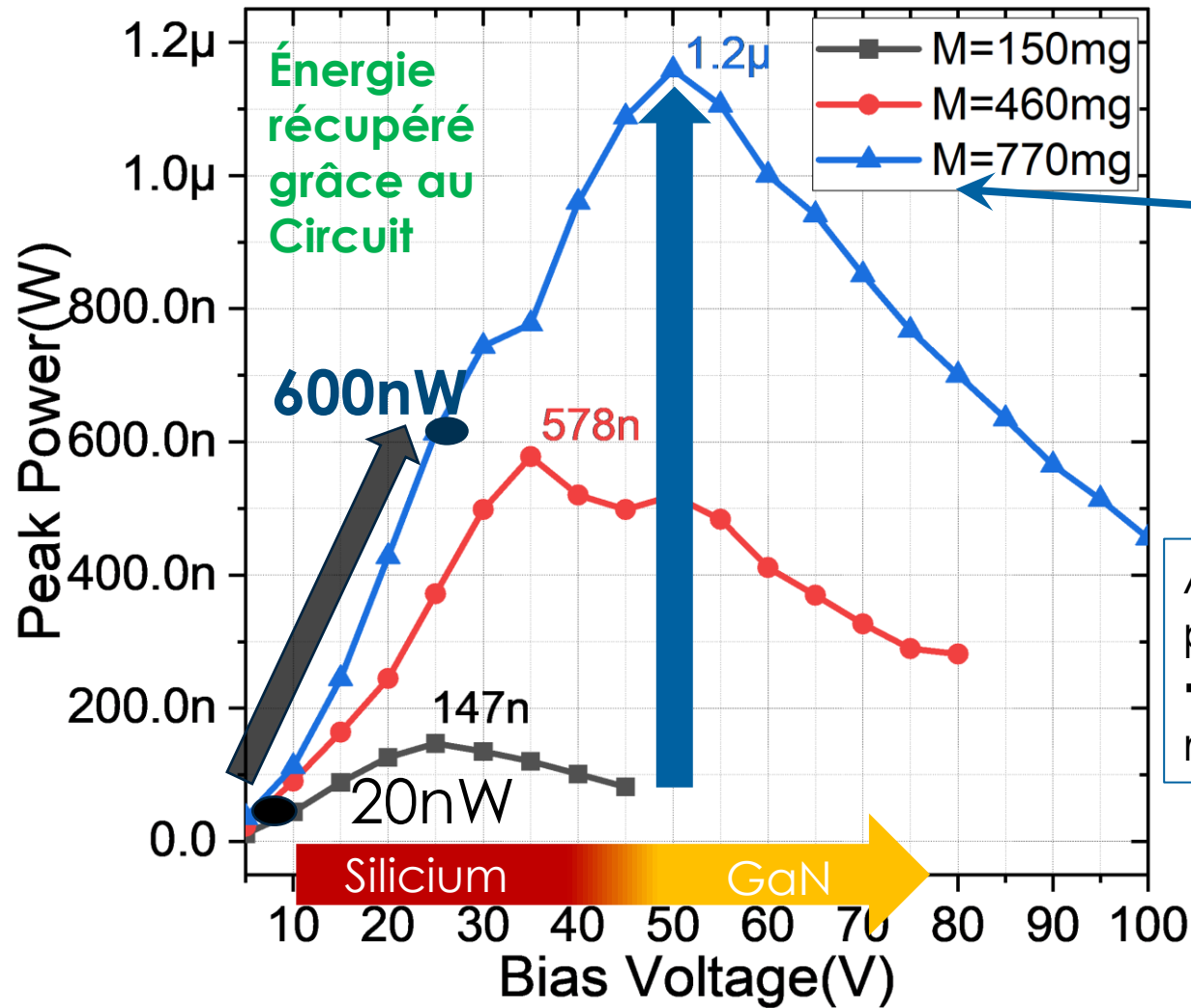


Estimated Global Gallium Capacity by Country



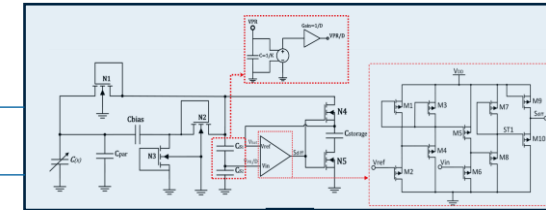
Dépend du niveau de tension de fonctionnement visé

