

Spectroscopie infrarouge des fils et boîtes quantiques d'InAs/InAlAs/InP (001)



Frédéric FOSSARD

Opto GaN

**Institut d'Electronique Fondamentale
CNRS UMR 8622**

Collaborations

- ▶ LEOM, Ecole Centrale de Lyon : groupe de M.Gendry

Croissance auto-organisée de fils et boîtes quantiques d'InAs/InP(001) pour composants optoélectroniques : **Thèse de Julien Brault (2000)**

- ▶ LOA, Polytechnique : groupe d'A. Alexandrou

Dynamique électronique dans les fils et les boîtes quantiques InAs/InAlAs sur substrat InP(001) sondée par spectroscopie femtoseconde infrarouge : **Thèse d'Emmanuel Péronne (2002)**

- ▶ Department of Electrical Engineering and Solid state Institute, Technion : groupe d'E. Finkman

Plan

▶ I – Les transitions intrabandes

- Spécificités des transitions intrabandes dans les nanostructures, dispositifs unipolaires

▶ II Le système InAs/InAlAs/InP(001)

- Mécanismes de croissance, morphologies des nanostructures

▶ III Spectroscopies infrarouges

- Caractérisation optique et identification des différentes morphologies quantiques

- ⇒ Fils

- ⇒ Chapelets de boîtes

- ⇒ Boîtes allongées isolées

- ⇒ Boîtes isotropes

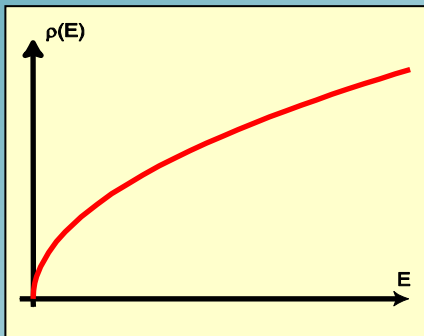
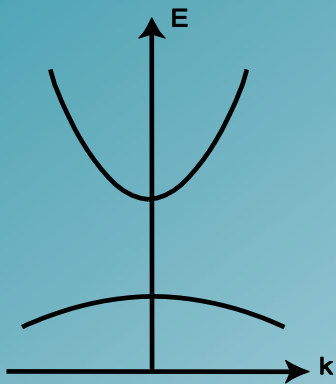
- Photodétection

- Reconstruction du diagramme énergétique des fils et boîtes quantiques

▶ Conclusions / Perspectives

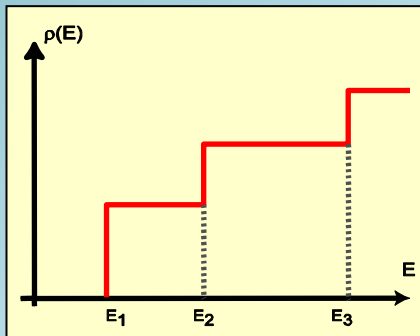
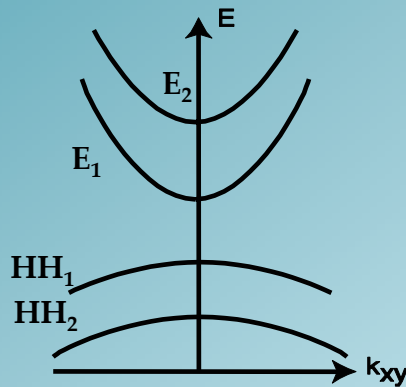
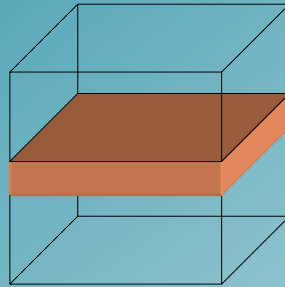
Energie et confinement

3D : volume



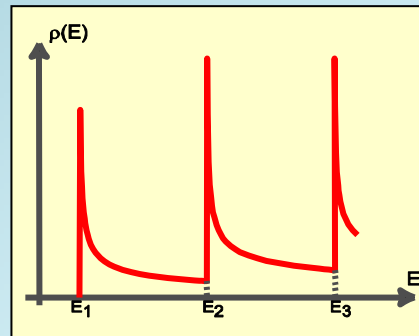
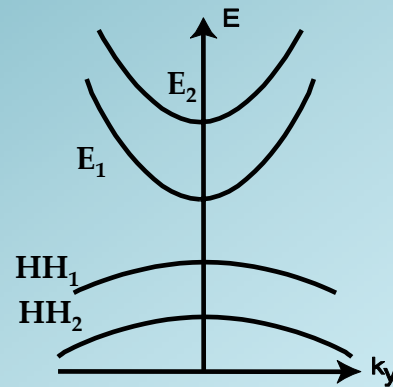
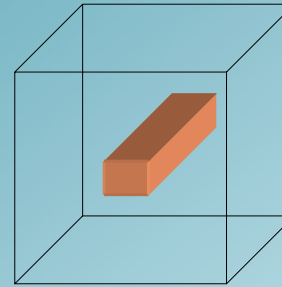
Densité d'état croissante en $E^{1/2}$

2D : puits



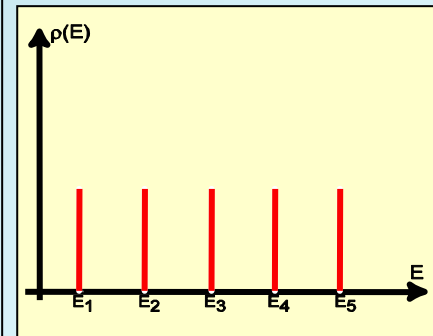
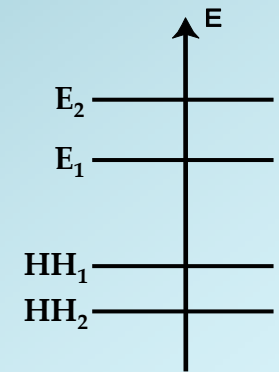
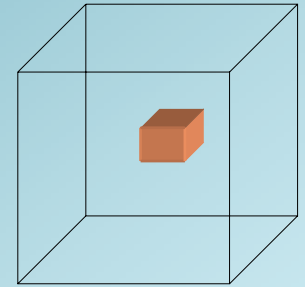
Densité d'état constante dans toute la sousbande

1D : fil



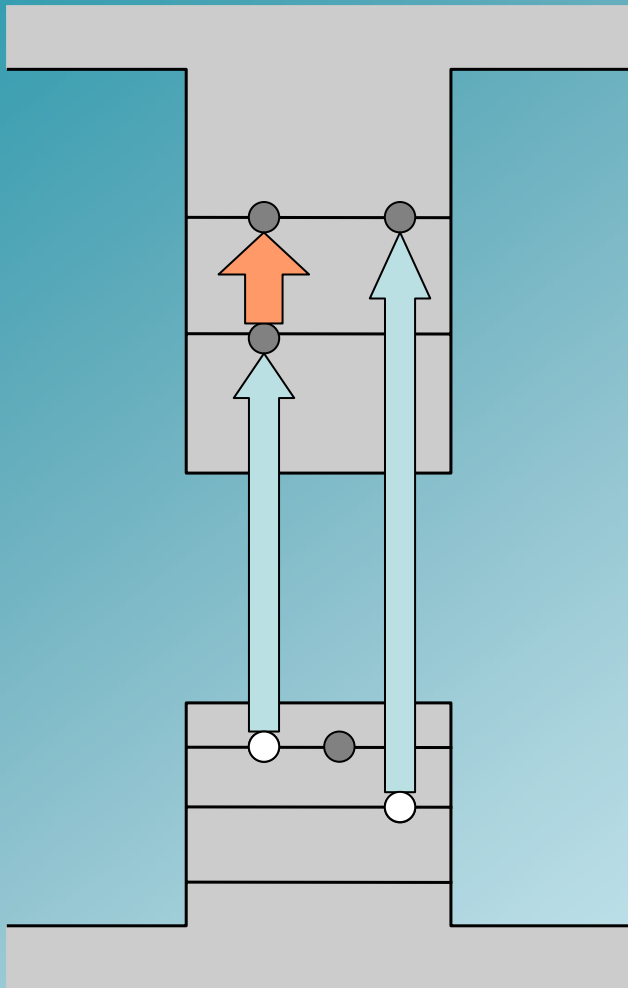
Densité d'état maximale en centre de zone : $E^{-1/2}$

0D : boîte



Niveaux discrets $\delta(E)$:
Atome artificiel

Transitions optiques dans les nanostructures



Transition interbande

- Mécanisme à 2 types de porteurs (bipolaire).
- Durée de vie dans l'état excité = quelques nanosecondes

Transition intrabande

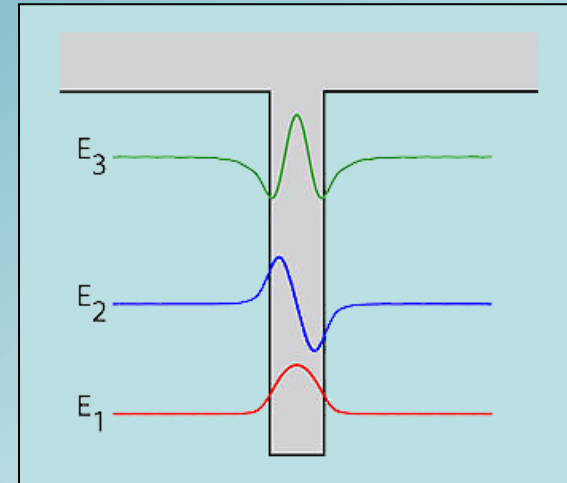
- Transition entre niveaux confinés de la même bande
- Un seul type de porteur (unipolaire)
- Durée de vie dans l'état excité régie par l'interaction électron-phonon : environ une picoseconde

Transitions intrabandes : règles de sélection

$$\Psi(r) = \sum_n F_n(r) u_{n,k_0}(r)$$

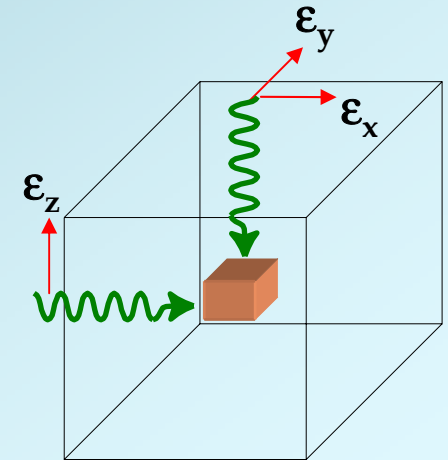
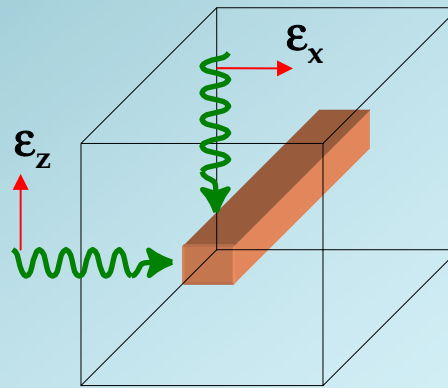
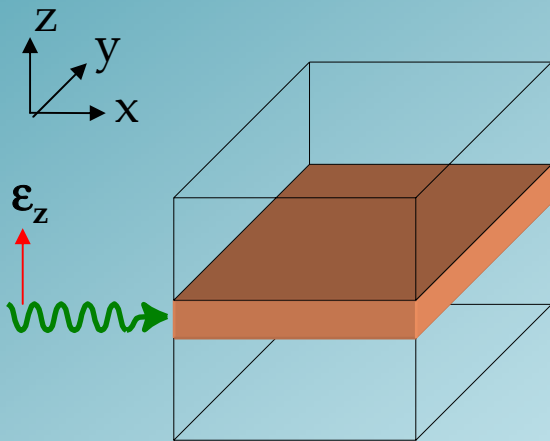
► Expression de l'élément de matrice optique

$$\vec{\epsilon} \cdot \vec{p}_{if} \approx \underbrace{\langle u_f | \vec{\epsilon} \cdot \vec{p} | u_i \rangle \langle F_f | F_i \rangle}_{\text{Terme interbande}} + \underbrace{\vec{\epsilon} \cdot \langle F_f | \vec{p} | F_i \rangle \delta_{if}}_{\text{Terme intrabande}}$$



► Transition possible entre deux états de parités différentes

► Lumière polarisée selon la direction de confinement



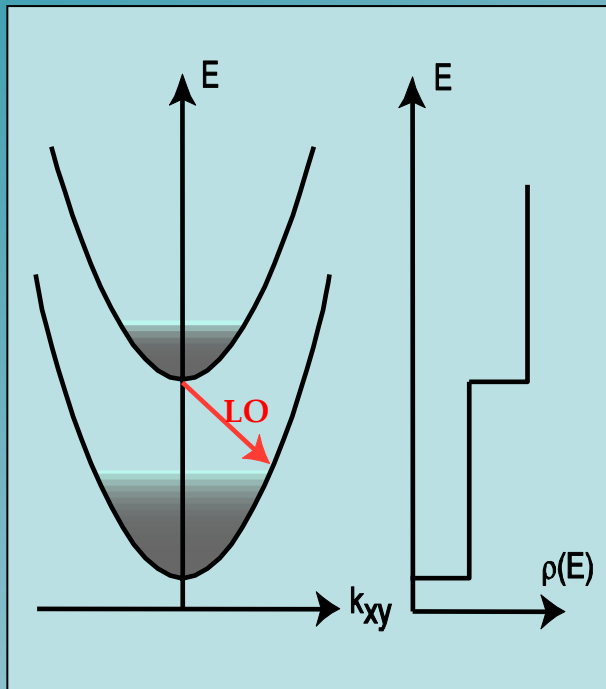
► Forces d'oscillateur géantes de ces transitions :

$$f_{1 \leftrightarrow 2} \approx 0,96 \frac{m_0}{m^*}$$

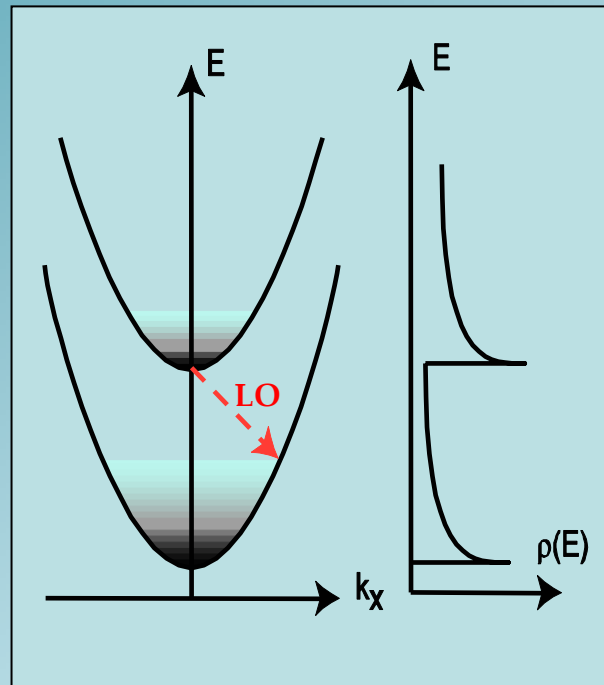
Mécanismes de relaxation

► Mécanismes de relaxation impliquant les phonons optiques

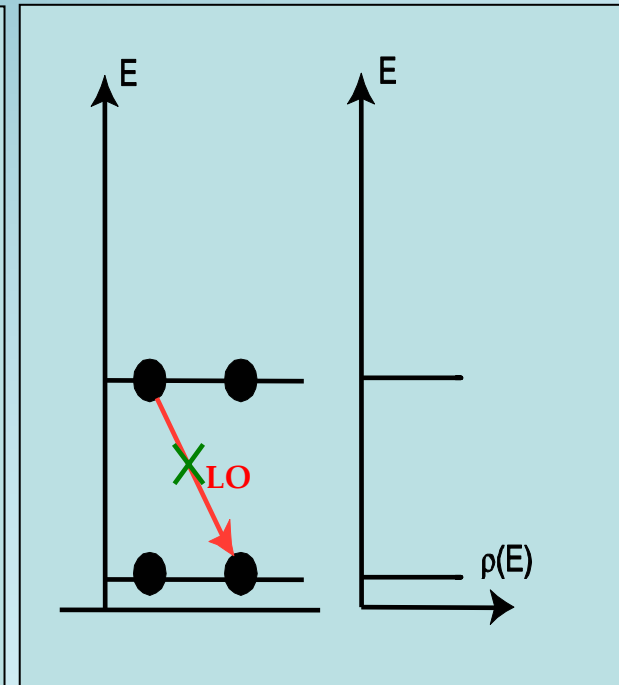
Puits quantique



Fil quantique



Boîte quantique



✓ Pas de blocage de la relaxation : couplage électron-phonon dans les boîtes quantiques (polaron)

✓ Durée de vie de l'état excité plus long dans les nanostructures 1D et 0D

Transitions intrabandes : bilan

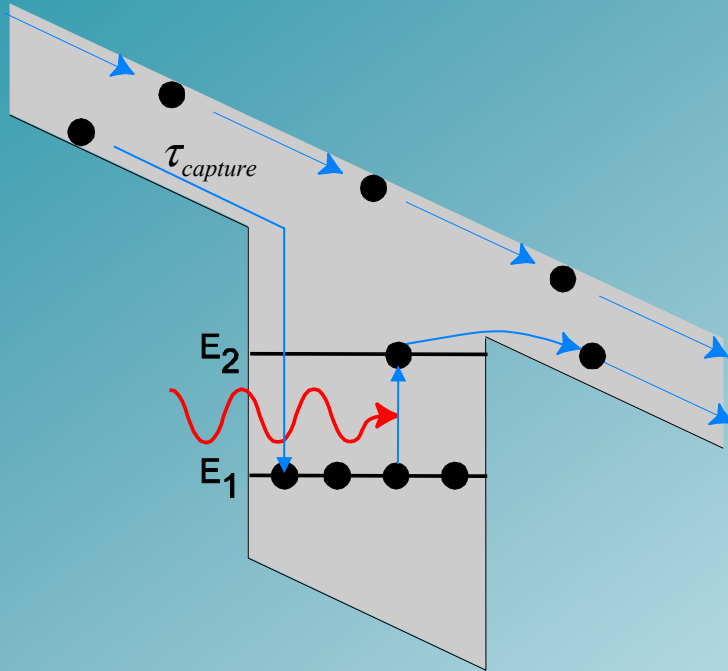
- Transitions impliquant un seul type de porteurs.
- Transitions impliquant des fonctions enveloppes de parité différente.
- Polarisation des absorptions le long de la direction de confinement.
- Ralentissement des mécanismes non-radiatifs dans les fils et les boîtes.

