

Détection IR avec de l'YBCO non-refroidi

Par : Martin Bourgeois

Direction : Pr Roger A. Lessard

Co-direction : Dr Robert Provencher

Collaboration : Dr Philippe Mérel and Chantal Lavigne ing. jr

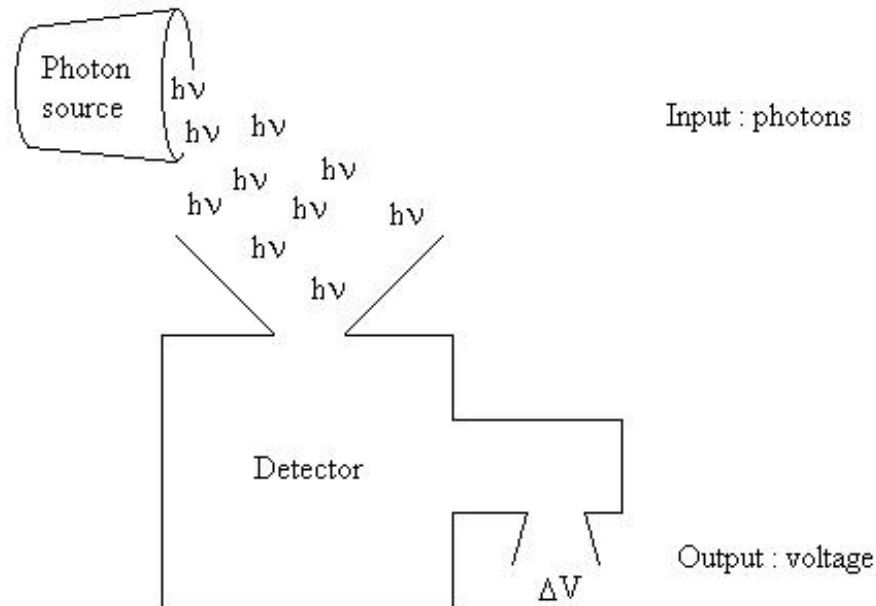


1. Objectifs

- 1 : Fabriquer un film d'YBCO qui répond électriquement à l'absorption d'une impulsion laser de façon passive, à température ambiante.
- 2 : Comprendre le mécanisme sous-jacent et ses relations avec la structure du matériau.

2. Détecteur : définition

Dispositif qui convertit des ondes EM (optiques ou IR dans notre cas) en différence de potentiel



2. YBCO : description

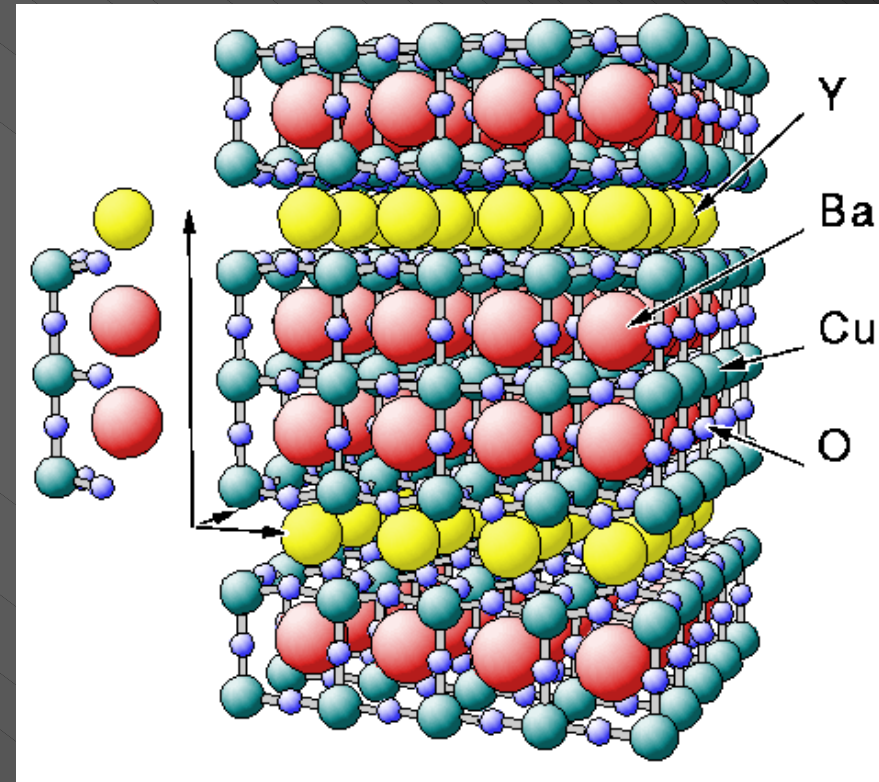
Structure : à base de pérovskite

Éléments : Y, Ba, Cu et O

Phase de référence : $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$

Propriétés importantes :

