



Spintronique

Pierre Hanania

Olivier Landon-Cardinal



Spintronique

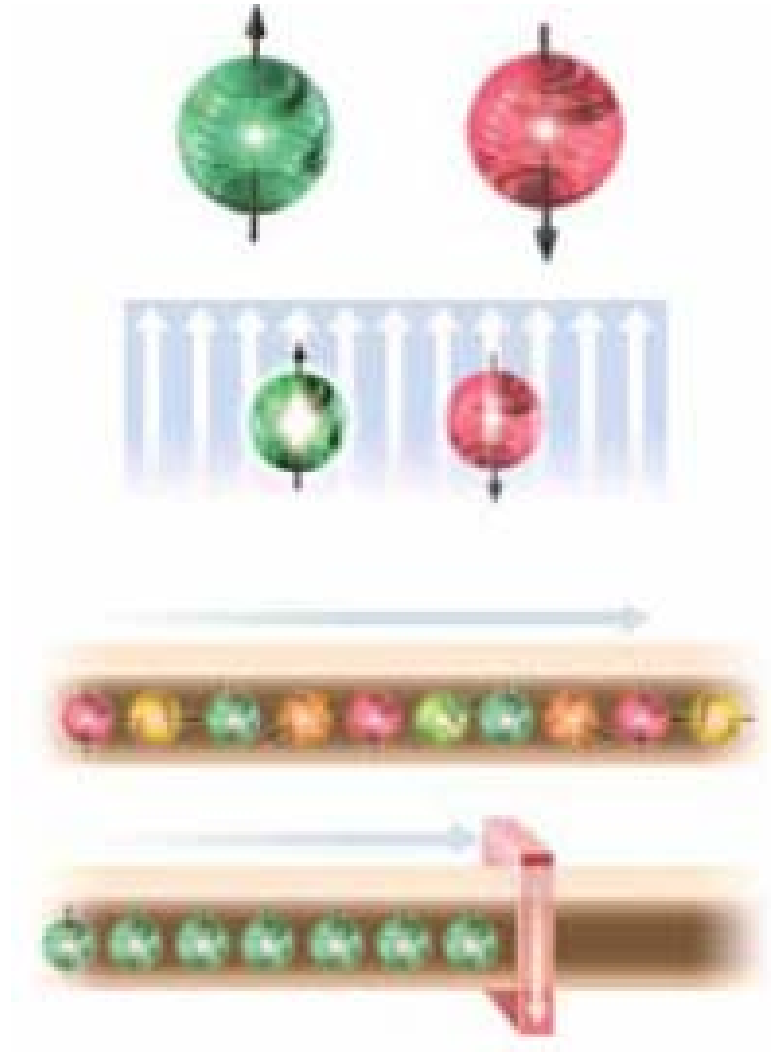
- Introduction
- Magnéto-résistance
- Courant de spin
- Spintronique et semiconducteurs