La spectroscopie intrabande est donc un moyen d'étudier et de connaître :

- ☑ Les énergies de confinement des porteurs dans la nanostructure.
- ☑ L'extension spatiale et la symétrie des fonctions d'onde.
- ☑ La force d'oscillateur des transitions.
- ☑ Mécanismes de couplage entre les niveaux électroniques et les phonons.

Dispositif de détection dans l'infrarouge

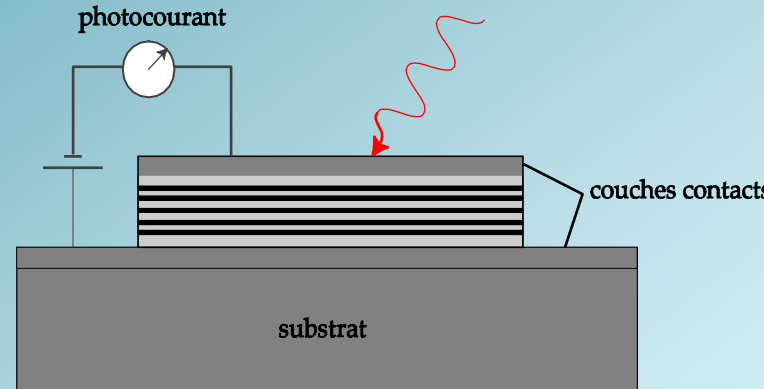
► Photodétecteur à puits/boîtes quantiques (QWIP/QDIP)



Gain de photoconduction : $g = \frac{\tau_{capture}}{\tau_{transit}}$

Efficacité quantique : η

Déectivité limitée par la température : $D^* = \frac{\eta}{2h\nu} \sqrt{\frac{\tau_{capture}}{n_i t}}$

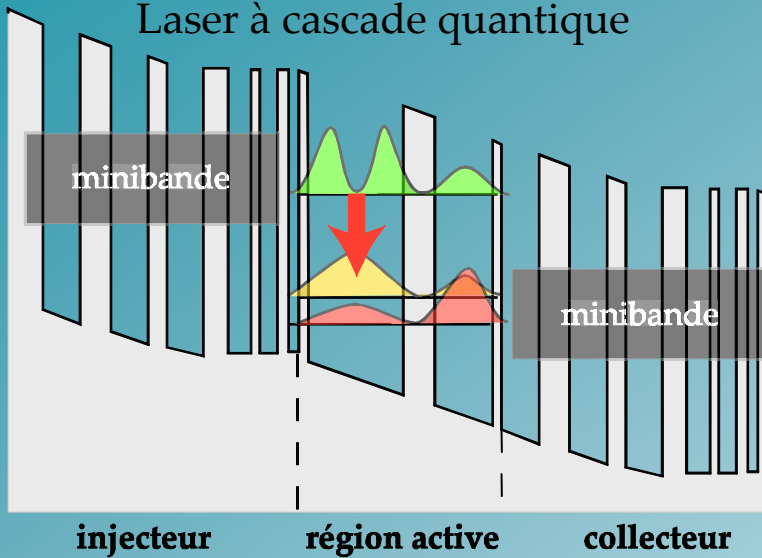


	QWIP
η	Quelques %
$\tau_{capture}$	≈ 1 ps
g	0,5 à 2
D^*	10^9 - 10^{12}
Détection à incidence normale	Nécessite un réseau de diffraction

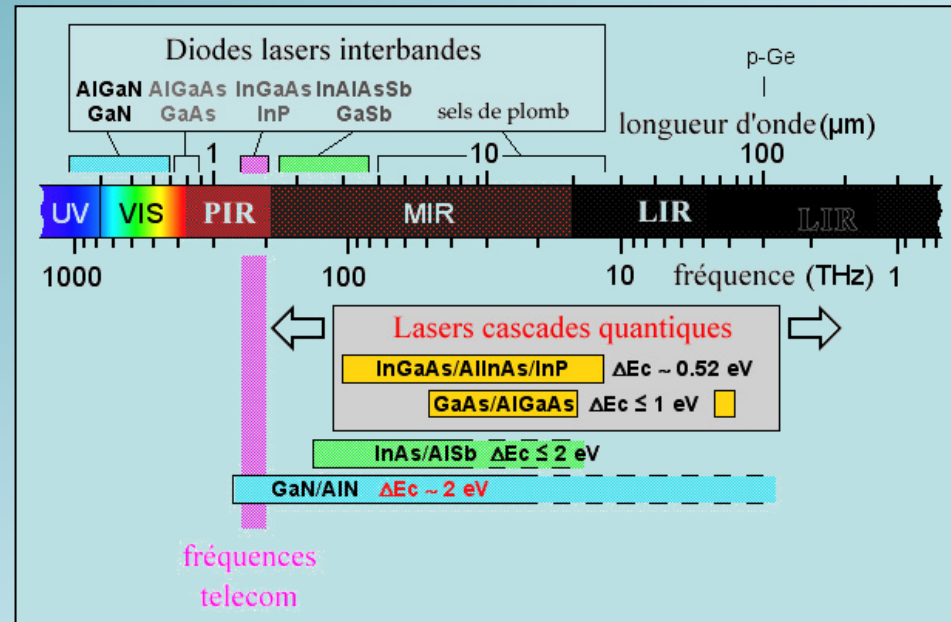
☑ Augmentation du gain de photoconduction et de la déectivité et de la température de fonctionnement dans les détecteurs à boîtes quantiques.

Lasers unipolaires

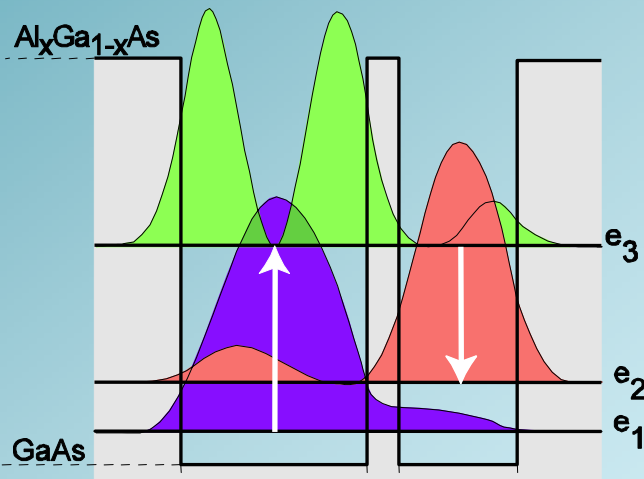
Laser à cascade quantique



➤ J. Faist et al., Science **264**, 553 (1994)



Laser à fontaine quantique



➤ F. Julien et al., Elec. Lett. **31**, 838 (1995)

Les boîtes quantiques

InAs/GaAs

Faible dispersion de tailles des îlots, [boîtes]= $1-5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$

Contrainte importante : 7% de désaccord de maille

Absorptions intrabandes s-p aux grandes longueurs d'onde (20-22 μm).

➤ F. Bras et al., APL **80** 4620 (2002)

SiGe/Si

$\Delta E_v = 350 \text{ meV}$, [boîtes]= $6-9 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2}$

Transitions en bande de valence (force d'oscillateur faible).

➤ T. Fromherz et al., APL **80** 2093 (2002)

InAs/InAlAs/InP

Forte densité de nanostructures [boîtes]= 10^{11} cm^{-2} , [fils]= $4 \cdot 10^5 \text{ cm}^{-1}$

Contrainte plus faible que dans InAs/GaAs (masse électronique plus légère)

Absorptions intrabandes intenses dans le moyen infrarouge (12-15 μm)

➤ F. Fossard et al., Inf. Phys and Tech. **42** 443 (2001)

GaN/AlN

Grande discontinuité de potentiel en bande de conduction : $\Delta E_c = 2 \text{ eV}$

longueurs d'onde très courtes

➤ K. Moumanis et al., à paraître dans physica E

Croissance des nanostructures InAs/InAlAs/InP(001)

Croissance par épitaxie par jets moléculaires

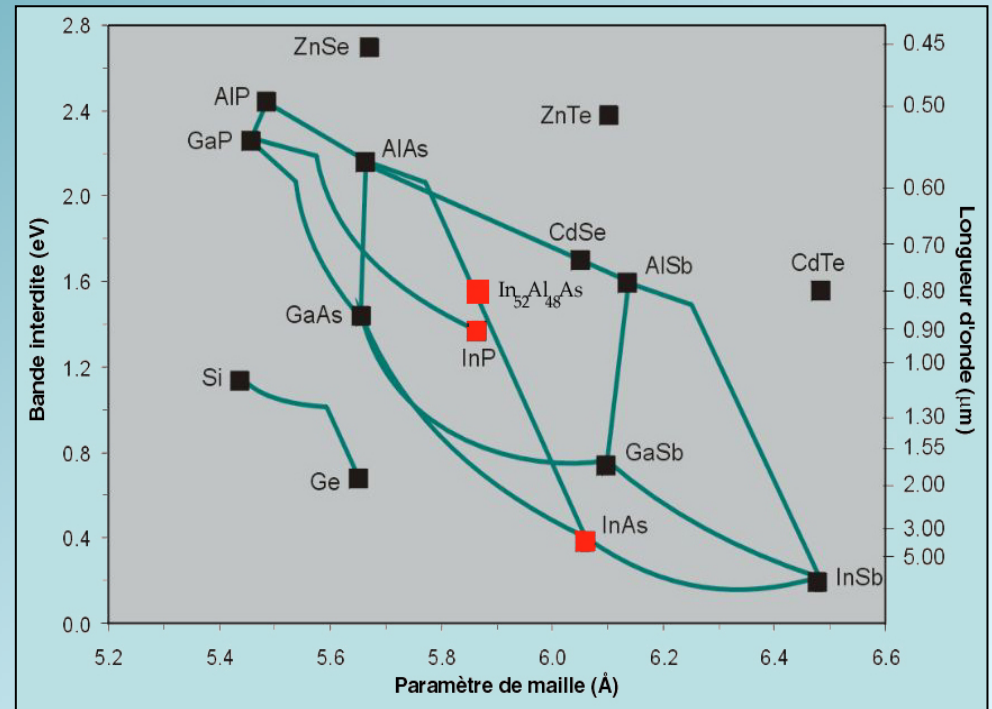
T = 525 °C

Alliage accordé en maille à InP : $\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}$

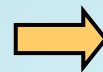
Discontinuités de bandes
d'InAs/InAlAs :

$$\Delta E_c = 0,66 \text{ eV}$$

$$\Delta E_v = 0,45 \text{ eV}$$



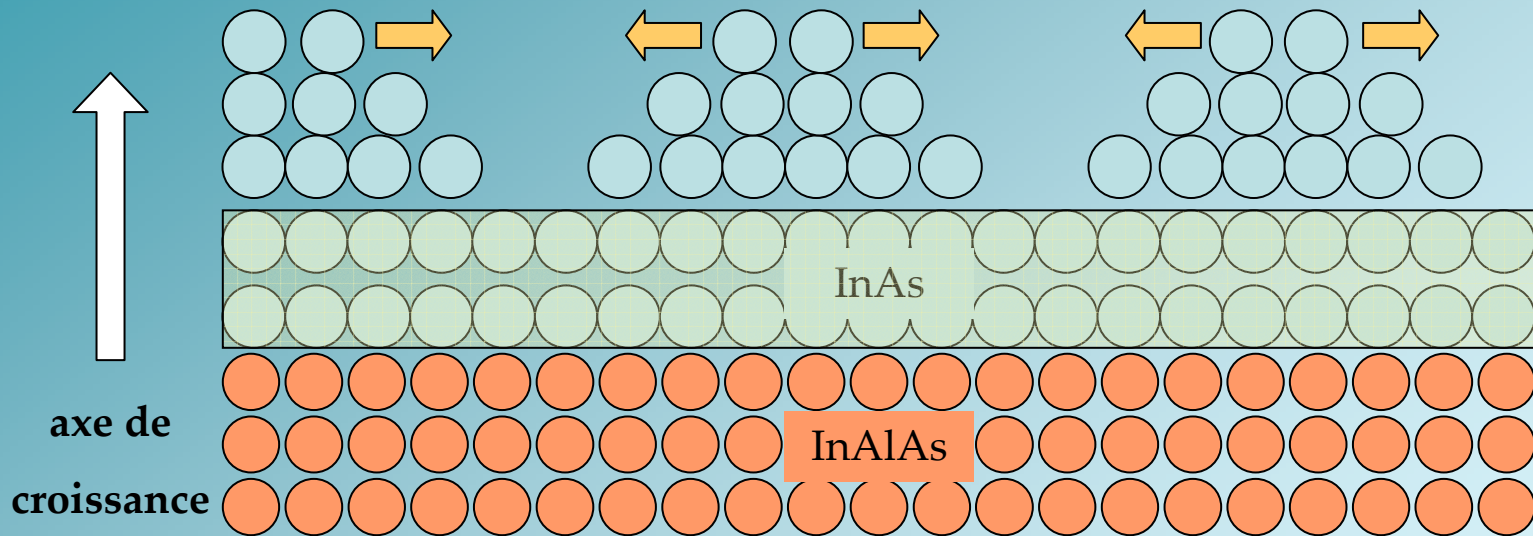
	InAs	InP
Paramètre de maille (Å)	6,06	5,87



Désaccord de maille : 3%

Le mode de croissance Stranski - Krastanov

► Mode de croissance dicté par la compétition entre l'énergie élastique et l'énergie de surface.