- Supraconducteur à $T_c \approx 95 \text{ K}$
- Semiconducteur à T ambiante
- Structure de pérovskite
- Plans de CuO



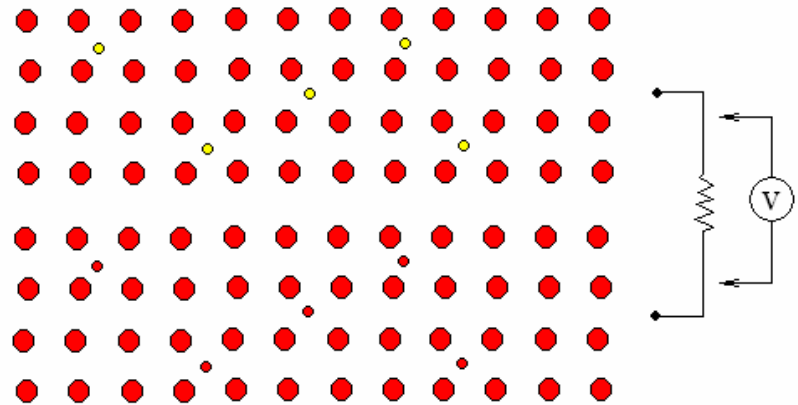
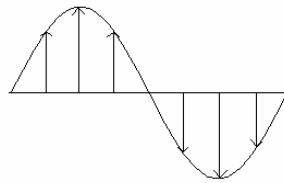
2. YBCO comme détecteur passif

4 possibilités connues :

- Effet photovoltaïque (?)
- Effet pyroélectrique
- Effet thermoélectrique

2. Éffet photovoltaïque

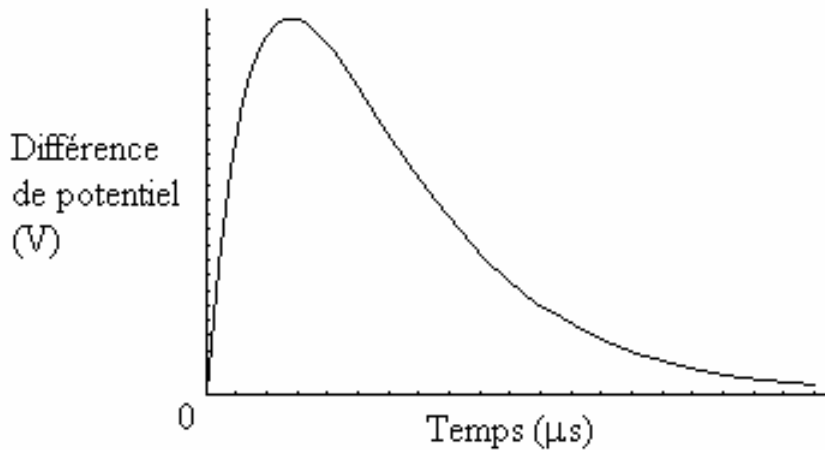
- Création de paires trou-électron lors de l'absorption
- Nécessite un courant de polarisation ou des jonctions p-n