Introduction

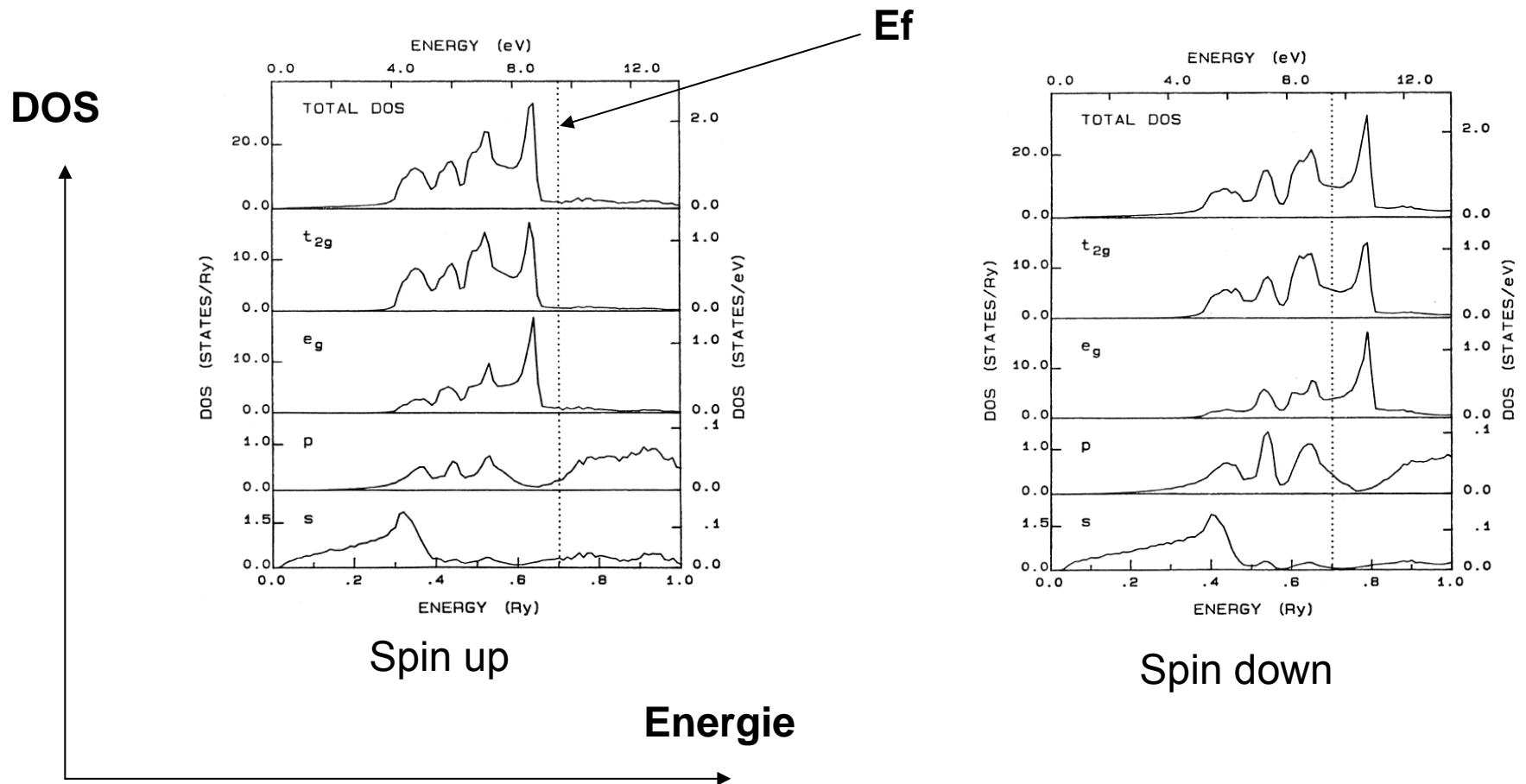
- Idée de base

L'électron, en plus de sa charge, possède une autre propriété intrinsèque: le spin.

Comment celui-ci peut-il être mis à profit en électronique?



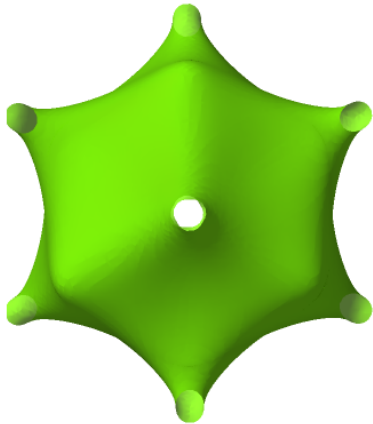
Influence du spin sur la mobilité électronique: exemple du Co



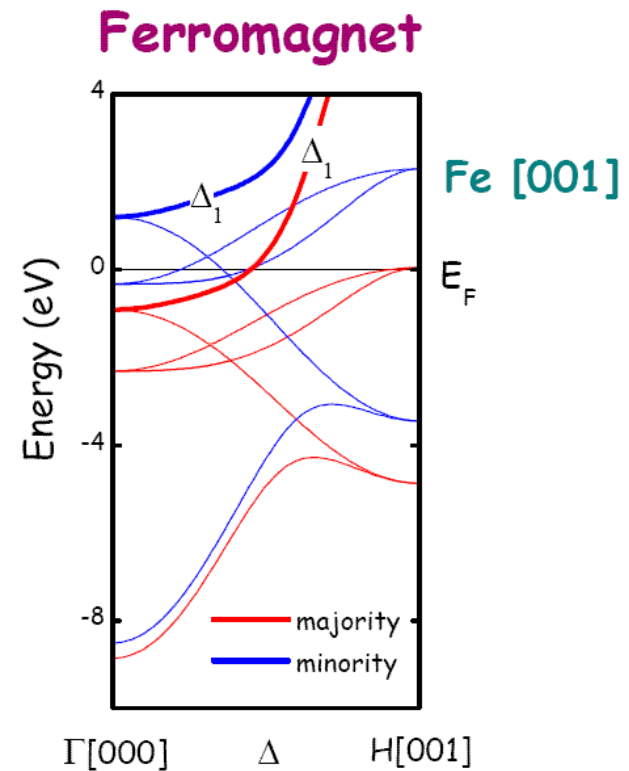
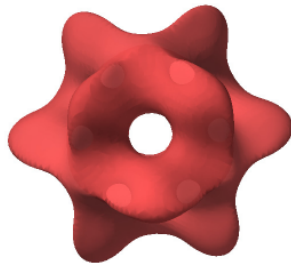
Influence du spin sur la mobilité électronique

Fermi surface of bulk fcc Co
along [111] direction

Majority spin



Minority spin



Interaction d'échange

- Principe de Pauli: 2 fermions ne peuvent être dans le même état quantique (orbital+spin)