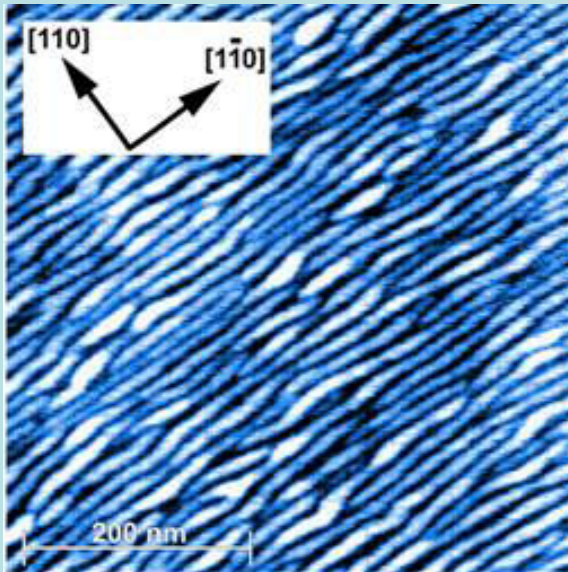
- ✓ Début de croissance bidimensionnelle \Rightarrow couche de mouillage : épaisseur critique = 2,5 monocouches (7,5 Å)
- ✓ Accumulation d'énergie élastique

- ✓ Relaxation des contraintes en formant des îlots 3D

Caractérisation structurale : clichés AFM

FIL QUANTIQUE

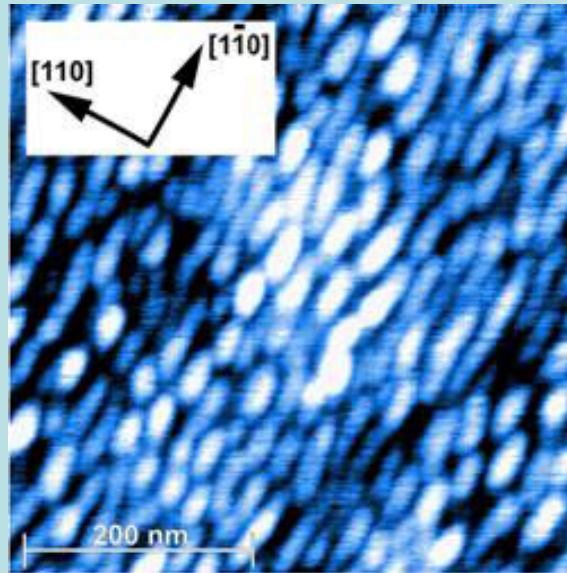
Pas d'arrêt de croissance entre la couche d'AlInAs et l'InAs



Reconstruction 2x4

BOITE ALLONGEE

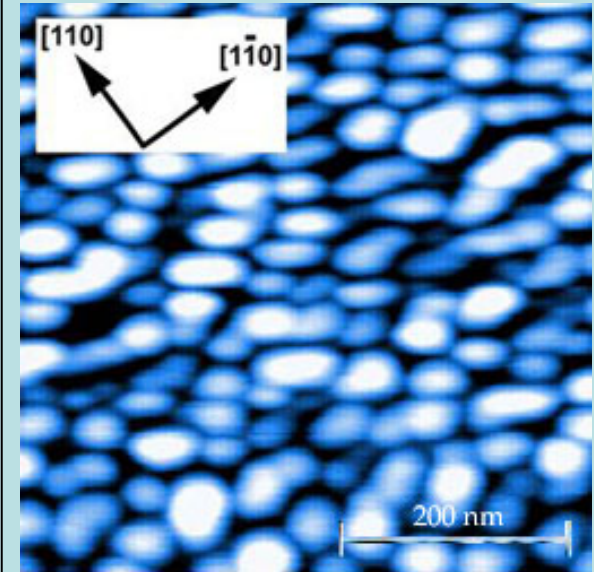
Maintien de la couche d'AlInAs pendant quelques mn sous pression d'As



Reconstruction 2x1

BOITE ISOTROPE

Derniers 3nm d'AlInAs sous conditions stabilisées élément III



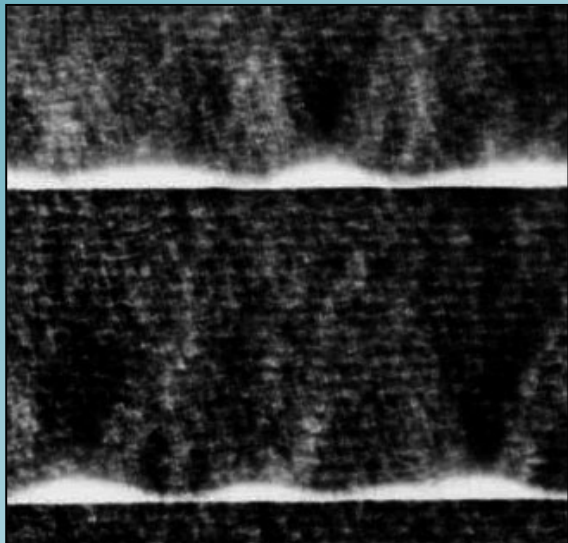
Îlots précurseurs

- ☑ Importance des conditions de croissance \Rightarrow reconstructions de surface
- ☑ Couverture totale de la surface d'AlInAs par des boîtes ou des fils

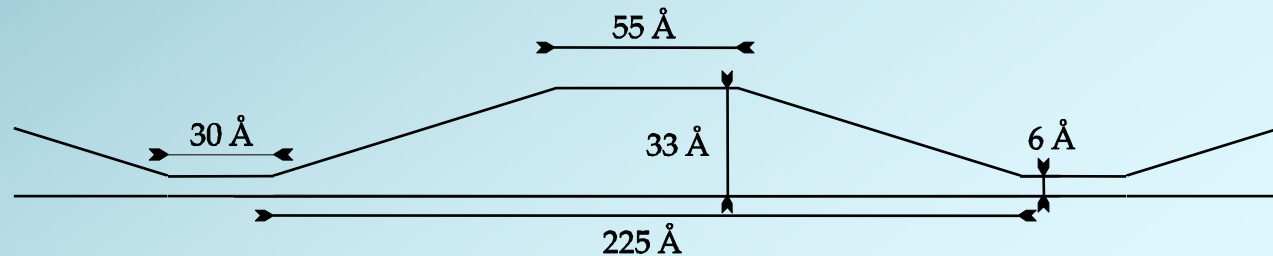
Dimensions des nanostructures

► Dimensions déduites des clichés AFM

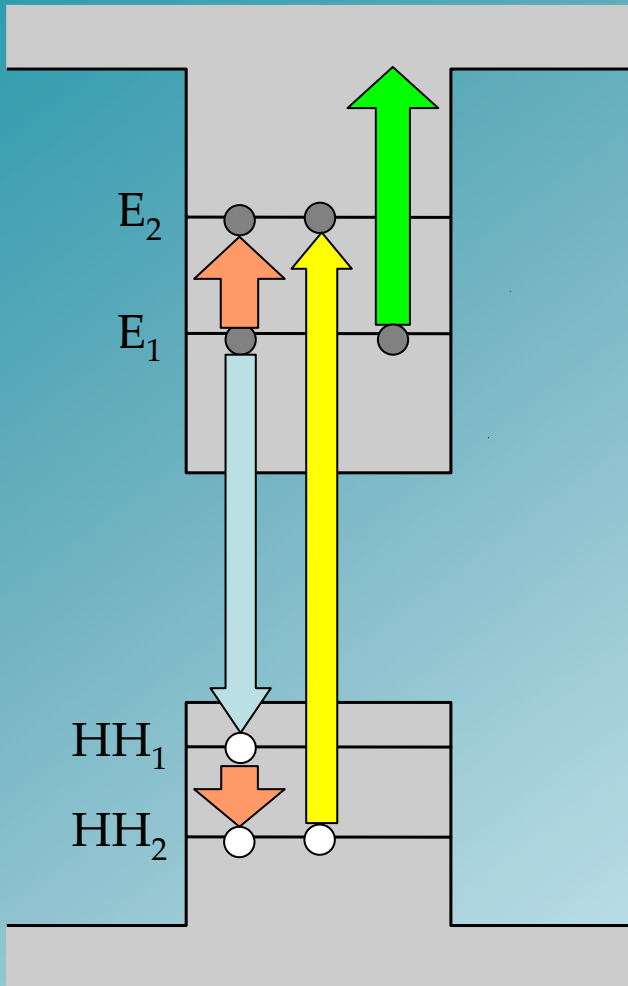
Type	Barrière (nm)	Préparation de la surface	Densité	Hauteur (nm)	Longueur [1-10] (nm)	Largeur [110] (nm)
Fils	50 nm (10 plans)	Pas d'interruption entre AlInAs et InAs	$4 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$	$1,5 \pm 0,6$	-	18 ± 4
Boîtes allongées	50 nm (10 plans)	Arrêt de croissance 10 mn sous P_{As}	10^{11} cm^{-2}	$1,8 \pm 0,6$	43 ± 6	28 ± 4
Boîtes isotropes	1 plan	Derniers 3nm d'AlInAs stabilisés en élément III	$5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$	$5 \pm 1,2$	60 ± 15	40 ± 10



► Section d'un fil déduite des clichés TEM



Spectroscopies infrarouges



Photoluminescence : recombinaison radiative entre électrons et trous sous pompage optique

⇒ E_1 - HH_1 , E_2 - HH_2 , ...

Excitation de photoluminescence : recombinaison radiative entre électrons et trous sous pompage optique résonnant

⇒ E_2 - HH_2 , E_3 - HH_3 , ...

Photoconduction (échantillons dopés) : absorption des photons sous champ électrique

⇒ E_1 -continuum, HH_1 -continuum

Transmission (échantillons dopés) : absorption des photons

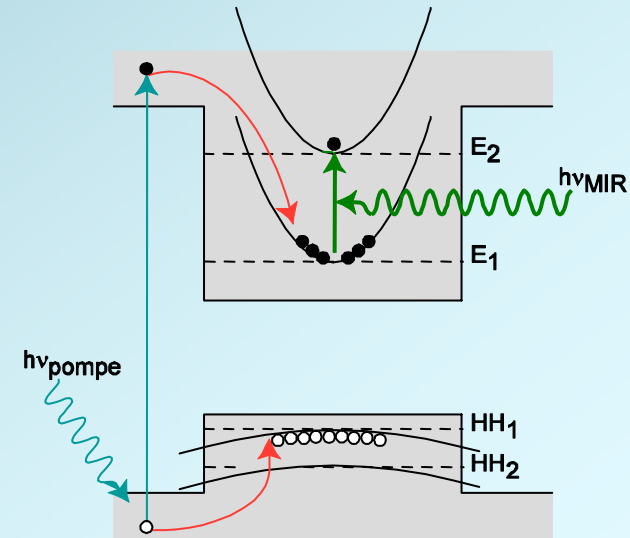
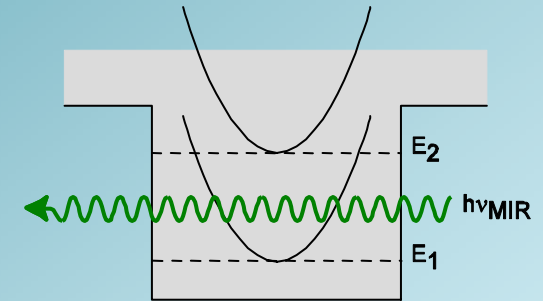
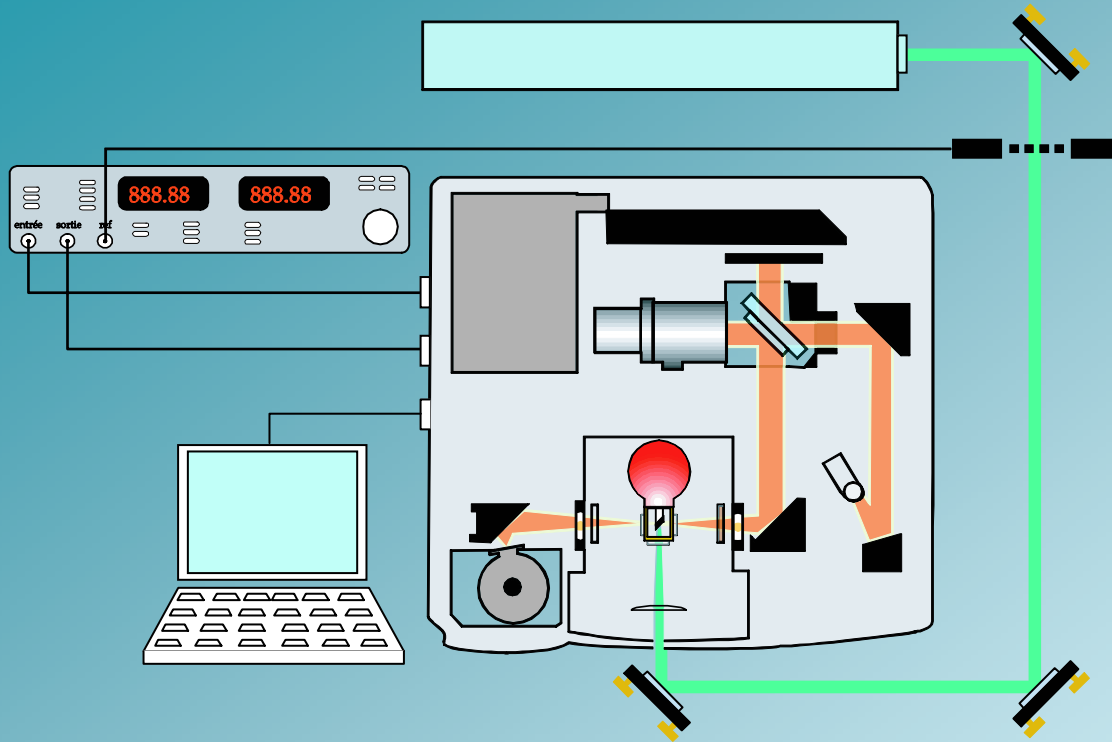
⇒ E_1 - E_2 , HH_1 - HH_2 , ...

Absorption photo-induite : absorption des photons sous pompage optique

⇒ E_1 - E_2 , HH_1 - HH_2 , ...

☑ Spectroscopie complète des états énergétiques des nanostructures.

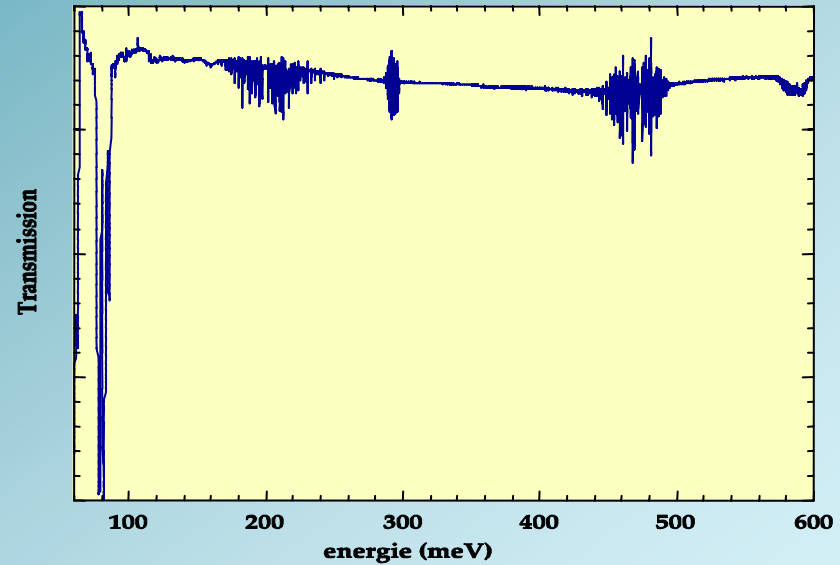
Spectroscopie d'absorption photo-induite



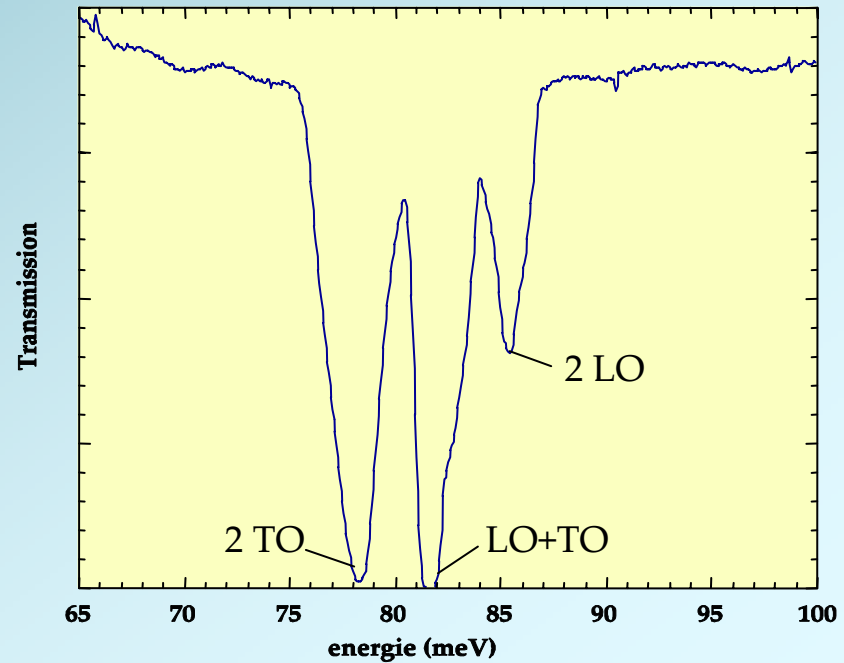
- ✓ Mesure directe de l'énergie de transition intrabande sur des échantillons non dopés
- ✓ Mesure différentielle \Rightarrow détection d'absorptions très faibles ($\approx 10^{-6}$)
- ✓ Mesure directe de $\Delta T/T$ en normalisant le spectre par un spectre de transmission directe