Resultats des performances et limitation actuelle du système



MEMS

Circuit Intégré

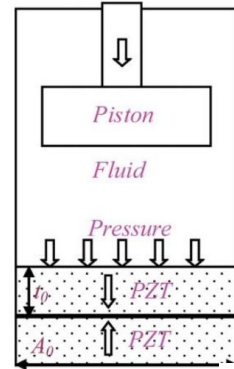


Dispositif à alimenter

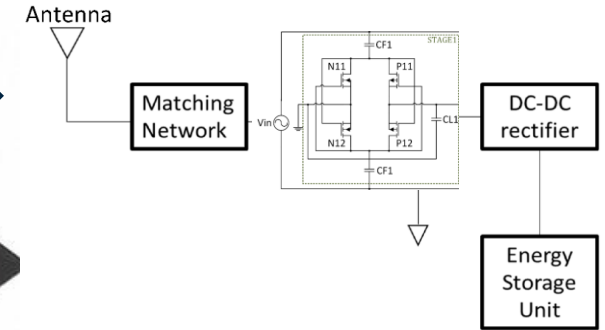
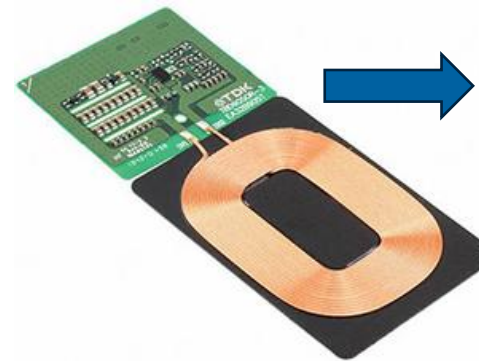
Augmentation puissance récupérée
→ Augmentation de la masse inertielle