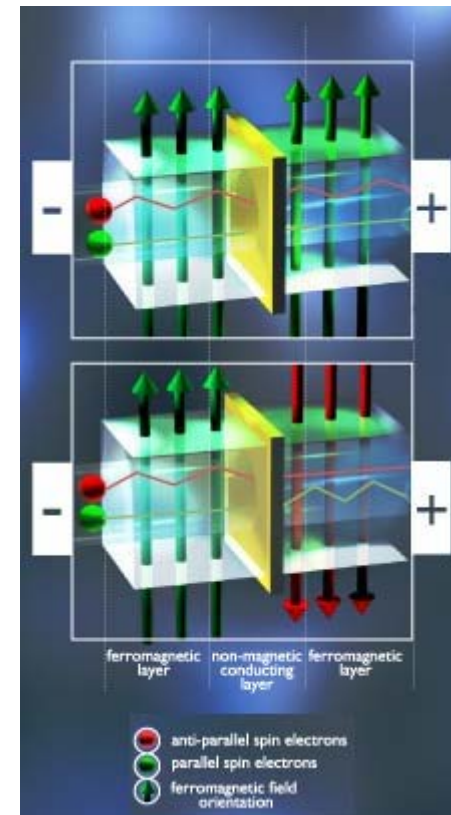
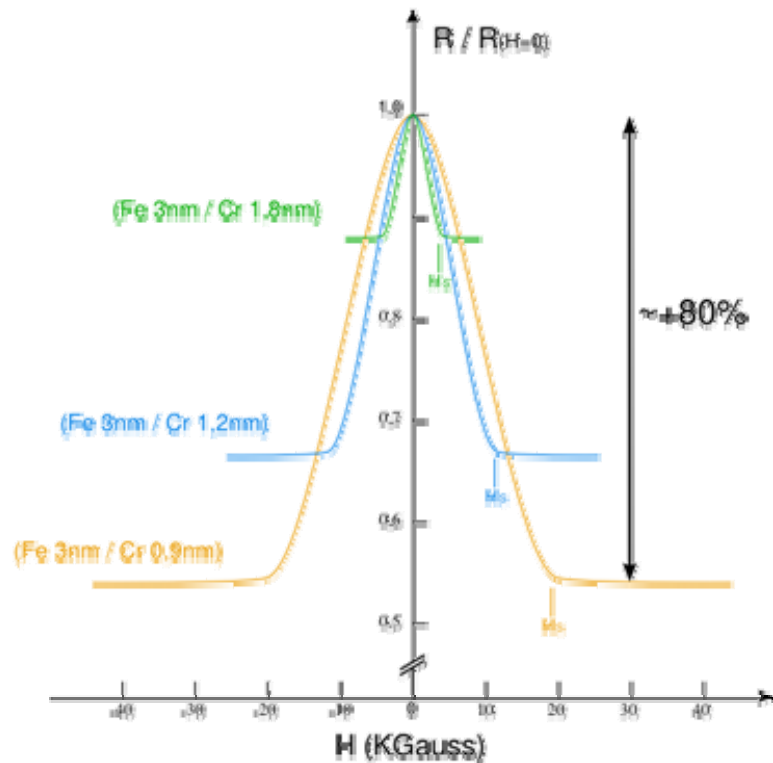
$\uparrow\uparrow$ « interaction répulsive »

$\uparrow\downarrow$ « interaction attractive »

Magnéto-résistance

- Effet GMR et valve à spin
- Jonction tunnel magnétique
- Mémoire vive MRAM

Effet GMR (Giant MagnetoResistance)



Valve à spin (VS)

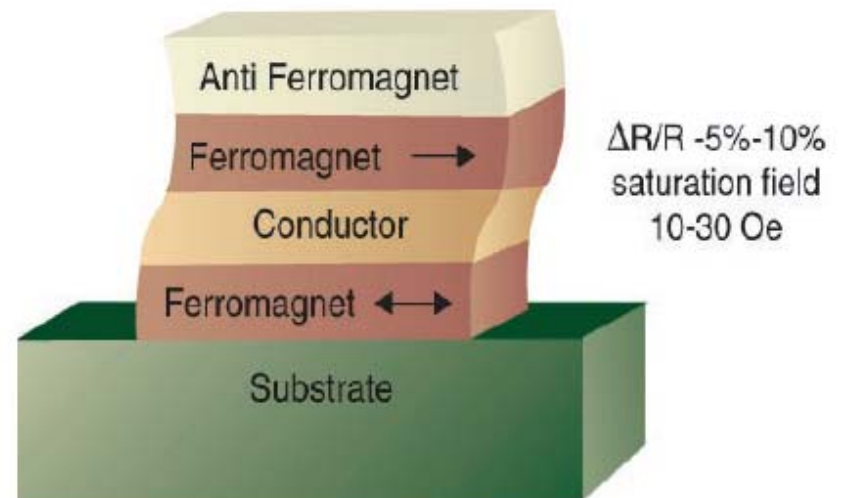
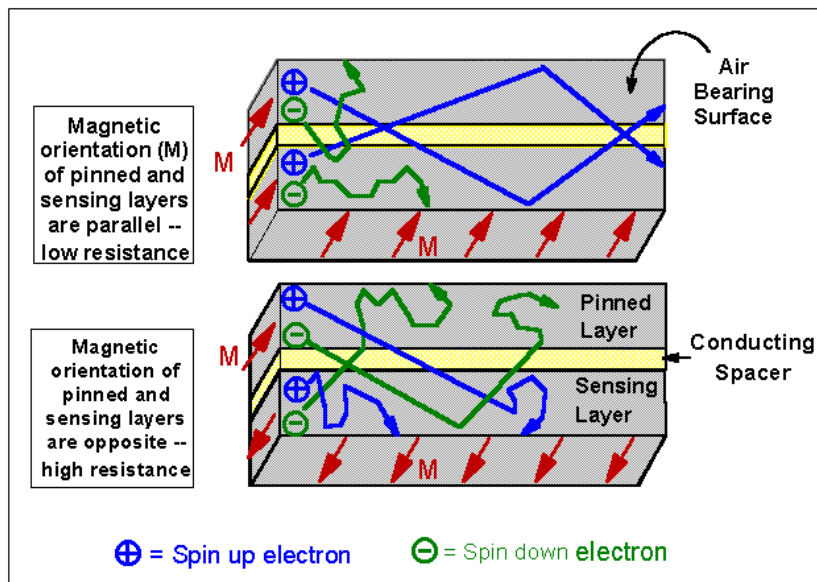