Le substrat InP

► Substrat semi-isolant pour une meilleure transmission dans l'infrarouge



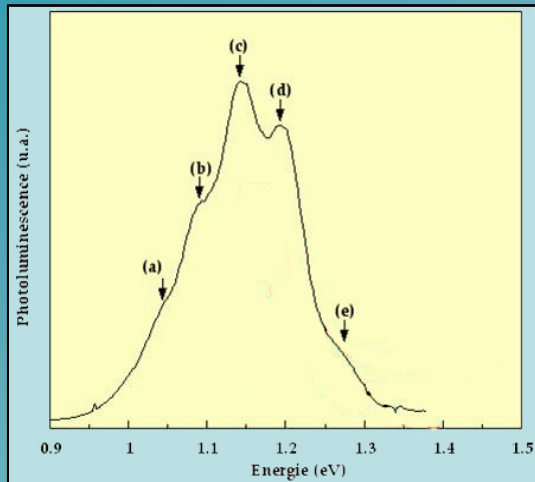
► Absorption à deux phonons dans le moyen infrarouge



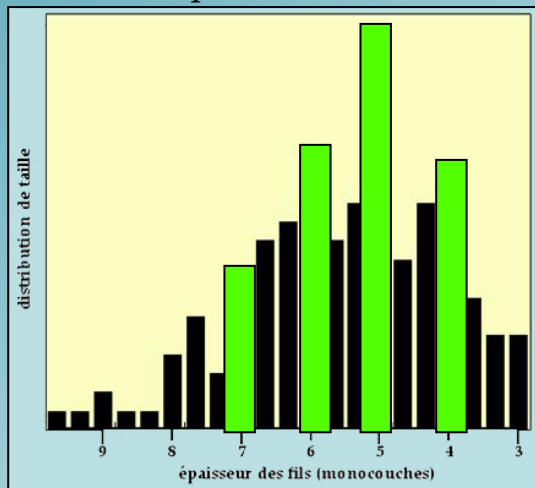
Le point de départ

► Diplomarbeit d'A. Weber (1998) : Spectroscopie infrarouge d'îlots InAs/InAlAs/InP

Photoluminescence et PLE (INSA Lyon)



Dispersion de taille



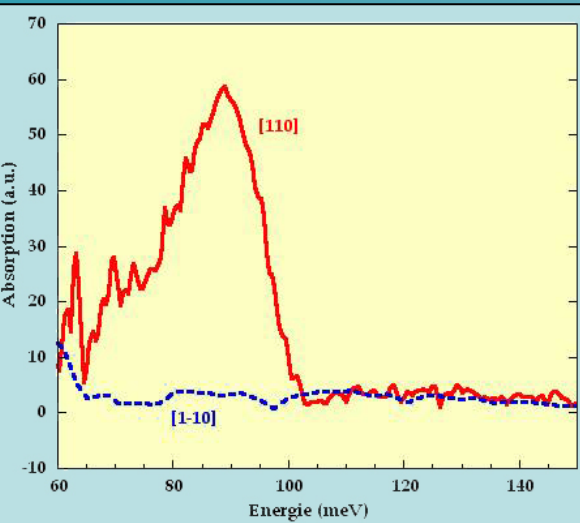
- Échantillon à 1 plan de boîtes non dopées
- PL = 1,13 eV (FWHM=170 meV) : 5 composantes
- Hauteur des îlots s'organise en nombre entier de monocouches
- Les pics observés en PL viennent d'îlots ayant une hauteur comprise entre 4 et 7 monocouches
- PLE révèle un état excité 101 à 120meV au-dessus du fondamental
- PLE donne le confinement des électrons et des trous

► A. Weber et al., APL 74, 413 (1999)

- Structuration importante du pic de photoluminescence.
- Mise en évidence d'états excités.

Le point de départ

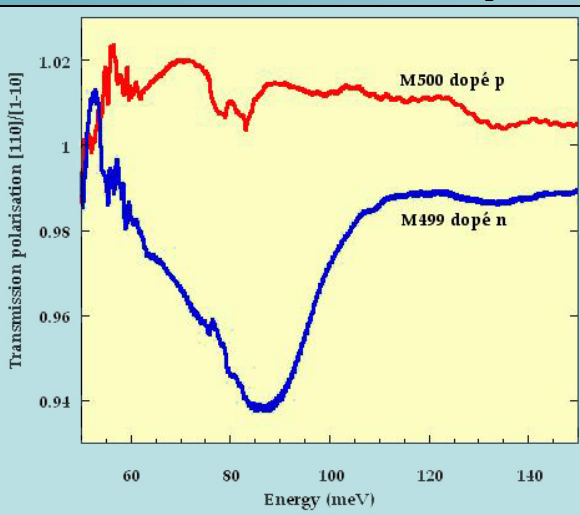
Spectroscopie PIA à incidence normale



- ▶ Échantillon à 1 plan de boîtes non dopées
- ▶ PIA = 90 meV (FWHM=18 meV)
- ▶ Polarisation de l'absorption le long de l'axe [110]

Mise en évidence d'une absorption intrabande intense polarisée dans le plan des couches dans les nanostructures.

Transmission des échantillons dopés n et p



- ▶ Absence de structure dans des fils dopé p
- ▶ Absorption intense dans des fils dopé n à 86 meV

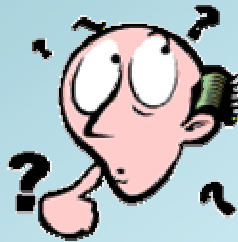
L'absorption observée signe la transition entre l'état fondamental et le premier niveau excité de la bande de conduction

Problématique

L'étude menée sur plusieurs échantillons dopés et non dopés (n.i.d.) met à jour un comportement ambigu des nanostructures InAs/InAlAs.

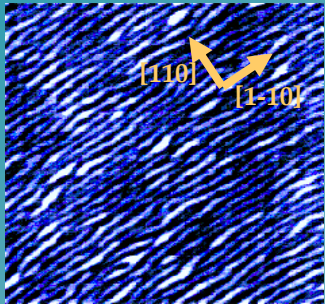
- ▶ L'évolution de l'absorption intrabande en fonction de la température et l'absence de signal en [1-10] dans les échantillons dopés suggère un comportement filaire.
- ▶ Structuration du pic de photoluminescence des échantillons non dopés suggère un comportement de type boîte.

InAs/InAlAs : Boîtes ou fils?



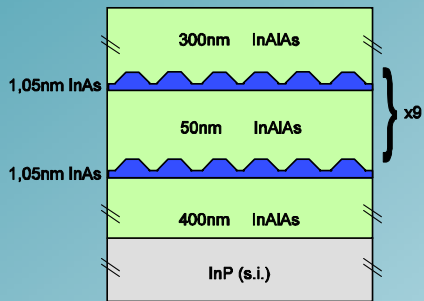
Reprendre l'étude systématique des échantillons en recoupant la caractérisation structurale et les différentes spectroscopies infrarouges.

Les fils quantiques InAs/InAlAs



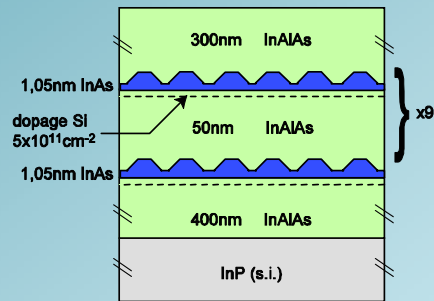
Structure	Barrière (nm)	Préparation de la surface	Densité	Hauteur (nm)	Largeur (nm)
Fil 10,5Å déposés	50 nm (10 plans de fils)	Pas d'interruption entre AlInAs et InAs	$4 \times 10^5 \text{ cm}^{-1}$	$1,5 \pm 0,6$	18 ± 4

M566



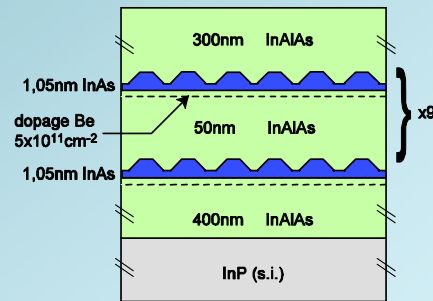
Non - dopé

M499



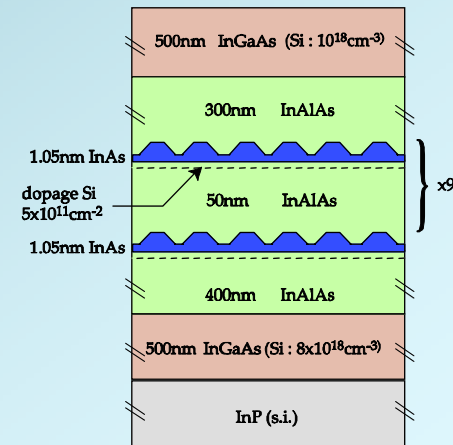
Dopé n

M500



Dopé p

M631

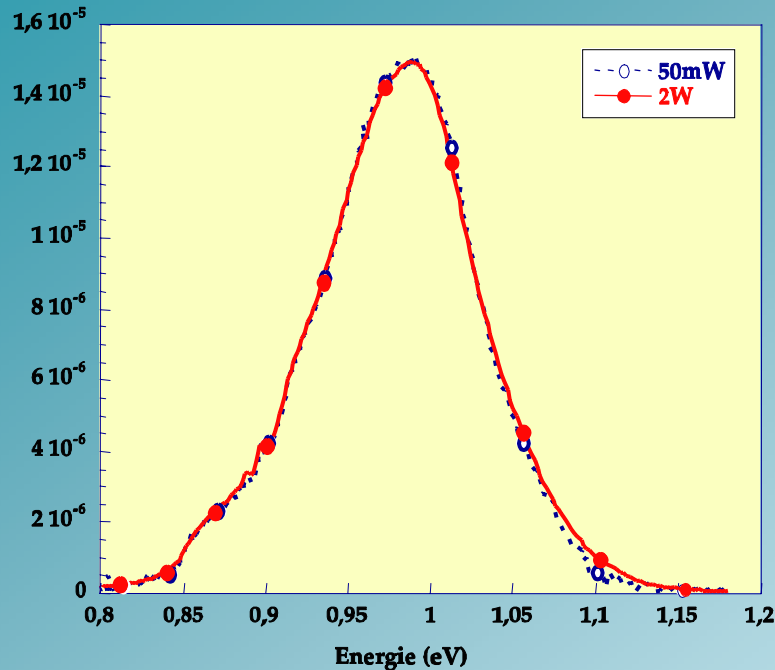


Échantillon
photodétecteur

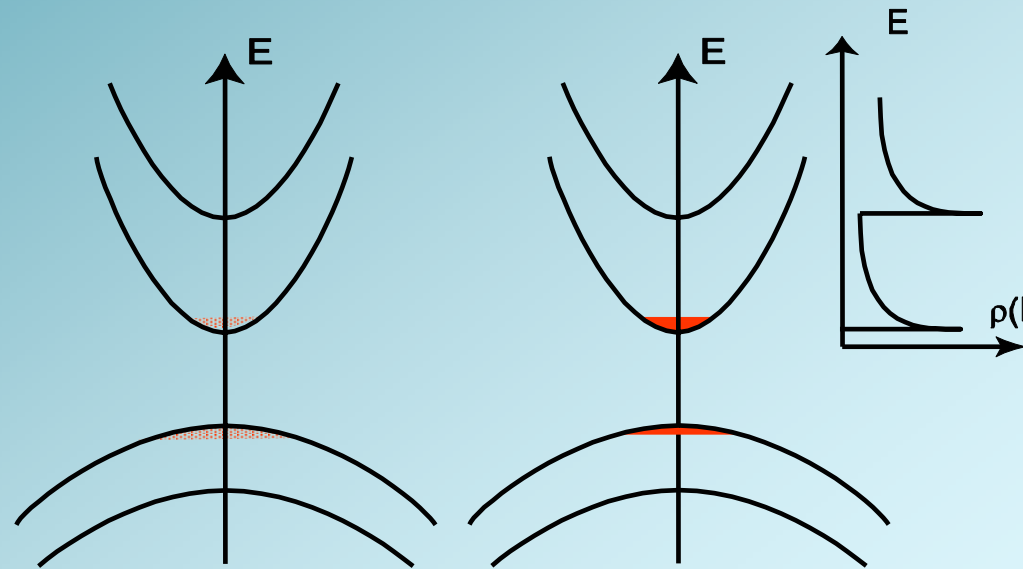
Spectroscopie interbande

► Photoluminescence à 77K d'un échantillon à 10 plans de fils (n.i.d.)

Photoluminescence M566



PL à 0,97 eV (FWHM=155meV)



Faible excitation

Forte excitation

Pas d'élargissement avec la puissance.
Pas de transitions entre niveaux excités

- ☑ Pic de photoluminescence large et peu structuré \Rightarrow dispersion de largeur des fils
- ☑ Pas de transitions entre niveaux excités à forte puissance \Rightarrow comportement 1D

Spectroscopie intrabande à incidence normale

- Spectroscopie PIA à 77K d'un échantillon à 10 plans de fils (n.i.d.)

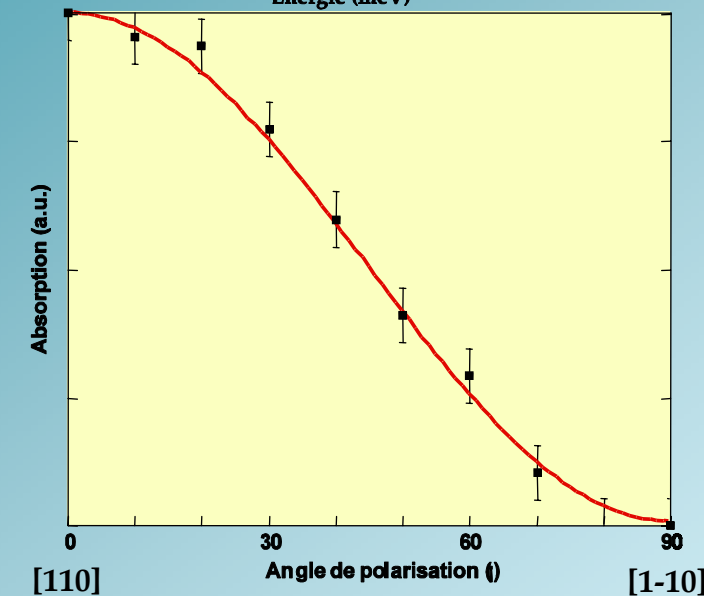
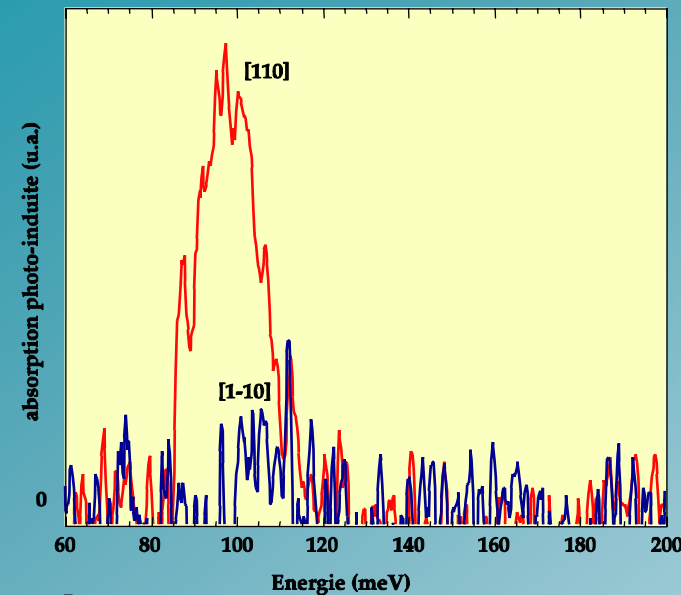
$$E_1 - E_2 = 97 \text{ meV}$$
$$\text{FWHM} = 20 \text{ meV}$$