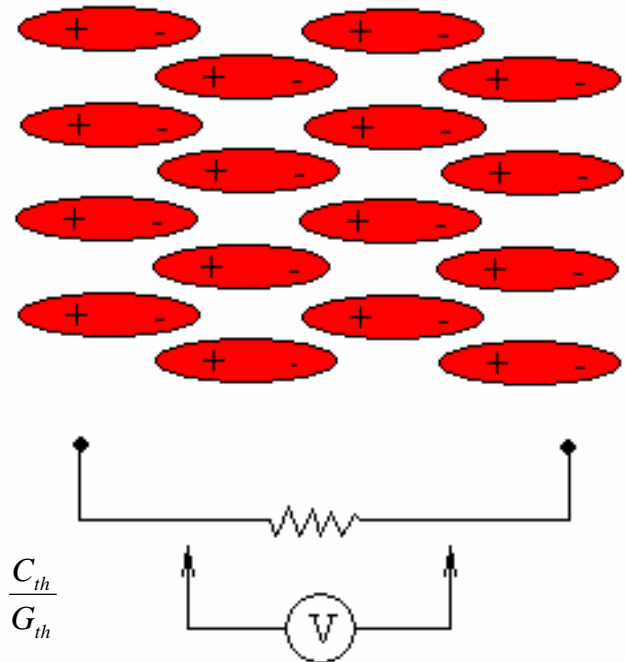
nombre de porteurs $\propto e^{-\frac{cte}{T}}$

2. Éffet pyroélectrique

- La radiation augmente le volume des cellules primitives. La pyroélectricité a lieu si les cellules sont naturellement polarisées.
- Absorption de radiation => énergie moléculaire $\uparrow \Leftrightarrow$ Température $\uparrow \Rightarrow$ Dilatation polarisée \Leftrightarrow Courant bref



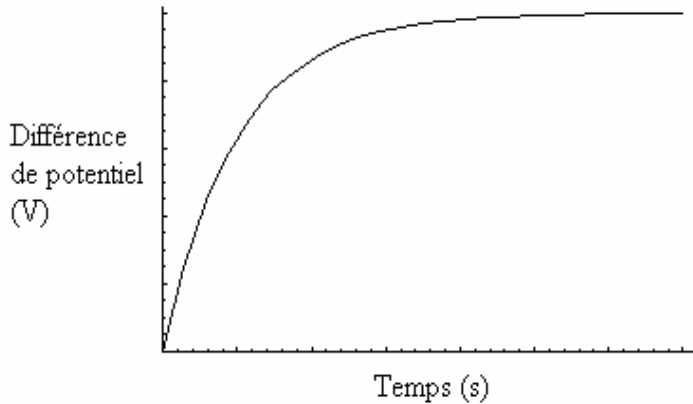
$$V_A(t) = \frac{K t_e}{t_{th} - t_e} \left[\exp\left(\frac{-t}{t_e}\right) - \exp\left(\frac{-t}{t_{th}}\right) \right], \quad K = \frac{pAhE}{C_{th}C}, \quad t_e = R_S C, \quad t_{th} = \frac{C_{th}}{G_{th}}$$