Figure 8. GMR sensor basics

Valve à spin (VS)

- 1997: 0,15 Gb/cm²
- 2005: 13 Gb/cm²

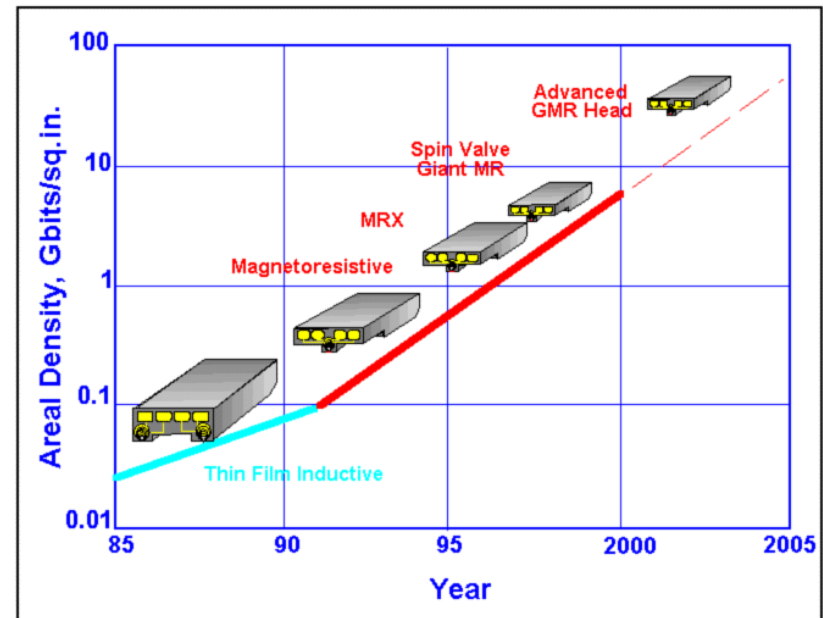


Figure 10. Magnetic head evolution

Jonction tunnel magnétique

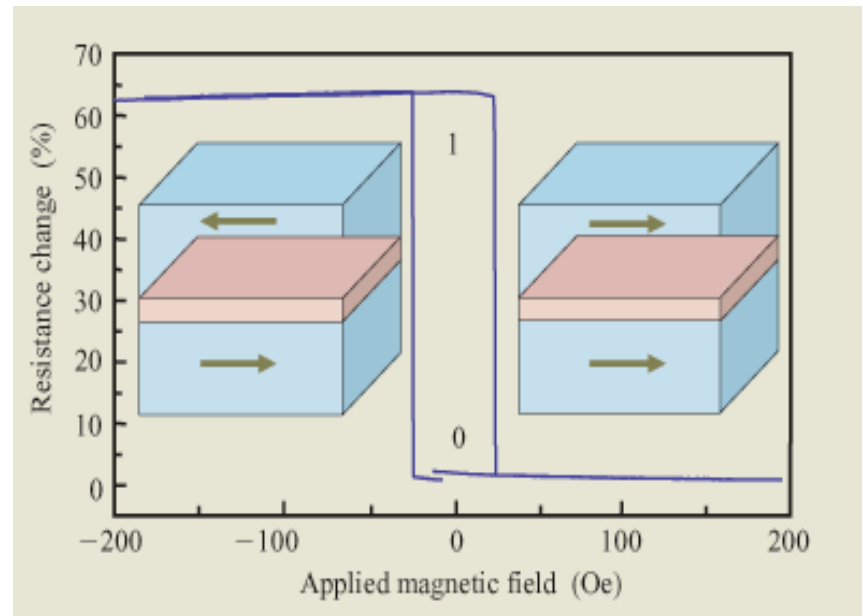
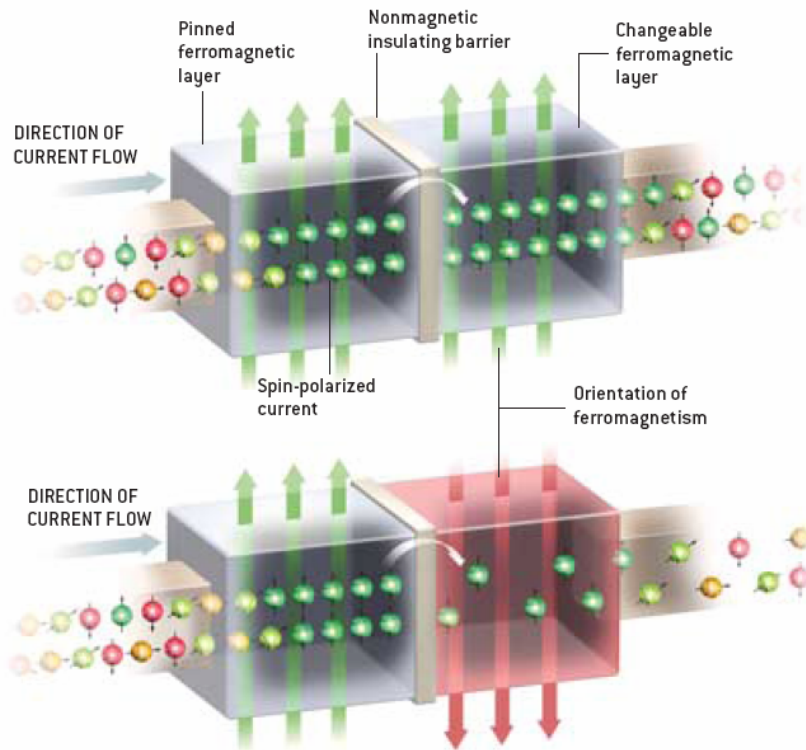