- Variation de l'absorption avec l'angle de polarisation

Accord avec une loi en $\cos^2\theta$

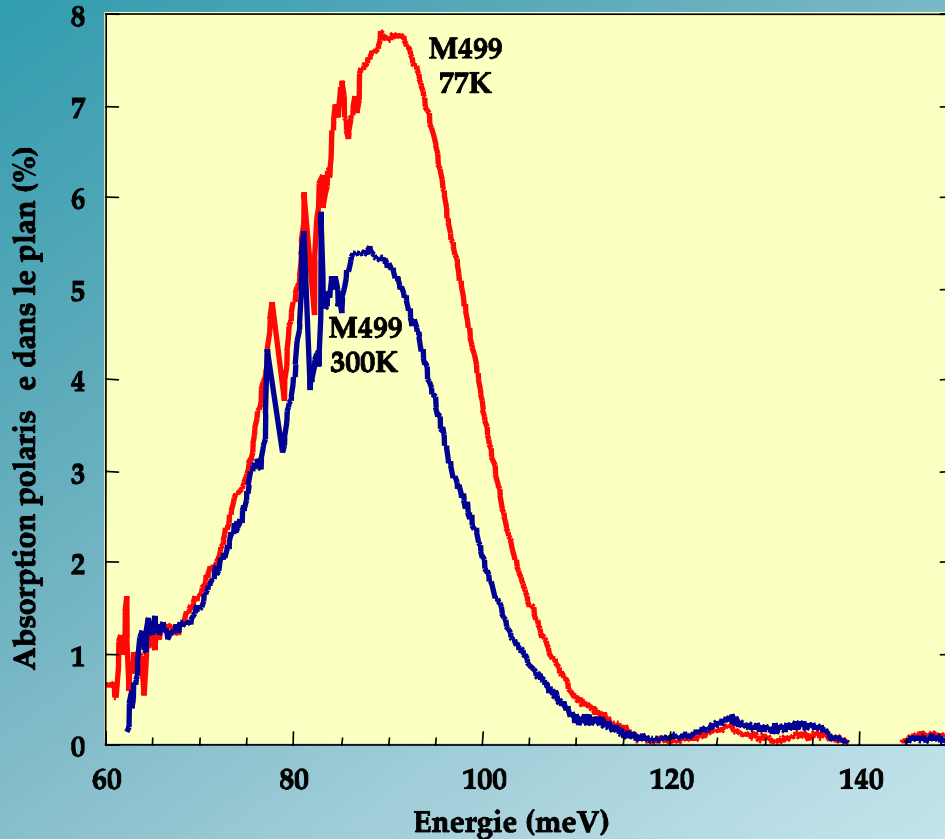
$$\text{absorption} \propto \|\vec{\epsilon} \cdot \vec{\mu}\|^2$$

- ☑ Absorption intrabande polarisée le long de l'axe [110] \Rightarrow confinement des porteurs.



Absorption des fils à incidence normale

► Absorption de fils dopés à $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ à incidence normale

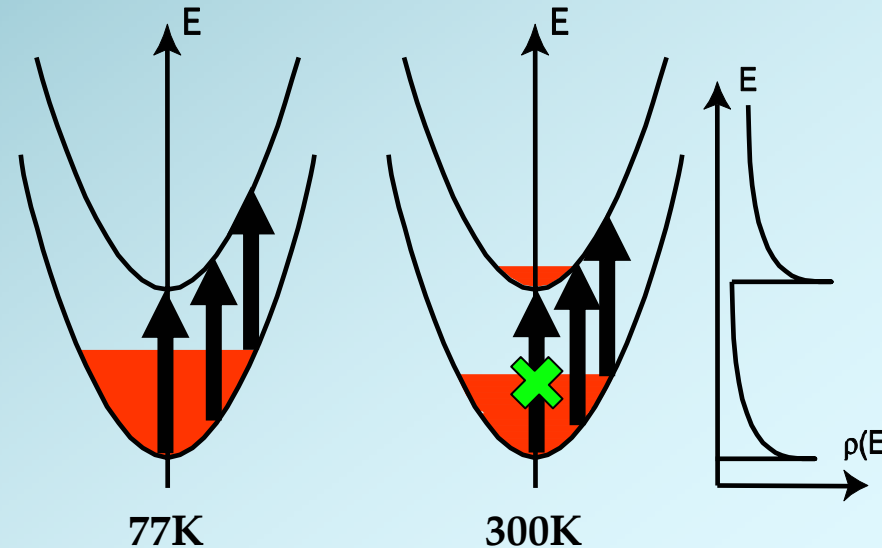


Fils quantiques InAs/InAlAs

$$\sigma \approx 1,5 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$$

$$\langle x \rangle \approx 21,3 \text{ \AA}$$

$$f \approx 10,7$$

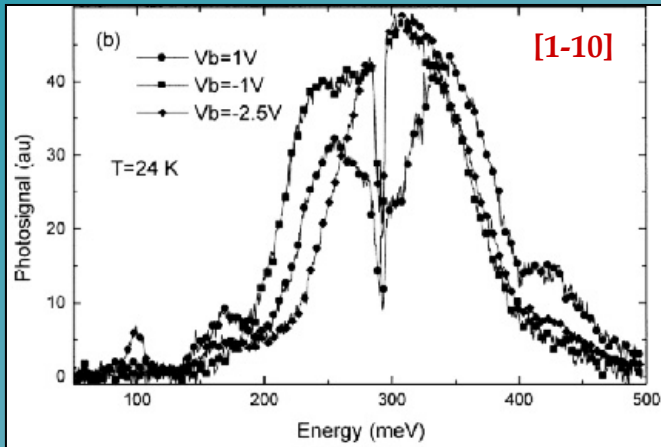


☑ Absorption chute de 30% entre 77K et 300K

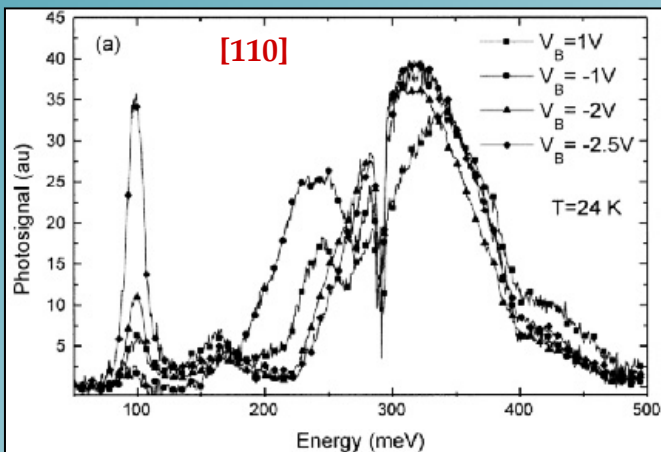
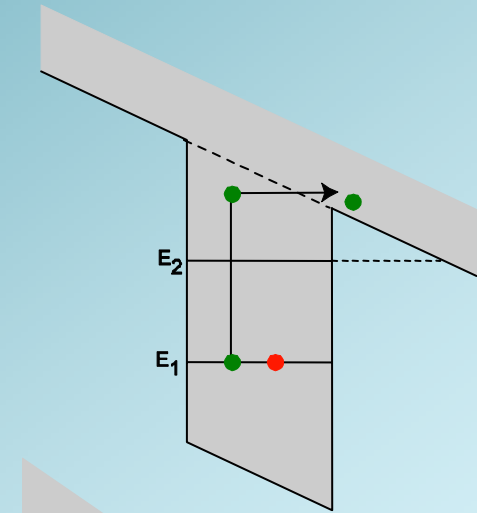
☑ Accord avec un modèle de densité d'états 1D

Photoconduction à incidence normale

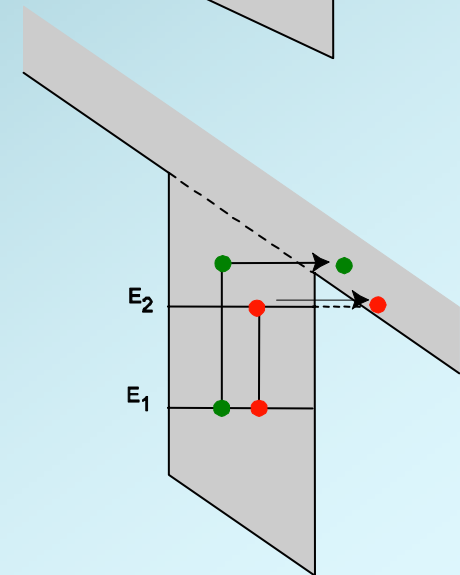
► Spectroscopie de photocourant à incidence normale à 24K



Comportement linéaire en tension
⇒ transition lié - continuum

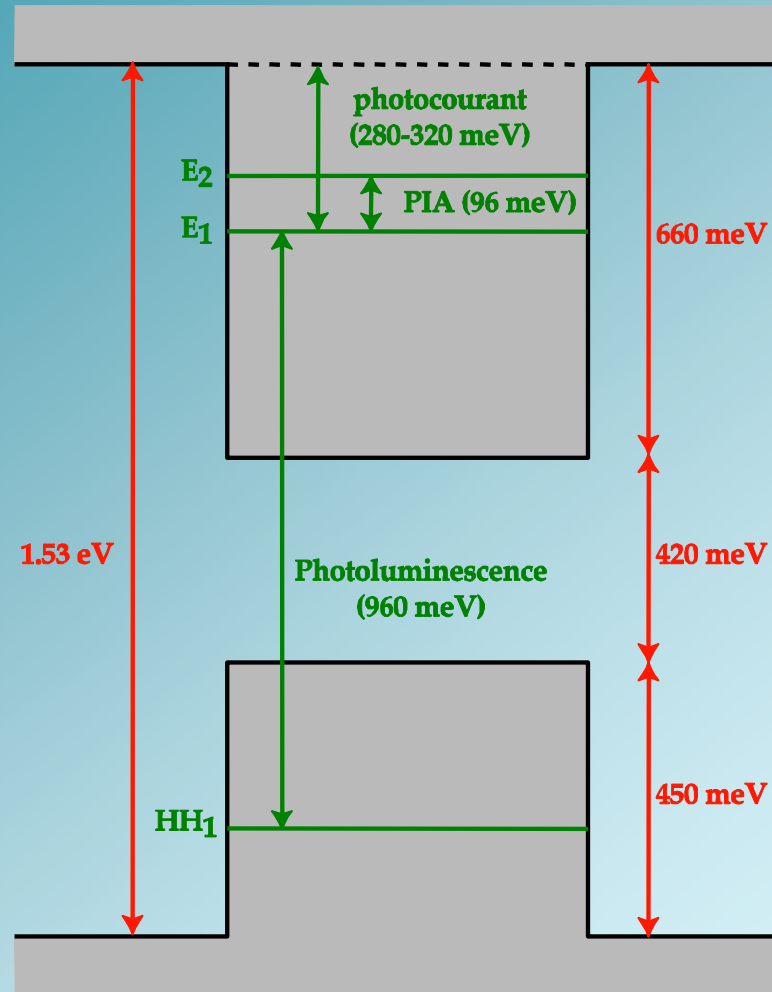


Comportement superlinéaire
⇒ transition lié - lié

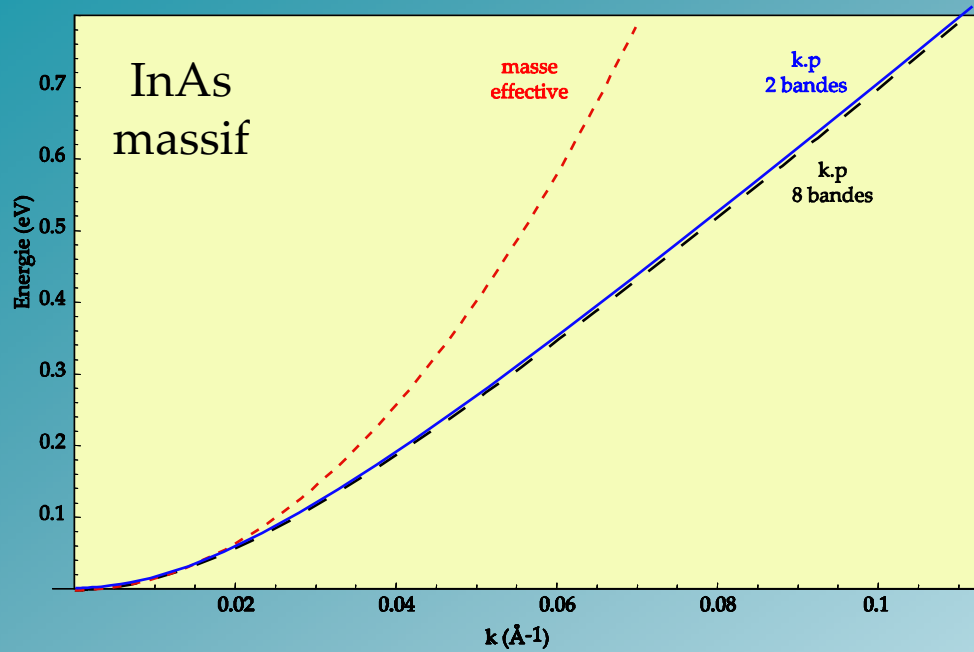


- ☑ Transition entre le niveau fondamental et le continuum entre 280 et 320 meV
- ☑ Confirmation d'une transition polarisée le long de [110] entre deux états liés de la bande de conduction.

Structure énergétique des fils



Modélisation : le modèle



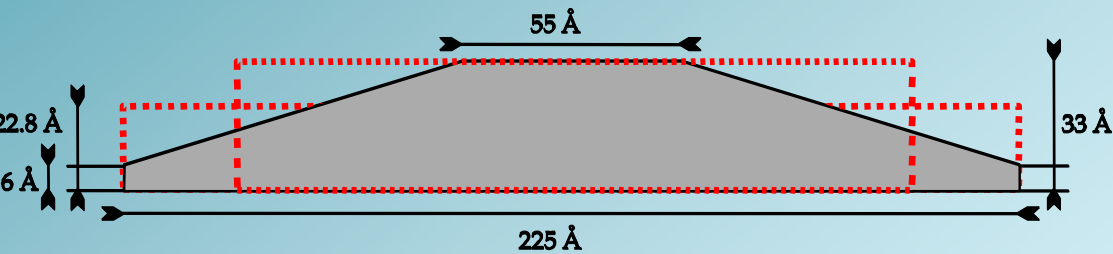
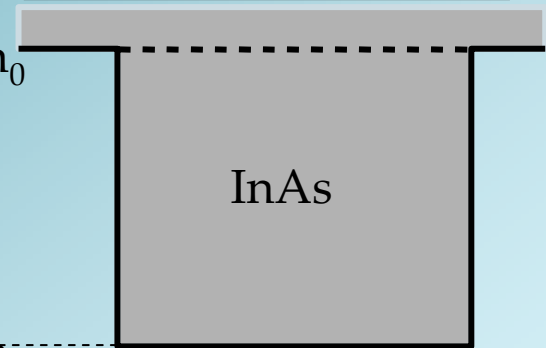
InAs