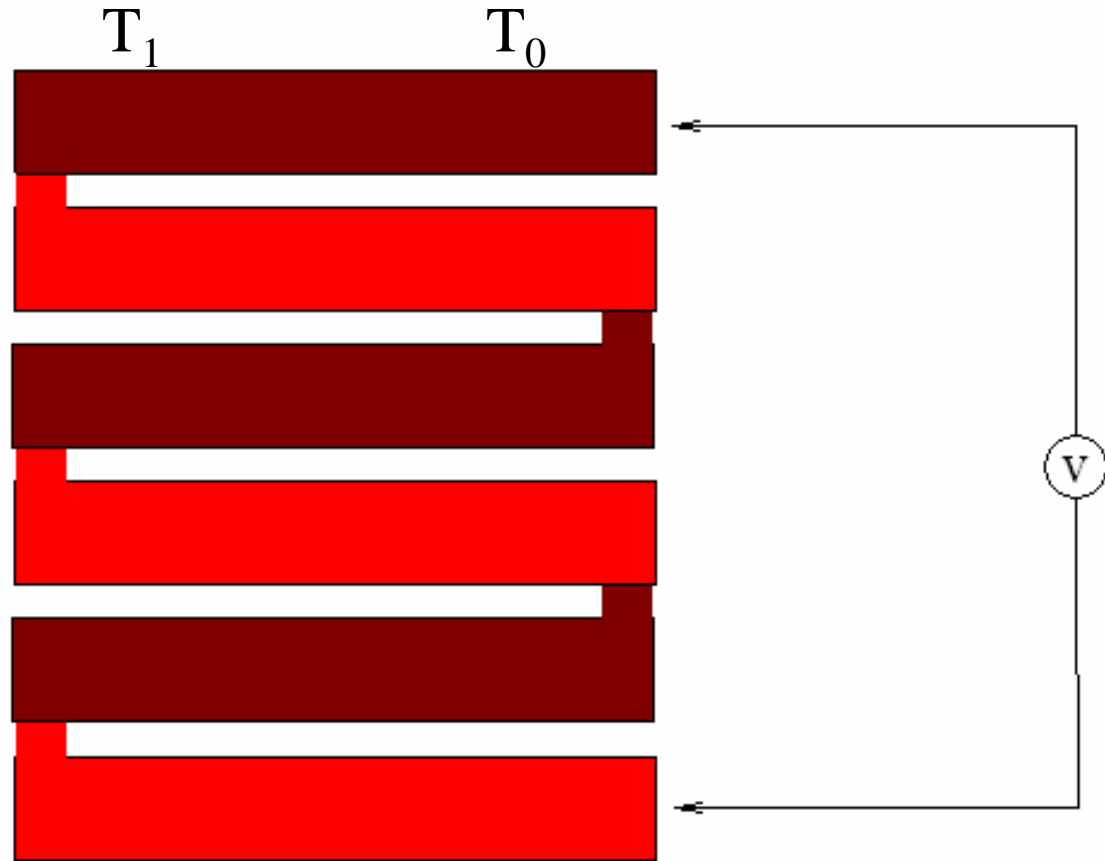
2. Éffet thermoélectrique

1 métal : $V = S\Delta T$

n thermocouples : $V = n\Delta S\Delta T$

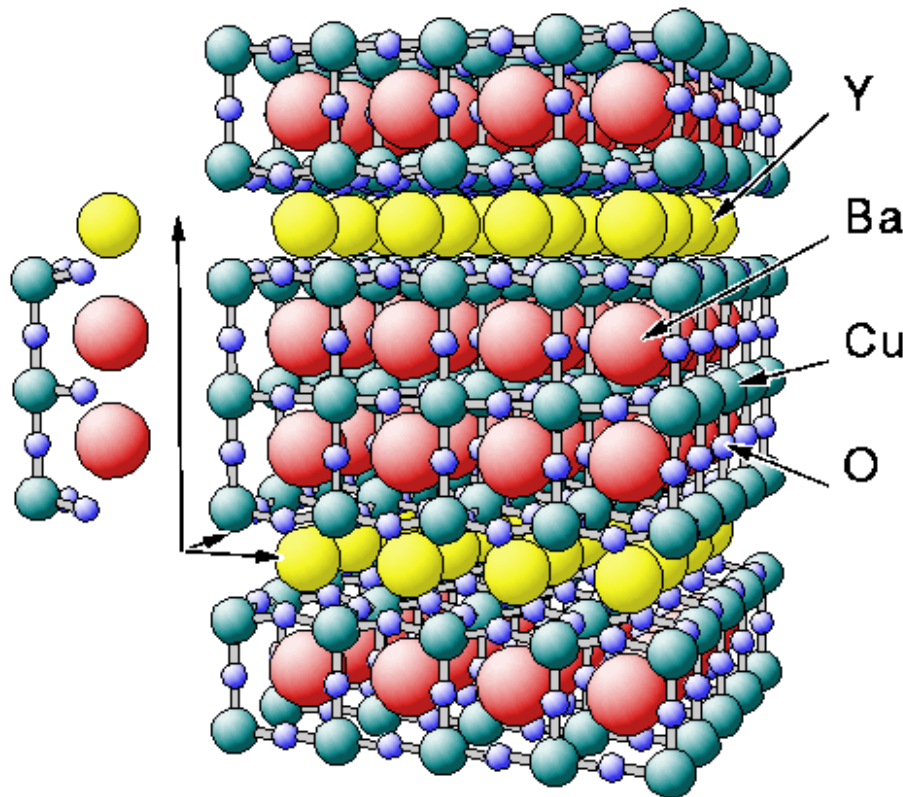


$$V(t) \propto n\Delta S \left(1 - e^{-t/\tau}\right)$$



2. Éffet thermoélectrique transverse

Modèle de la thermopile atomique :