Figure 2

MTJ device switching.

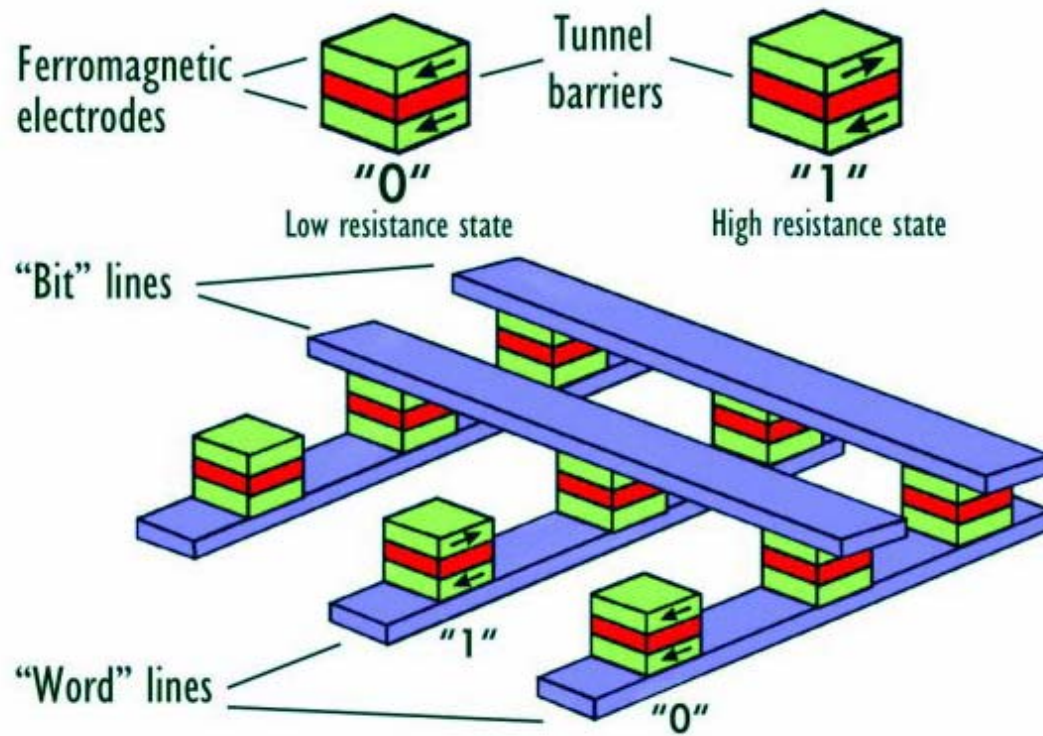
Mémoire vive

- DRAM (dynamic random access memory)
Compacité
- SRAM (static random access memory)
Vitesse
- Mémoire Flash
Non-volatilité

Mémoire vive

	SRAM	DRAM	Flash	FeRAM	MRAM
Read Speed	Fast	Medium	Medium	Medium	Fast
Write Speed	Fast	Medium	Slow	Medium	Fast
Array Efficiency	High	High	Med/Low	Medium	High
Future Scalability	Good	Limited	Limited	Limited	Good
Cell Density	Low	High	Medium	Medium	Med/High
Non-volatility	No	No	Yes	Yes	Yes
Endurance	Infinite	Infinite	Limited	Limited	Infinite
Cell Leakage	Low/High	High	Low	Low	Low
Low Voltage	Yes	Limited	Limited	Limited	Yes
Complexity	Low	Medium	Medium	Medium	Medium