$$E_G = 0,42 \text{ eV}$$

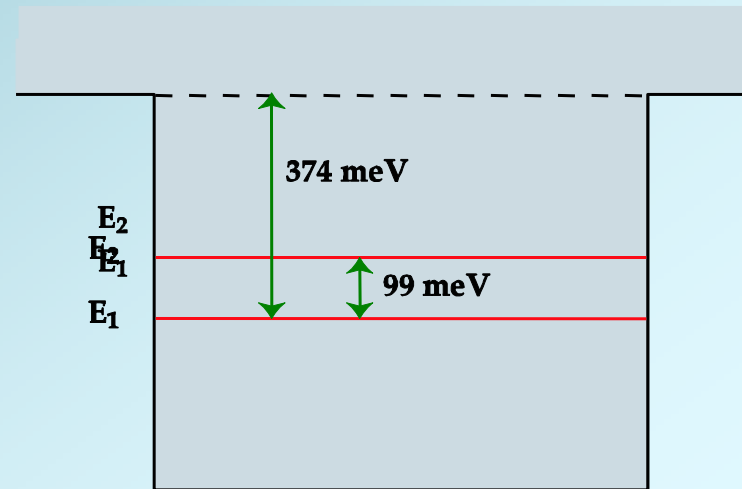
$$\Delta_{SO} = 0,38 \text{ eV}$$

$$m^* = 0.054 m_0$$

$$m^* = 0.023 m_0$$



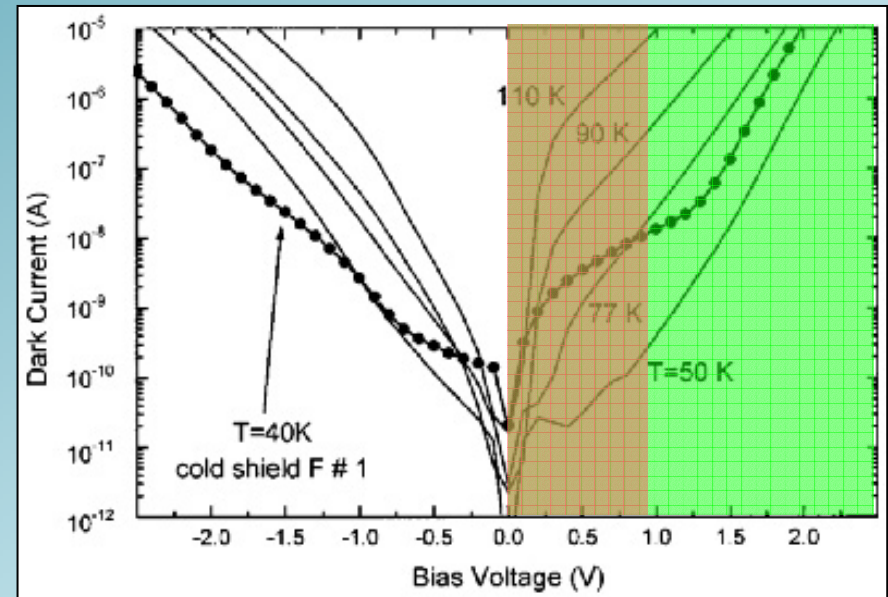
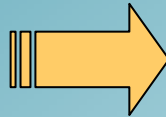
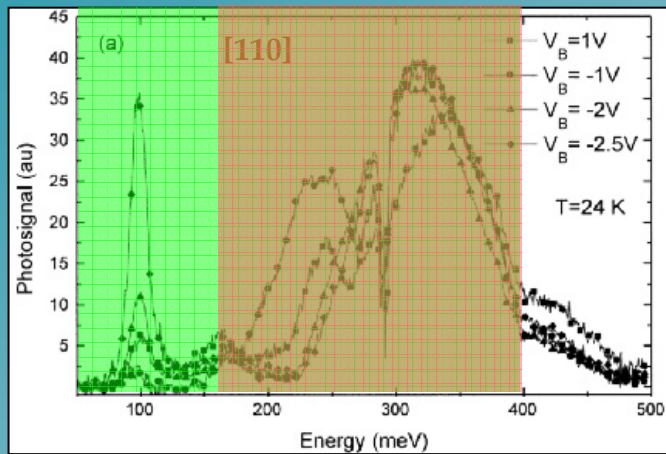
Configuration 2



☑ Bon accord entre le modèle et les expériences selon le type de géométrie choisi.

Photodétection à incidence normale

- ▶ Mesure du courant d'obscurité en fonction de la tension appliquée pour plusieurs température de fonctionnement.



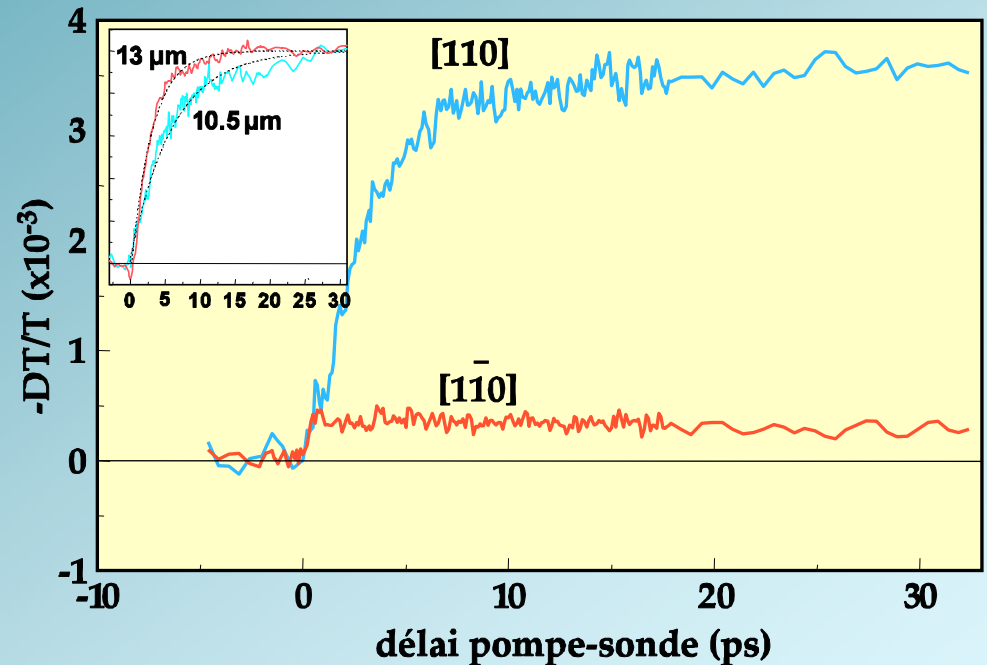
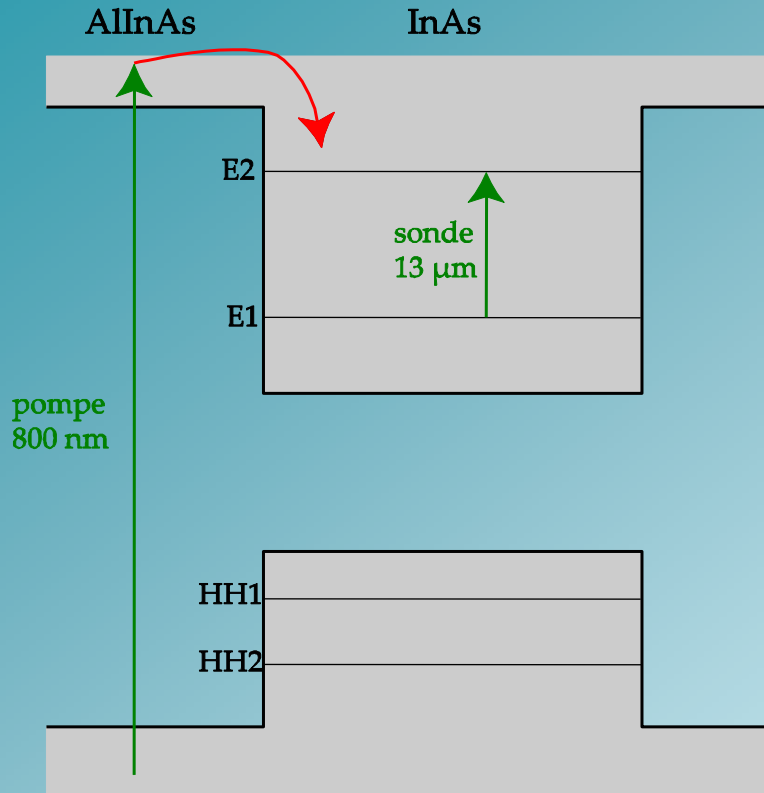
Réponse = 0,14 A/W

- ▶ Régime limité par le bruit de la scène observé (BLIP) à 50K jusqu'à $14\mu\text{m}$
- ▶ détecteur BLIP au-dessus de 77K dans la gamme 4 – $8\mu\text{m}$

☑ Ces performances suggèrent un allongement du temps de capture dans les fils

Dynamique

► Spectroscopie pompe sonde IR femtoseconde



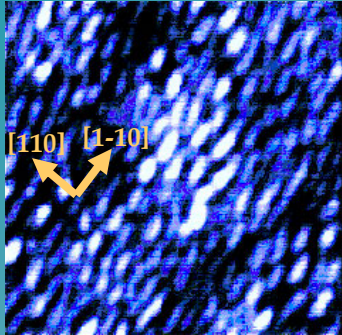
► E. Péronne et al., PRB 63, 081307 (2001)

Temps de capture dans les fils étroits : 6ps

Temps de capture dans les fils larges : 3ps

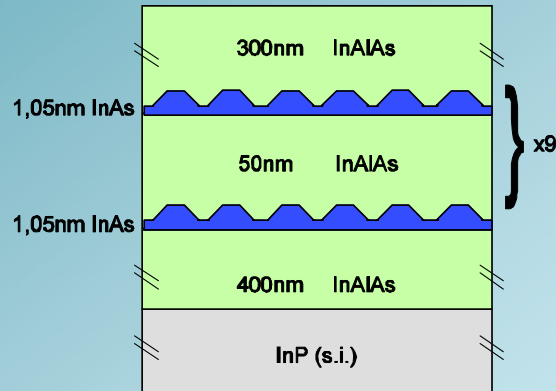
☑ Temps de capture plus long que dans les puits quantiques (QWIP).

Chapelet de boîtes quantiques



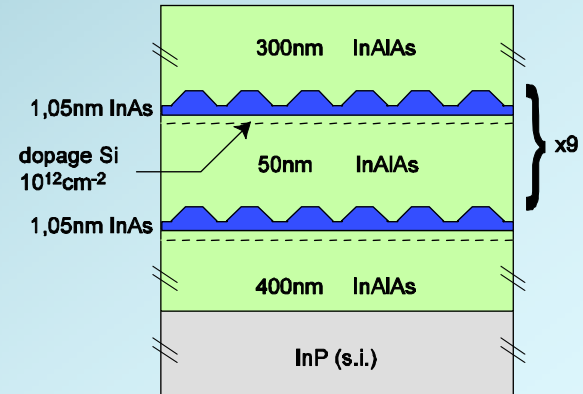
Structure	Barrière (nm)	Préparation de la surface	Densité	Hauteur (nm)	Longueur (nm)	Largeur (nm)
Chapelets de boîtes 10,5Å déposés	50 nm (10 plans)	Arrêt de croissance 10 mn sous P_{As}	10^{11} cm^{-2}	$1,8 \pm 0,6$	43 ± 6	28 ± 4

M839



Non - dopé

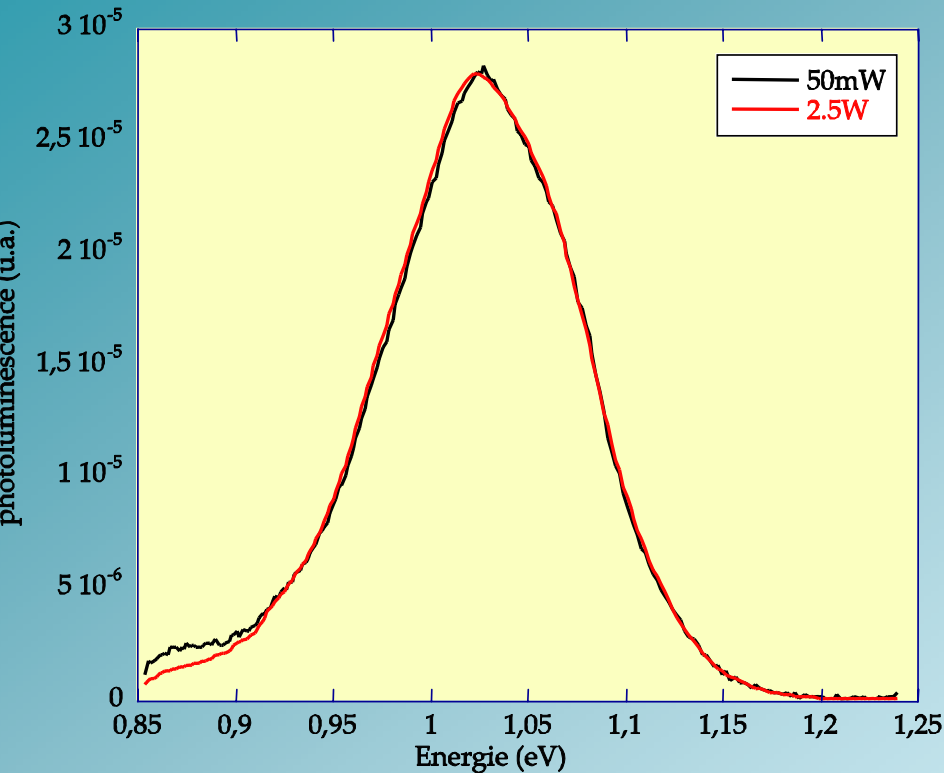
M780



Dopé n

Spectroscopie interbande

► Photoluminescence à 77K d'un échantillon à 10 plans de boîtes allongées en chapelet (n.i.d.)



$$PL_{M839} = 1,03 \text{ eV}$$

$$FWHM = 117 \text{ meV}$$

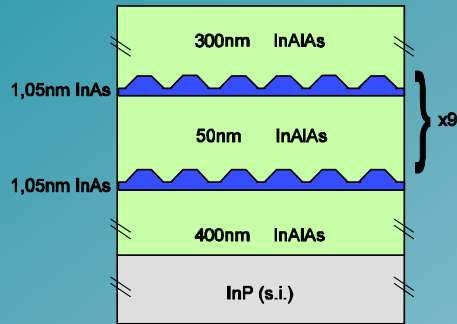
Pas d'élargissement avec la puissance d'excitation

☑ L'élargissement du pic traduit la dispersion de taille dans le plan des boîtes

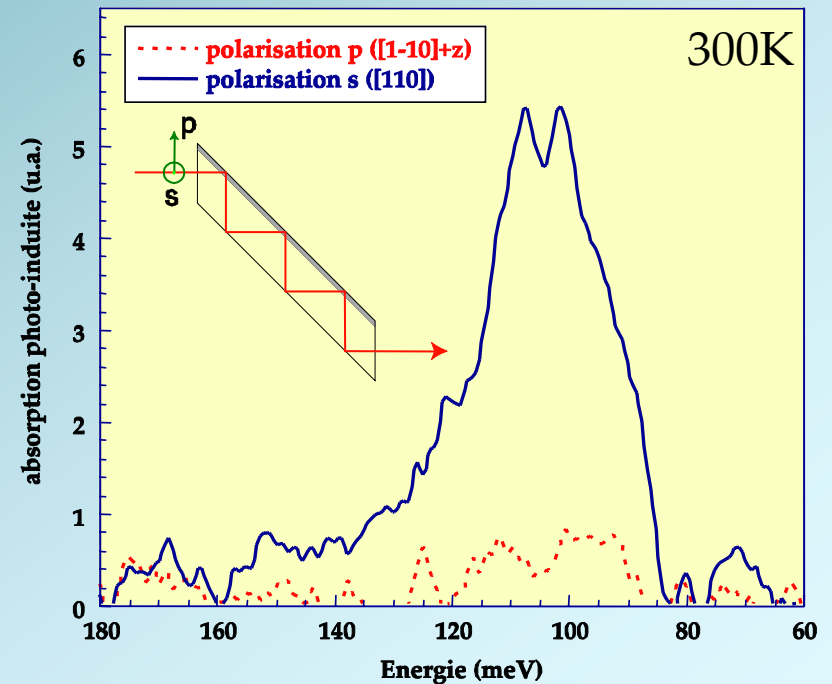
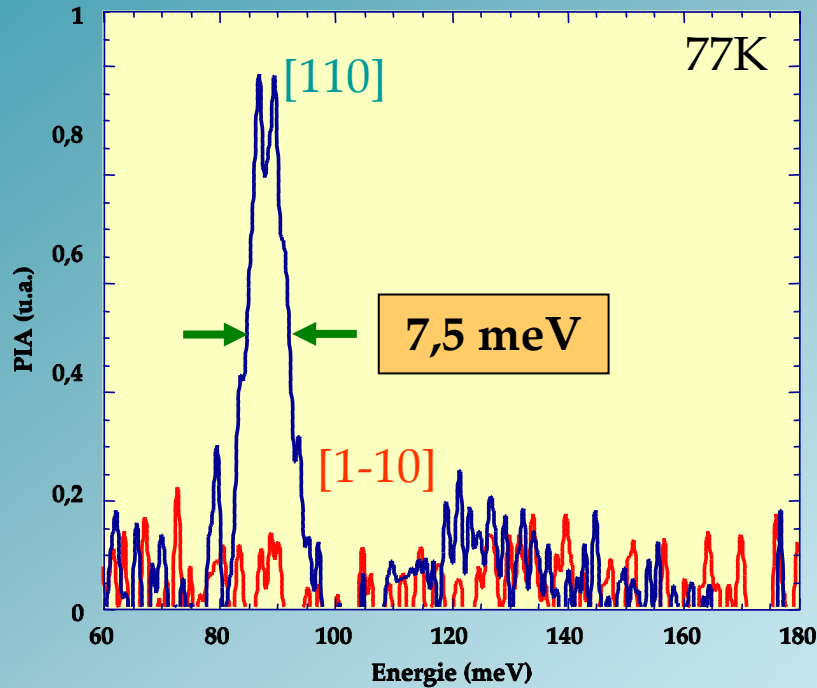
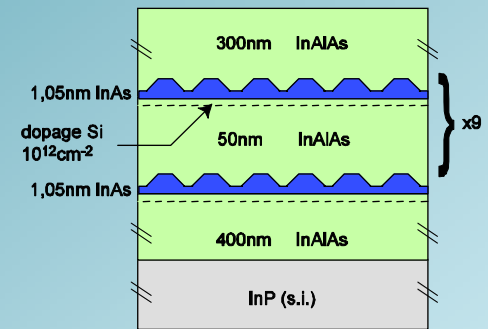
☑ Comportement identique à celui des fils