Augmentation de la polarisation (bias): Si → GaN

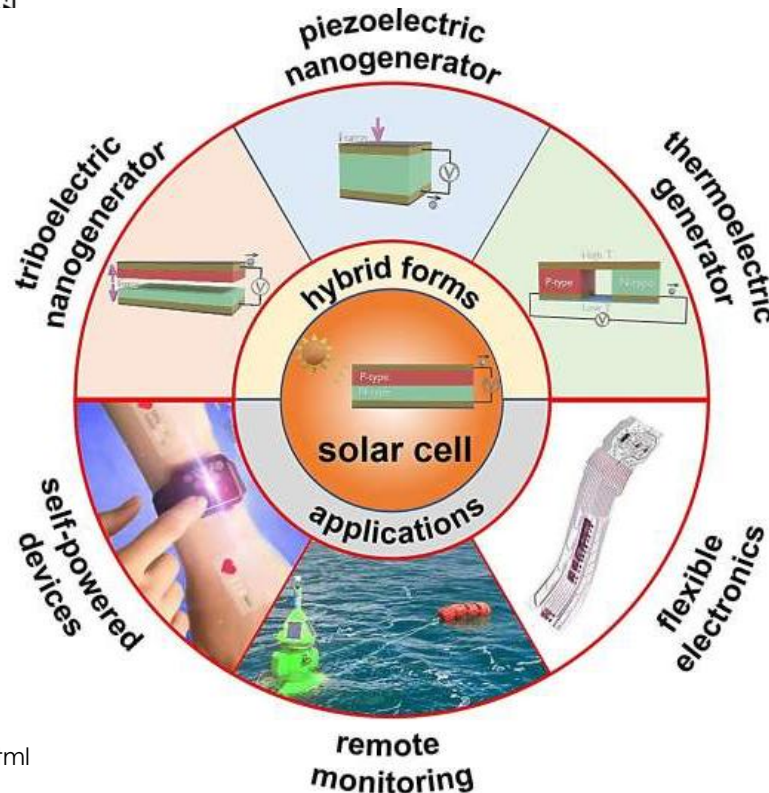
Autres types d'innovation possible



Element piezo (PZT) récupère de l'énergie



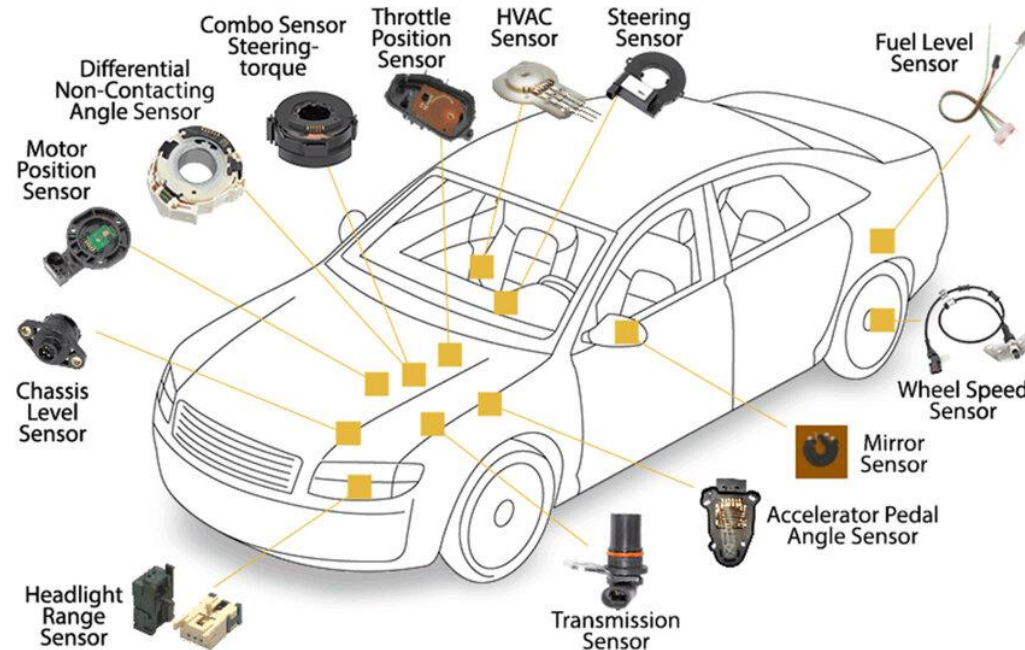
L'antenne récupère de l'énergie



Récupérateurs intégré hybride : PV + Piezo

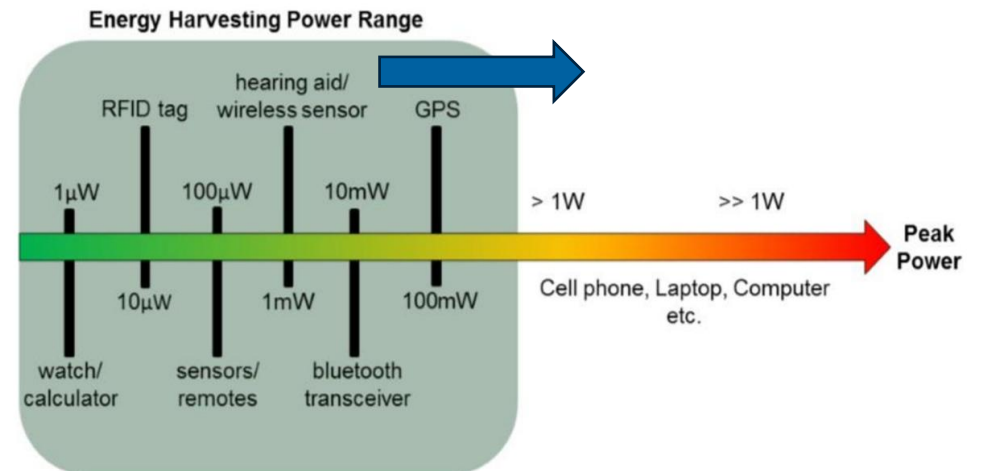
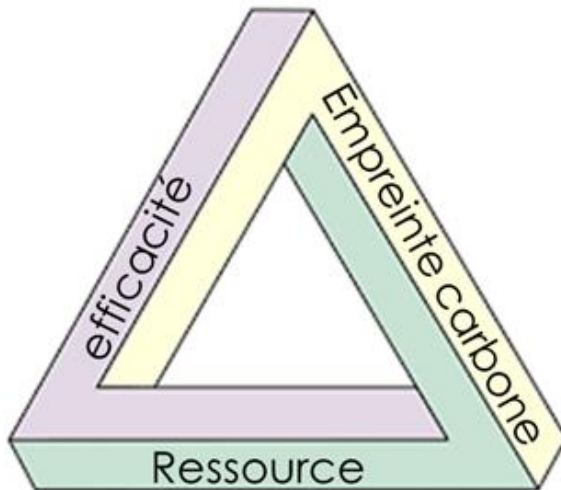
Généralisons l'utilisation des Récupérateurs d'énergie !

- Perspective technologique pour les récupérateurs d'énergie
 - Source d'alimentation des dispositifs numériques stratégique
 - Prendre avantage des capteurs
 - les unifier autour d'un CI pour leur gestion de puissance



Conclusion

- Les énergies renouvelables sont « à portée de main »
- Les capteurs → récupérateurs d'énergie
- L'intégration système autour de techno performante (ex. GaN)
- Technologie en plein essor !
- Généralisation → consommation des dispositifs numériques en partie prise en charge par les ER (primaire)



**MERCI à toutes et tous
pour votre attention !!!
Questions ?**

www.isep.fr