MRAM

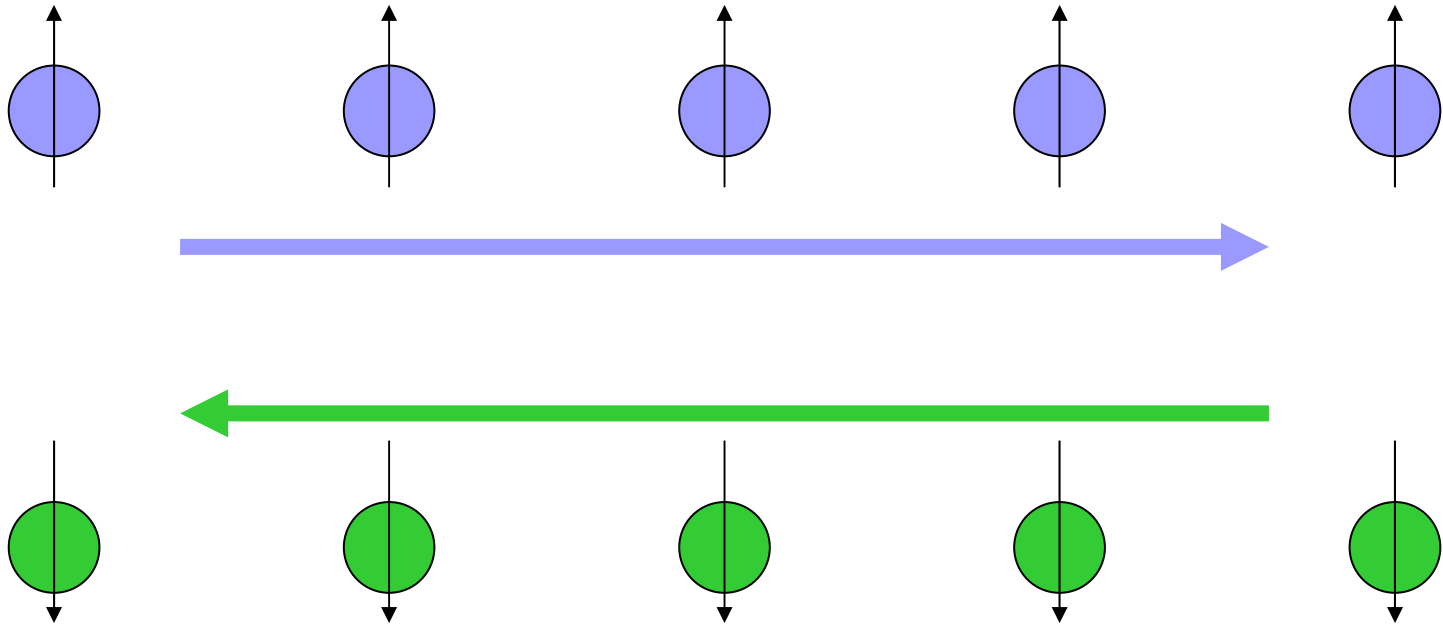




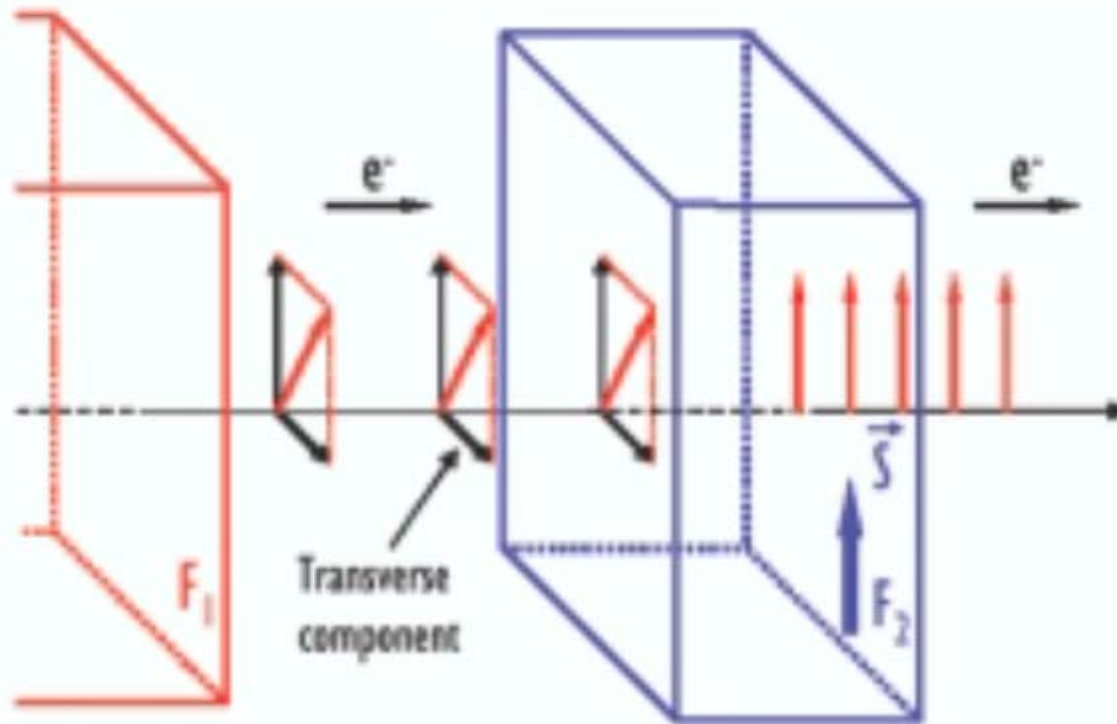
Courant de spin

- Spin pumping
- Transfert de spin: filtre

Spin pumping



Transfert de spin: filtre





Spintronique et semiconducteur

- Intégration: utiliser toutes les techniques de l'électronique actuelle
- Intérêt pour des fonctions électroniques de bases