Absorption à incidence normale

M839



M780

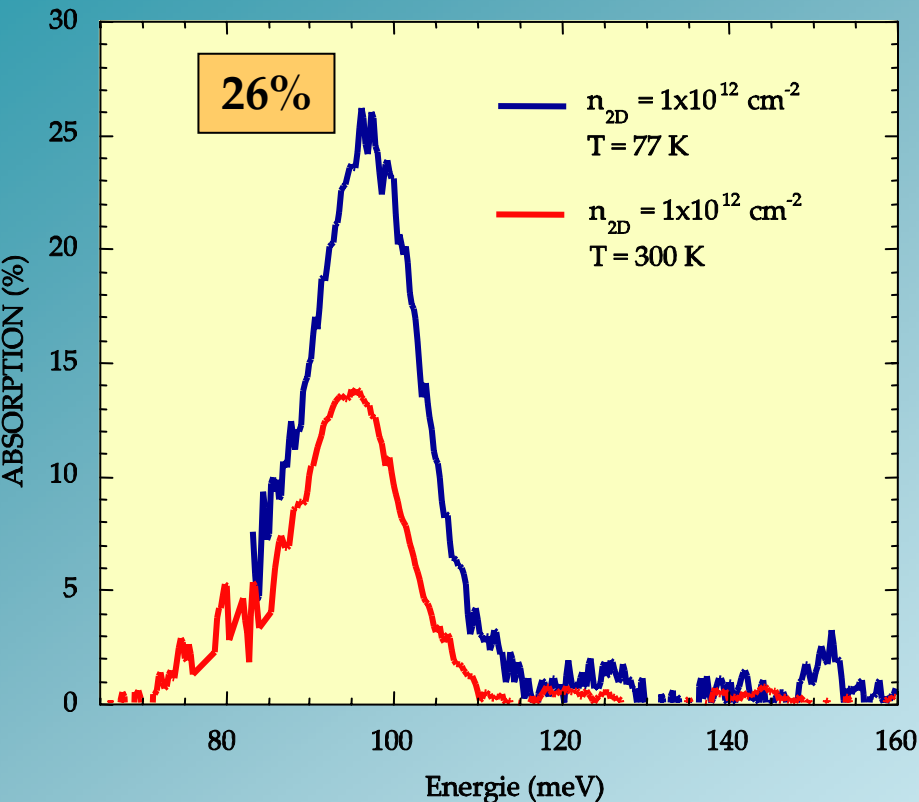


☑ Absorption très étroite (FWHM=7,5 meV).

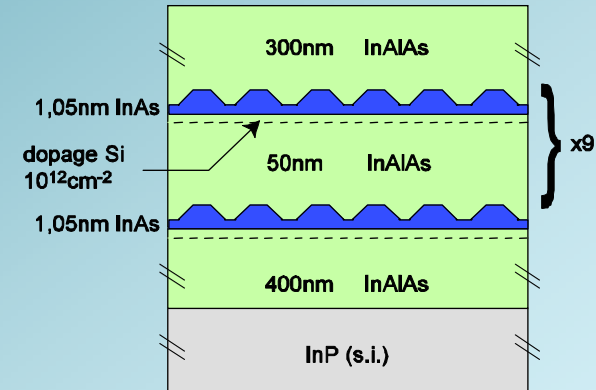
☑ Pas de signe de confinement selon [1-10] \Rightarrow connexion des boîtes en chapelet le long de [1-10]

Absorption à incidence normale

► Absorption à 77K d'un échantillon à 10 plans d'îlots dopés



M780



Boîtes quantiques InAs/InAlAs :

$$\sigma \approx 3 \times 10^{-14} \text{ cm}^2$$

$$\langle x \rangle \approx 29 \text{ \AA}$$

$$f \approx 21$$

☑ Absorption intense à incidence normale : 2,6% par plan !

☑ Valeur record de la force d'oscillateur

☑ Décroissance avec la température en accord avec un modèle 1D

Les chapelets de boîtes

✓ L'étude optique montre que les chapelets de boîtes adoptent un **comportement filaire** ce qui suggère une connexion des boîtes le long de l'axe [1-10].

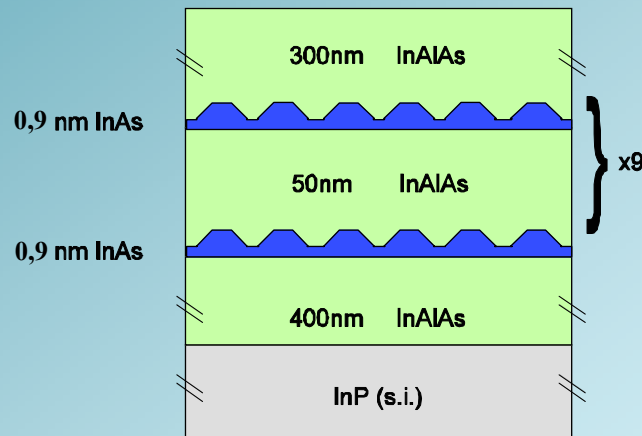
✓ La spectroscopie photo-induite met en évidence une absorption très étroite : **7,5 meV** pour une résonance à 90 meV.

✓ Enfin, l'absorption **à incidence normale** atteint une valeur record de **26%** pour 10 plans de boîtes dopées à 10^{12}cm^{-2} . La force d'oscillateur associée à la transition étant évaluée à **21**.

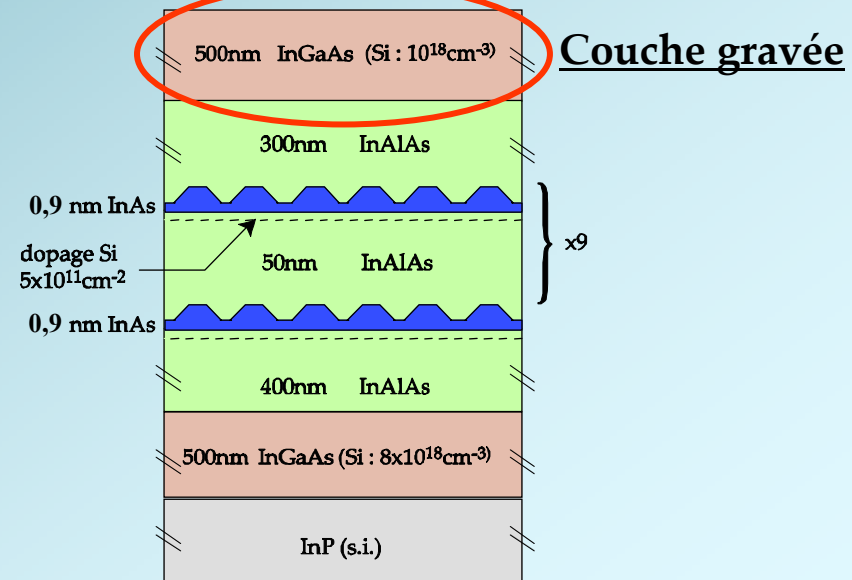
Boîtes quantiques isolées

Structure	Barrière (nm)	Préparation de la surface	Densité	Hauteur (nm)	Longueur (nm)	Largeur (nm)
Boîtes isolées 9Å déposés	50 nm (10 plans)	Arrêt de croissance 10 mn sous P _{As}	-	-	-	-

M925



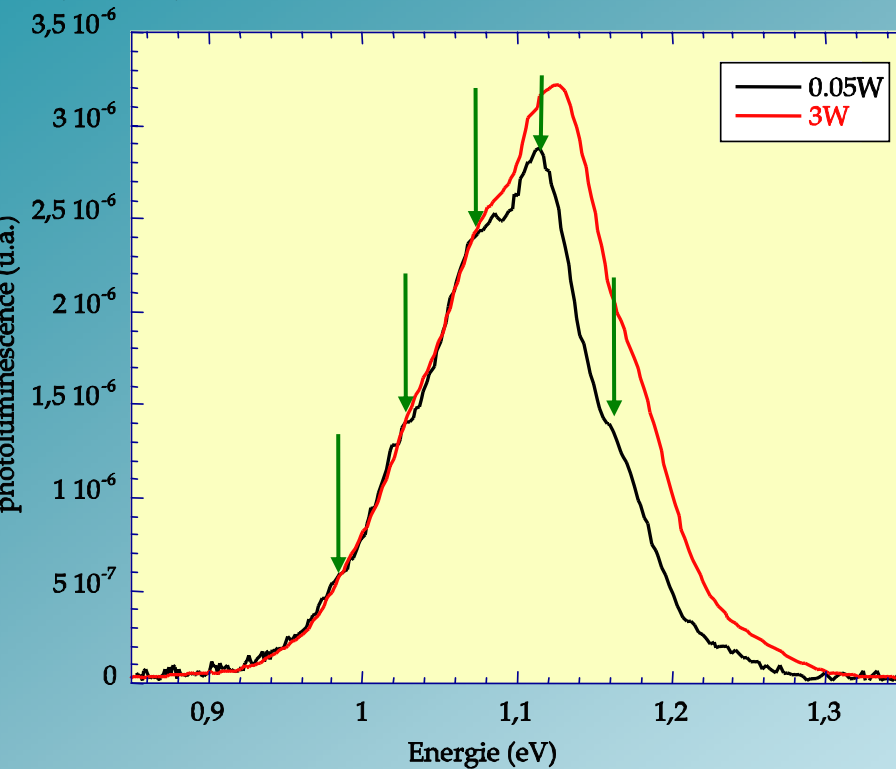
M875



Échantillon
photodétecteur

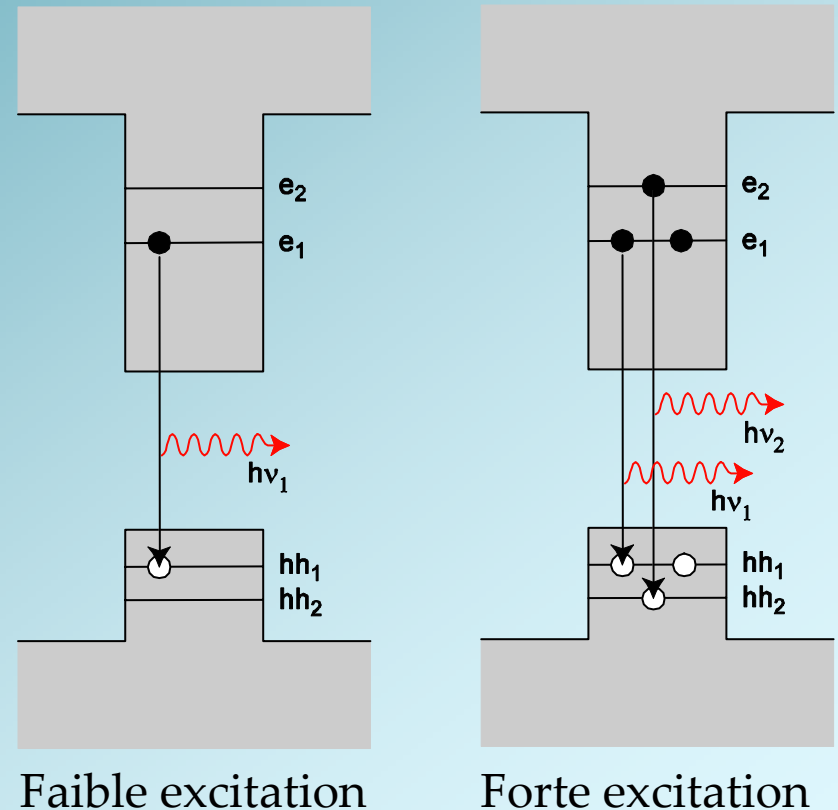
Spectroscopie interbande

► Photoluminescence à 77K de un échantillon à 10 plans de boîtes allongées isolées (n.i.d.)



$PL_{M925} = 1,11 \text{ eV}$ structurée

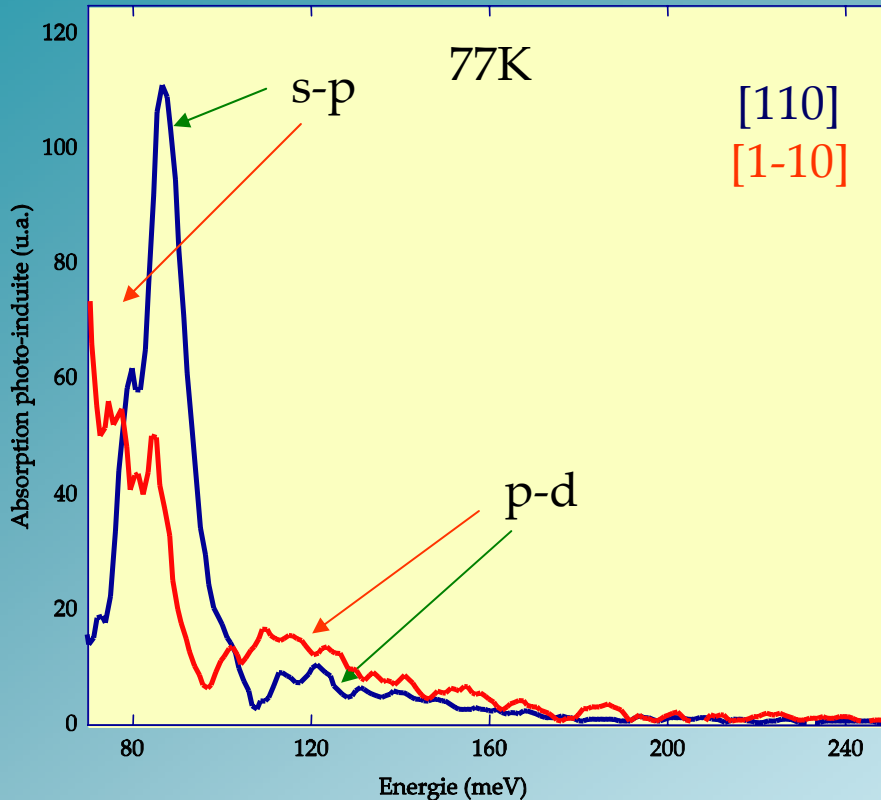
FWHM = 125 meV (139 meV à 3W)



☑ La structuration du pic de photoluminescence signe la formation de boîtes.