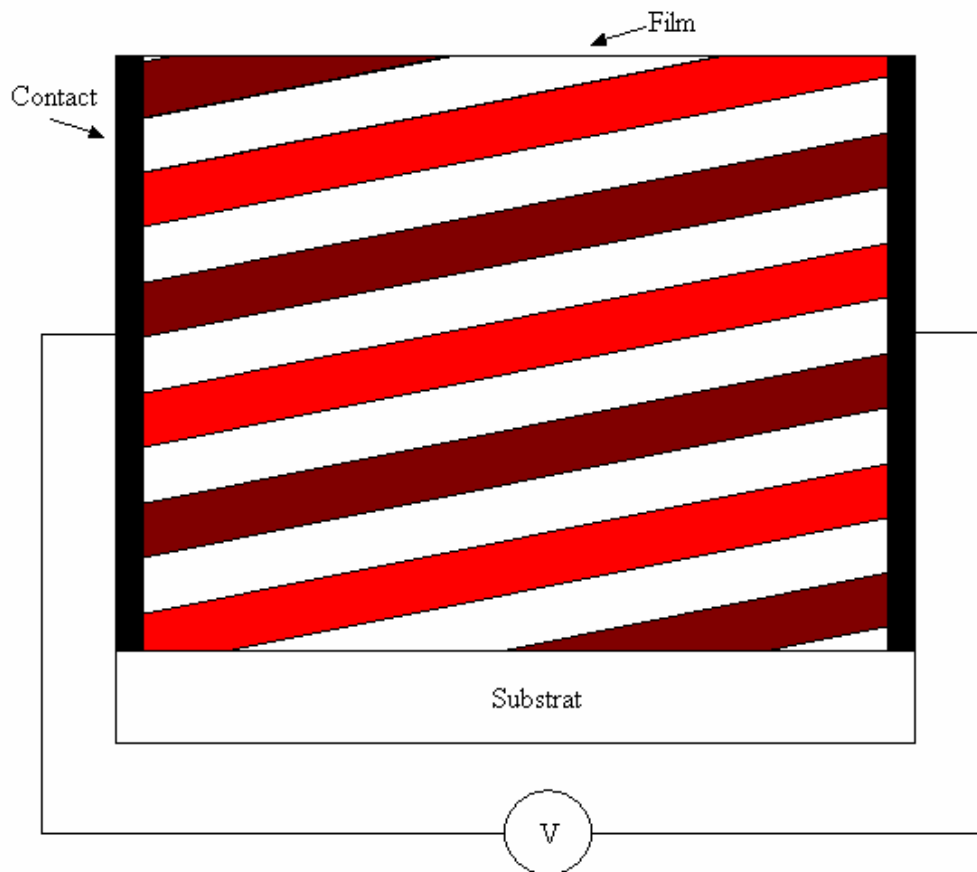


CuO/Y/CuO
Ba
CuO
Ba

Plan de CuO – Y – CuO
Plan de Ba
Plan de CuO
Plan de Ba
Plan de CuO – Y – CuO
Plan de Ba
Plan de CuO
Plan de Ba
Plan de CuO – Y – CuO
Plan de Ba
Plan de CuO
Plan de Ba
Plan de CuO – Y – CuO
Plan de Ba
Plan de CuO
Plan de Ba
Plan de CuO – Y – CuO

2. Éffet thermoélectrique transverse

Modèle de la thermopile atomique :