Source de décohérence

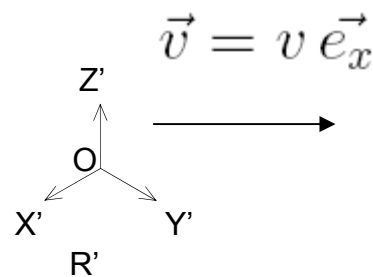
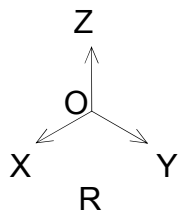
- Échange de spin électron-trou

- Couplage spin-orbite

$$W_{SO} = -\frac{1}{2} \frac{1}{c^2} \vec{M}_S \cdot (\vec{E} \wedge \vec{v})$$

$$\vec{M}_S = 2 \frac{\mu_B}{\hbar} \vec{S}$$

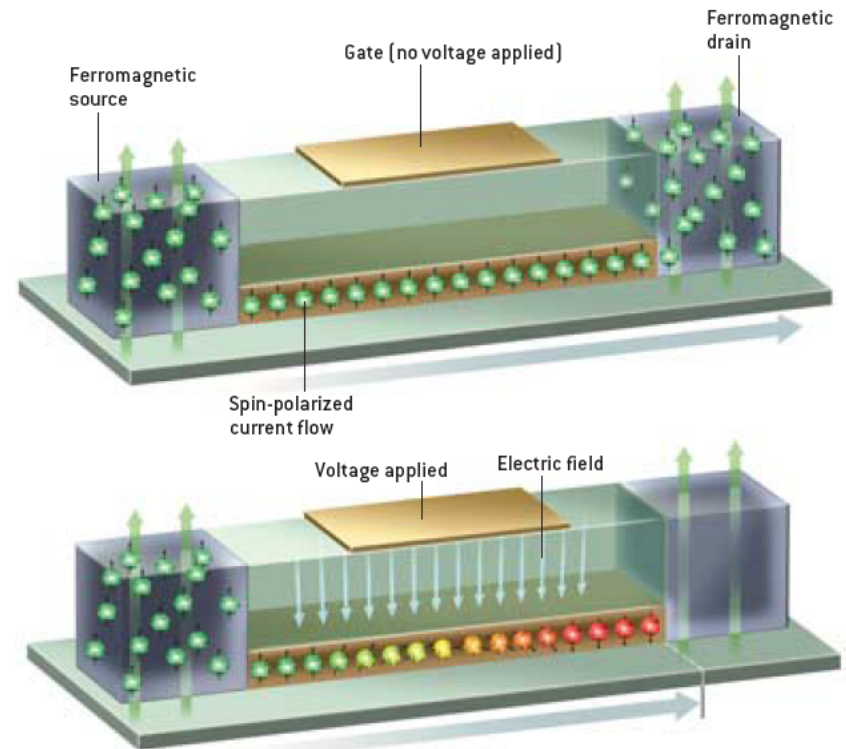
Changement de référentiel



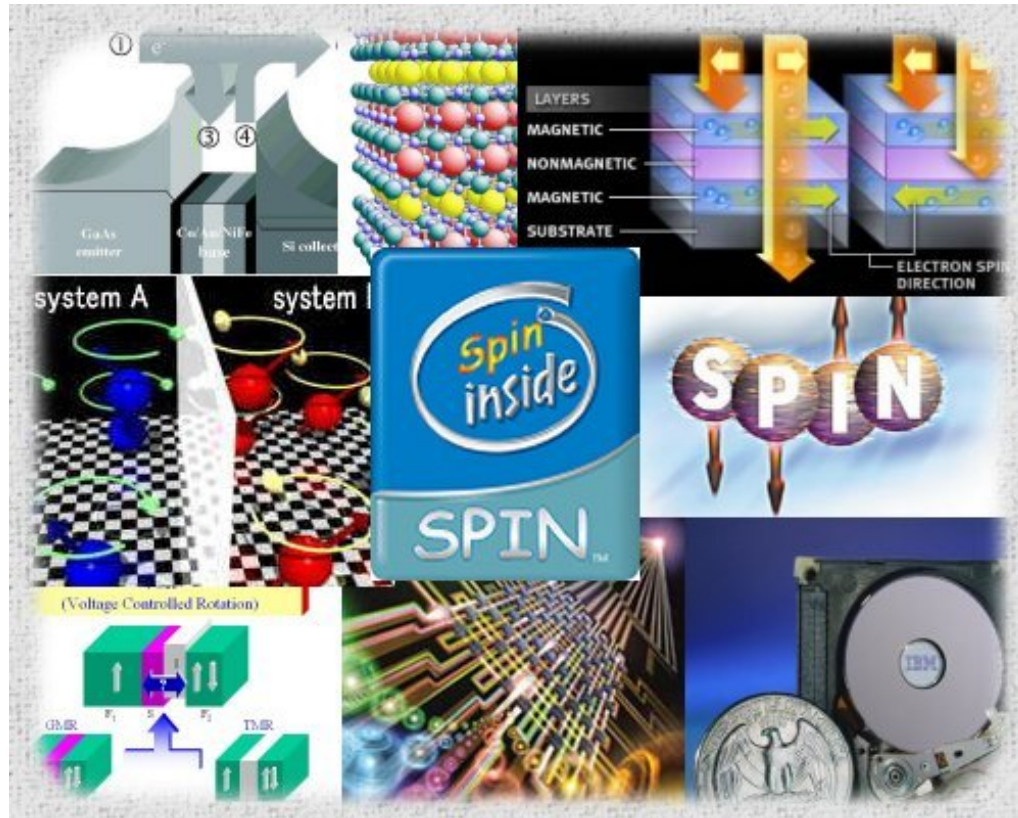
$$\vec{B}' \approx \frac{1}{c^2} \vec{E} \wedge \vec{v}$$