Absorption photo-induite à incidence normale

PIA sur 10 plans de boîtes dopées à $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$



[110]

Absorption intense à 87 meV (FWHM = 13 meV)
Absorption faible à 120 meV (FWHM = 30 meV)

[1-10]

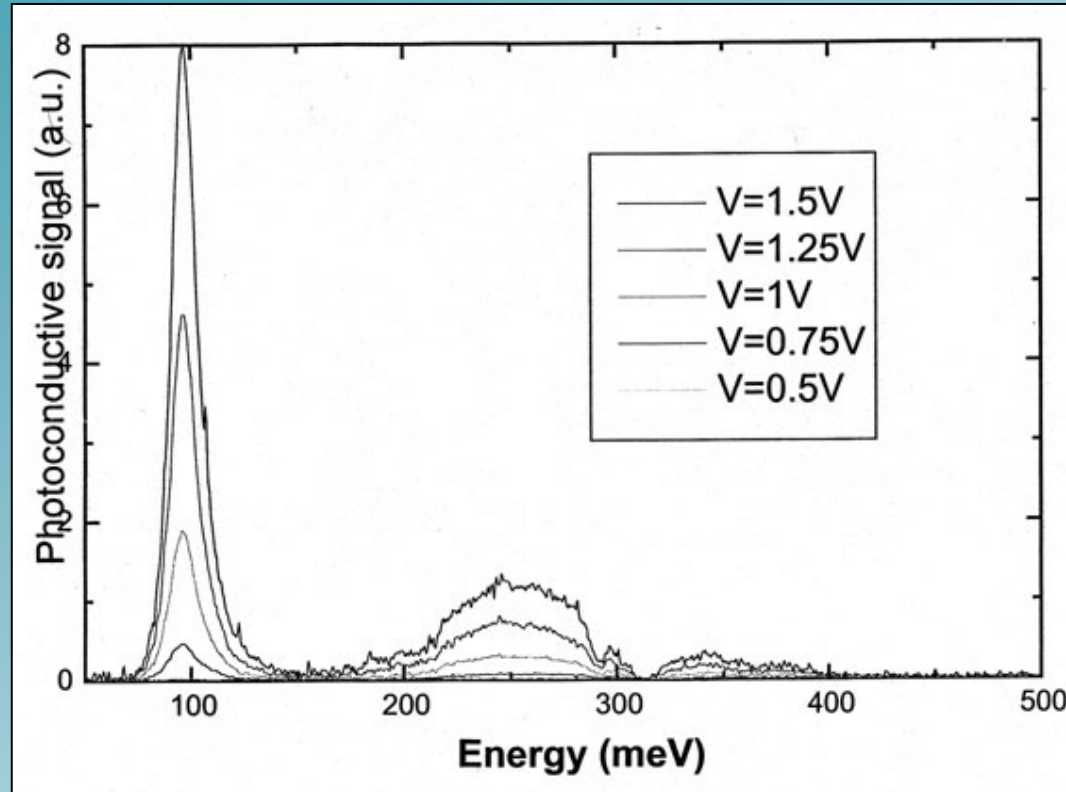
Absorption intense à 70 meV (FWHM = 20 meV)
Absorption faible à 110 meV (FWHM = 30 meV)

Evolution en température suggère que les transitions à 110-120 meV s'effectuent à partir de niveaux excités.

☑ Présence d'absorption polarisées selon l'axe [110] ou l'axe [1-10] dans les boîtes isolées \Rightarrow confinement des porteurs dans les 3 directions de l'espace.

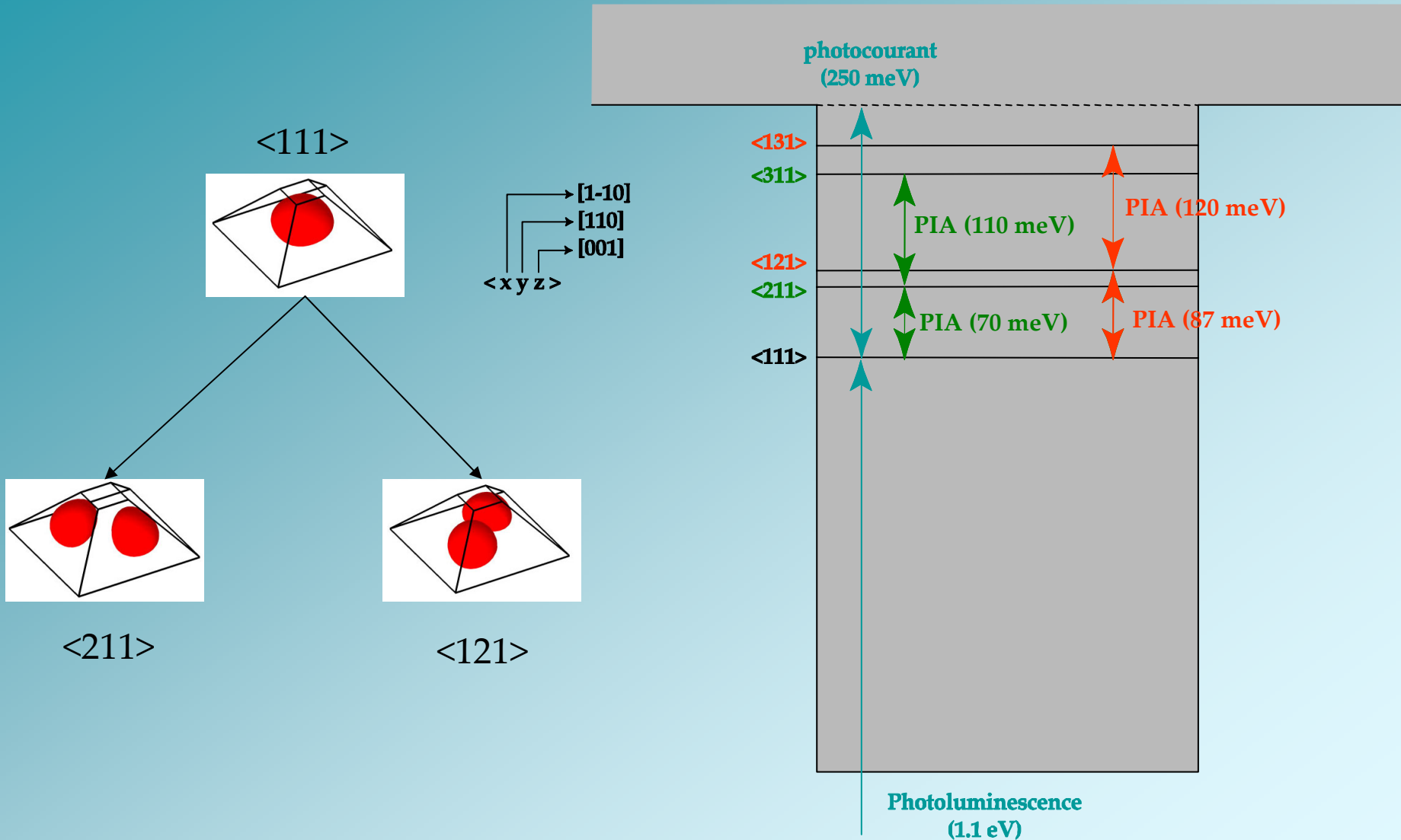
Photoconduction à incidence normale

► Spectre de photocourant non polarisé à 24K

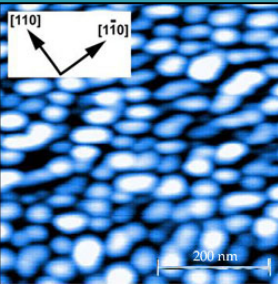


E_1 -continuum ≈ 250 meV
 $E_1 - E_2 \approx 100$ meV

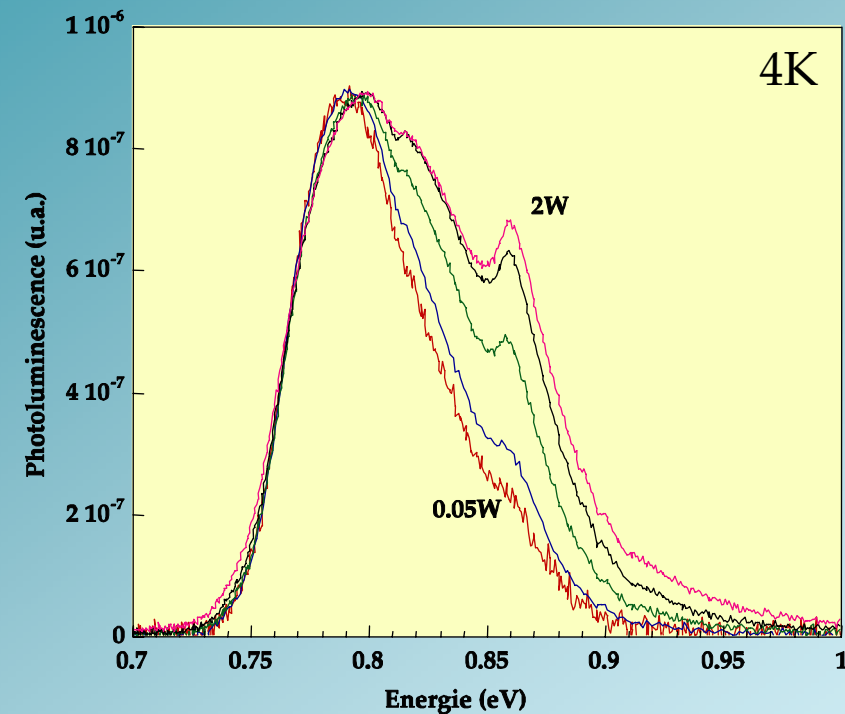
Structure énergétique des boîtes allongées isolées



Boîtes isotropes



Structure	Barrière (nm)	Préparation de la surface	Densité	Hauteur (nm)	Longueur (nm)	Largeur (nm)
Boîtes isotropes	1 plan	Derniers 3nm d'AlInAs stabilisés en élément III	$5 \times 10^{10} \text{ cm}^{-2}$	$5 \pm 1,2$	60 ± 15	40 ± 10



PL = 790 meV (FWHM=65 meV)

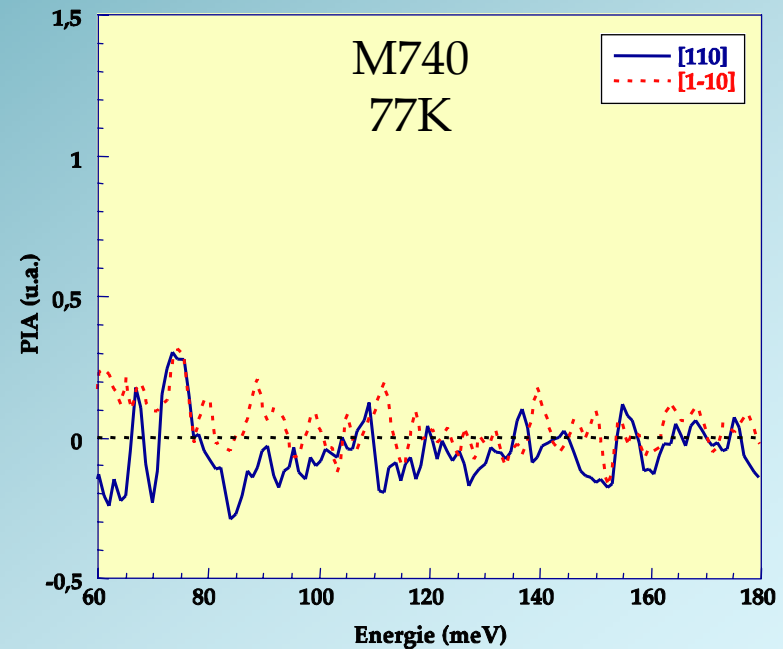
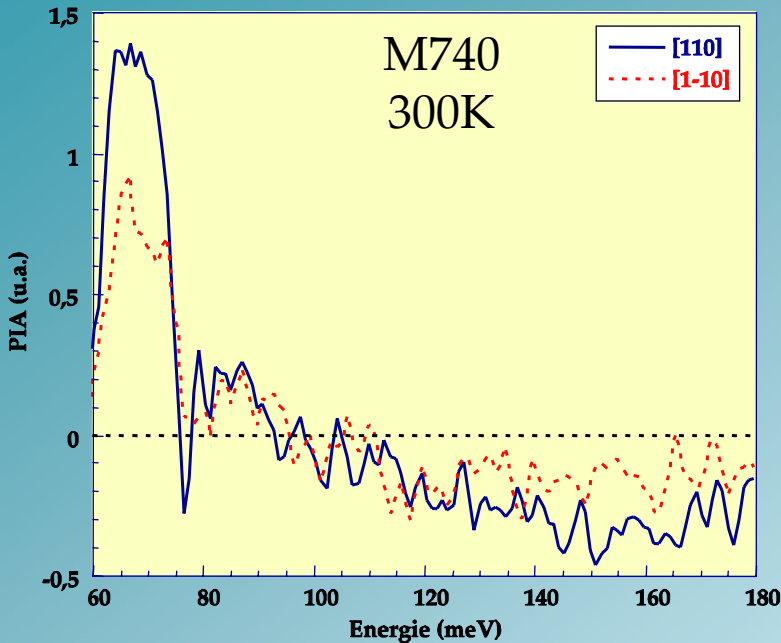
1 état excité à 17 meV

1 état excité à 60 meV

- ✓ Boîtes plus grosses \Rightarrow PL à plus basse énergie
- ✓ Meilleure homogénéité
- ✓ 2 états excités \Rightarrow signature "boîte"

Absorption photo-induite à incidence normale

► Evolution du signal d'absorption photo-induite dans les boîtes isotropes



- ✓ Pas d'absorption à 77K dans la gamme spectrale explorée ($\lambda < 20\mu\text{m}$)
- ✓ Absorption à 300K \Rightarrow transition entre niveaux excités
- ✓ absence de polarisation préférentielle : perte de l'ordre

Conclusion

☑ Mise en évidence d'absorptions intrabandes intenses à incidence normale dans le moyen infrarouge dans le système InAs/InAlAs/InP.

☑ Distinction du comportement optique de chaque type de nanostructure.

Type de nanostructure	Confinement dans le plan	Position de la résonance intrabande e_1 - e_2	Forces d'oscillateur
Fils	[110]	96 meV	10,7
Chapelet de boîtes allongées	[110]	88-98 meV	21
Boîtes allongées isolées	[110] et [1-10]	87-100 meV [110] 70 meV [1-10]	$f > 13$
Boîtes isotropes	[110] et [1-10]	$E_{1-2} \approx 10-15$ meV	-

☑ Excellentes performances des photodétecteurs à fils quantiques :

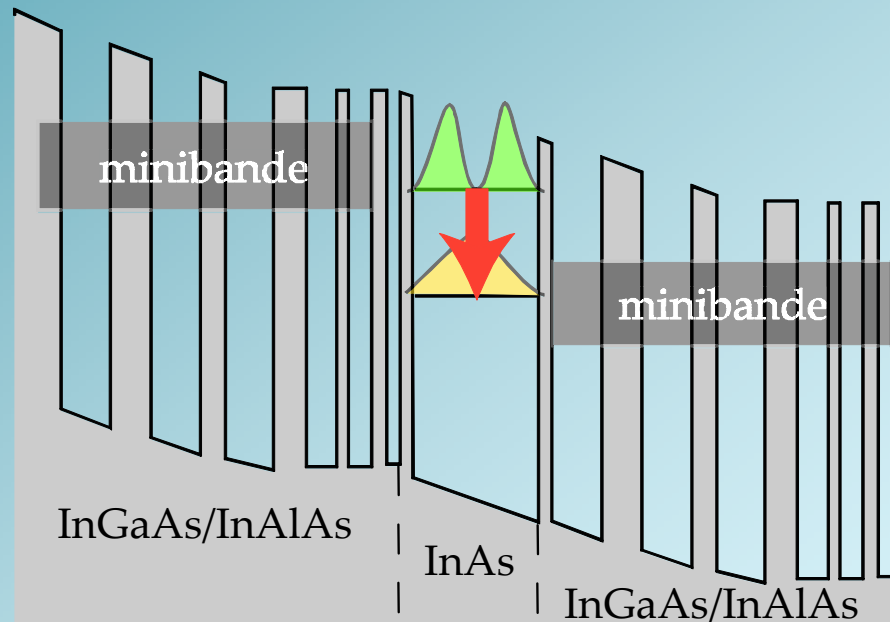
Réponse = 0,14 A/W

Détecteur BLIP dans la gamme 4-8 μ m à 77K

Perspectives

✓ Effectuer des expériences de pompe sonde infrarouge résonnant afin de mesurer les durées de vie dans l'état excité.

✓ Développer des sources électroluminescentes à cascade quantique dans les fils et les boîtes InAs afin d'exploiter les forces d'oscillateur géantes dans ces structures.



✓ Evaluer les performances en bruit et la détectivité d'un photodétecteur à boîtes quantiques.

Remerciements

Antigoni ALEXANDROU

Julien BRAULT

Stéphane CABARET

Sergeï DANILOV

Bruno BECCARD

Flavien DELGEHIER

Jean-Pierre LEBURTON

Eliezer FINKMAN

Gérald BASTARD

Michel GENDRY

Jean-Michel LOURTIOZ

Isabelle PREVOT

Kareen FOSSARD

Emmanuelle DELEPORTE

Olivier GAUTHIER-LAFAYE

Michel HUISSIER

François JULIEN

Jérôme LOPEZ

Sebastian ROWSON

Robson FERREIRA

Bassem SALEM

Guy FISHMAN

Emmanuel PERONNE

Shmuel SCHACHAM

Khalid MOUMANIS

Ana HELMAN