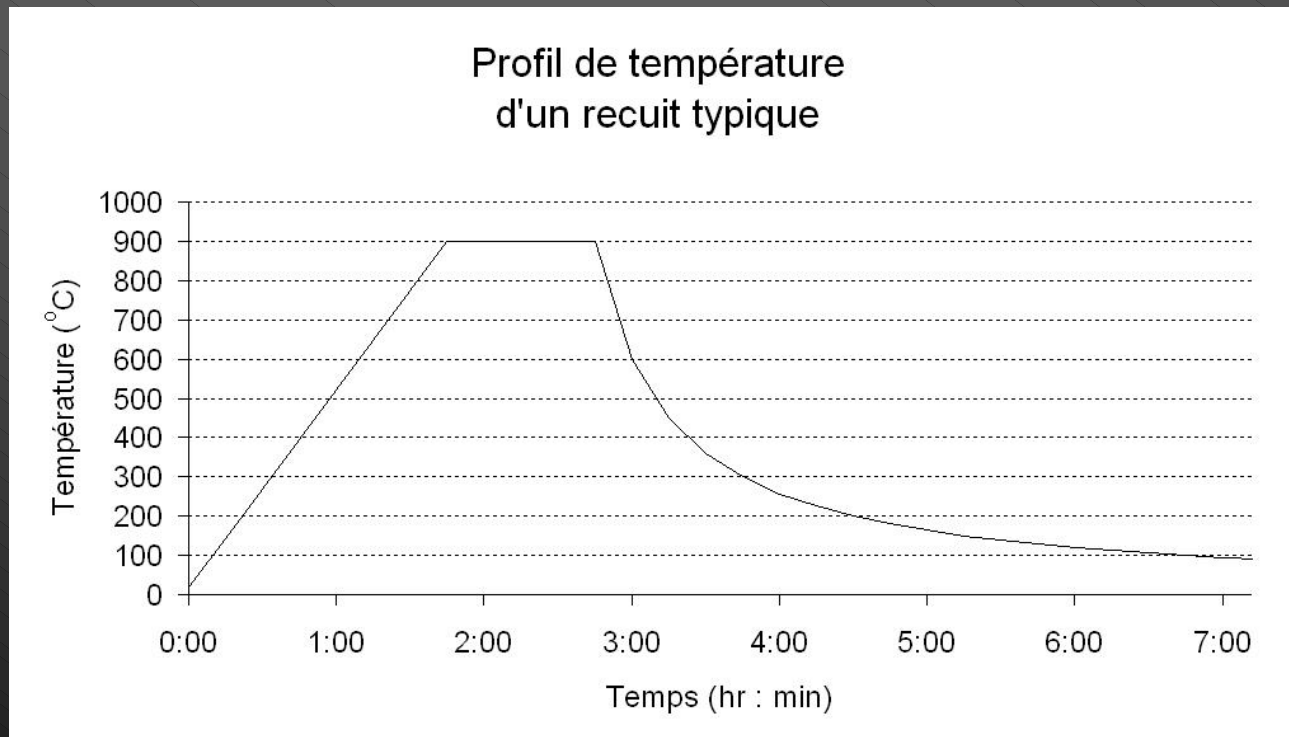
$$V = \Delta T \Delta S \frac{l}{2d} \sin 2a$$

Substrat : STO

Paramètre de maille : 3,9 Å
(vs "3,85 for YBCO)