Transistor à spin

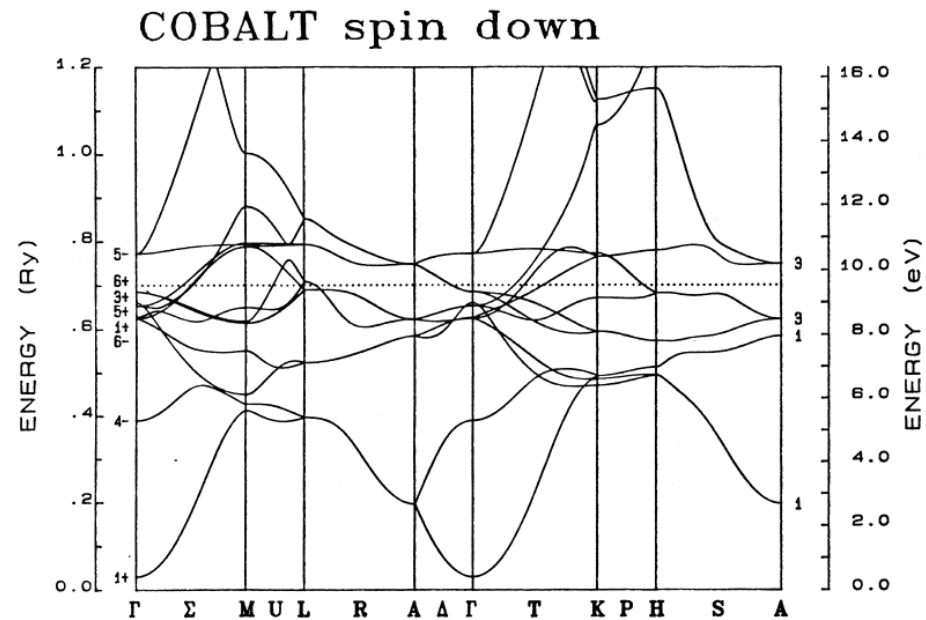
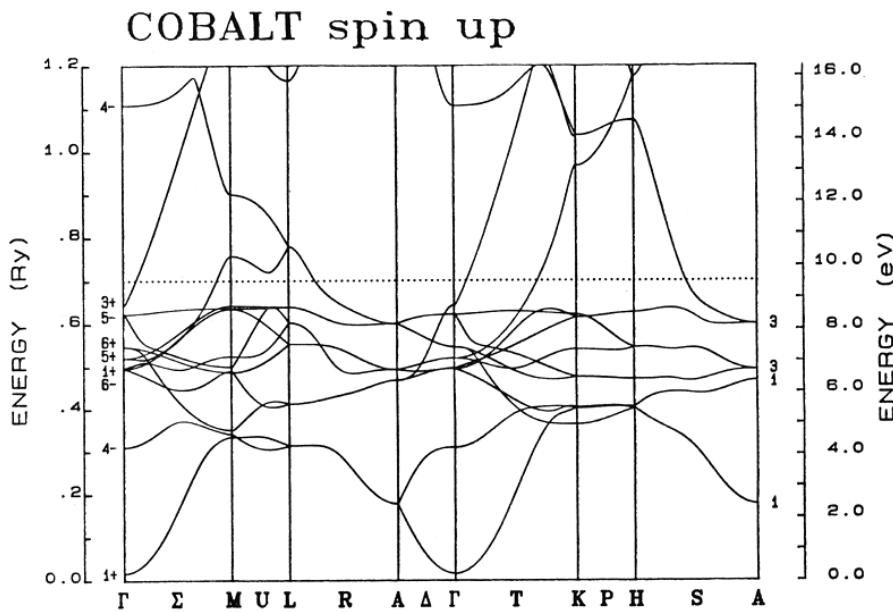
- Courant en spin dans le canal \rightarrow résistance assez élevée
- Temps de parcours du canal plus faible que le temps de cohérence \rightarrow résistance faible



Conclusion



Influence du spin sur la mobilité électronique



Courant de spin: spin pumping