3. Fabrication : Dépôt et recuit

- Pulvérisation (« sputtering »)
- Recuit ex situ

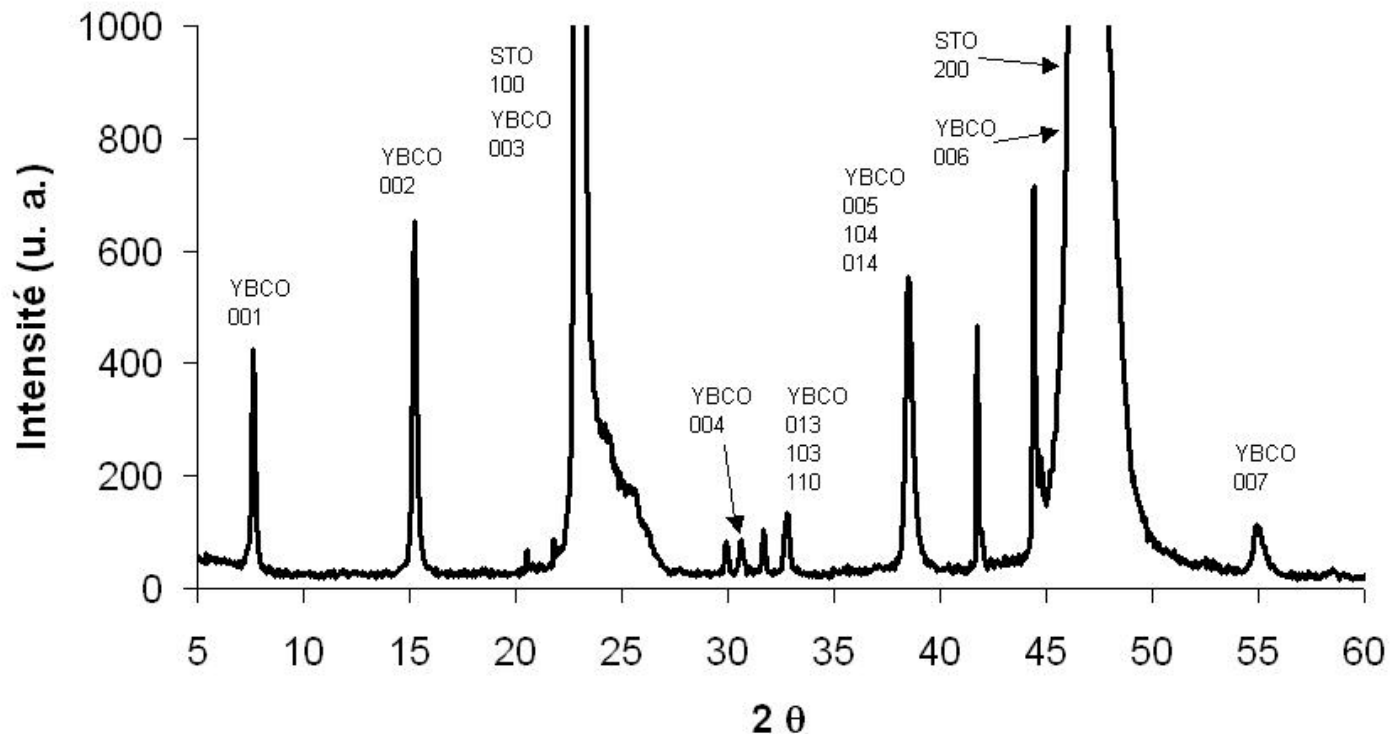


3. Caractérisation : XRD

Balayage θ - 2θ normal

Spectre de DRX de S1

250 nm, recuit à 875 °C pendant 1 heure



- Prédominance de $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ orienté selon (001)

3. Caractérisation : XRD

Balayage- Ω , (“rocking curve”)

Source	Substrat/conditions	FWHM, pic 005
Sv6 : 60 min anneal in air	001 at 10°	0,649
Sv7 : 60 anneal in O ₂	001 at 10°	0,653
Méchin et al.; Properties of..., 98	001 à 0°	0,142
Méchin et al.; Properties of..., 98	001 à 2°	0,466
Méchin et al.; Properties of..., 98	001 à 4°	0,468
Méchin et al.; Properties of..., 98	001 à 6°	0,422
Brecht et al.; Epitaxial..., 98	113 à 0 deg, T _s = 770 °C	0,9
Brecht et al.; Epitaxial..., 98	113 à 0 deg, T _s = 530 °C	0,06
Li et al.; A Comparative..., 01	Magnétron	0,18
Li et al.; A Comparative..., 01	Sans mag , PO1	0,82
Li et al.; A Comparative..., 01	Sans mag , PO2	0,23

- Cristallisation comparable à celle d'autres groupes
- Alignement selon la coupe du substrat

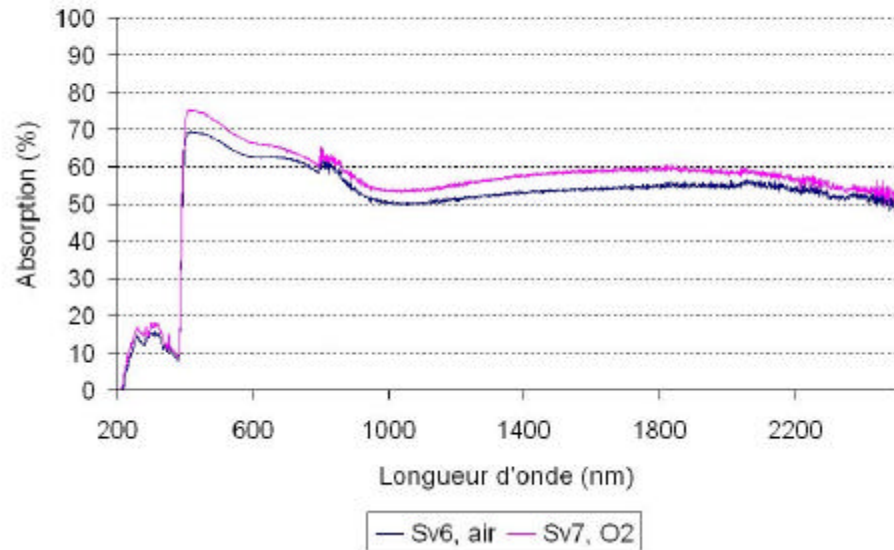
3. Characterisation : Resistivité

	Resistivity r (Ω cm)	Resistivity r (Ω cm)
Annealing conditions	10 min	60 min
900 °C in air	4,2 ± 0,7	7 ± 1
900 °C à l'O ₂	0,6 ± 0,1	0,7 ± 0,1

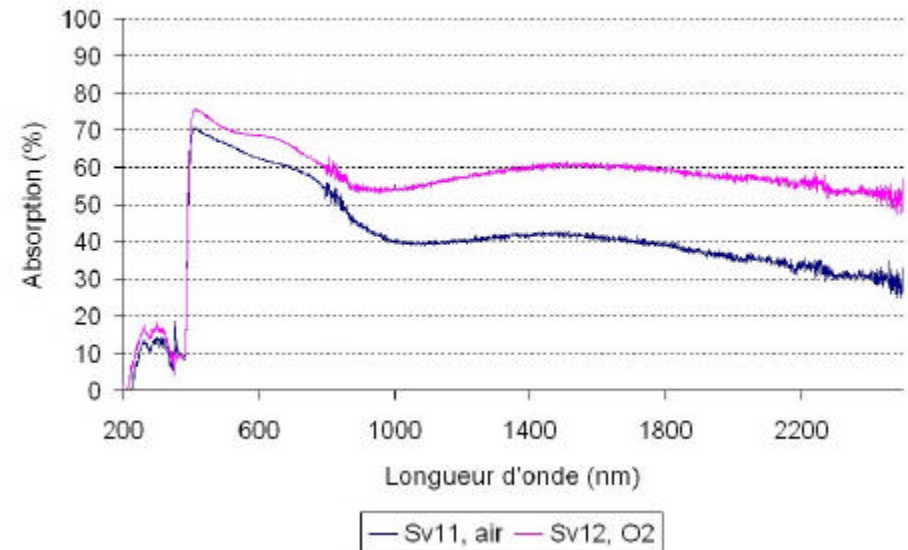
- Recuit plus court avec O₂ => Resistivité ↓

3. Caractérisation : Spectrophotométrie

Absorption de 2 échantillons, recuit : 1 heure



Absorption de 2 échantillons, recuit : 10 min



- Incertitude : $\pm 5 \%$
- Recuit dans l'O₂ => + absorption
- Durée du recuit => inconclusif

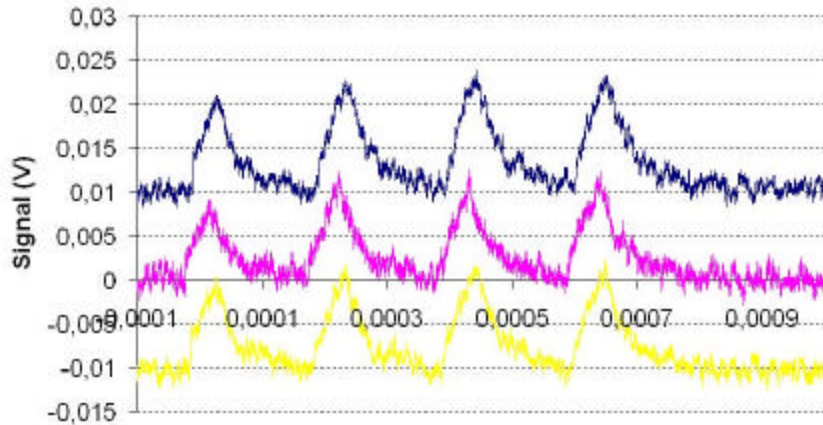
3. Caractérisation au laser

- CO₂ :
 - pulsé : 1 ms
 - 10,2 μm
 - "130 mJ

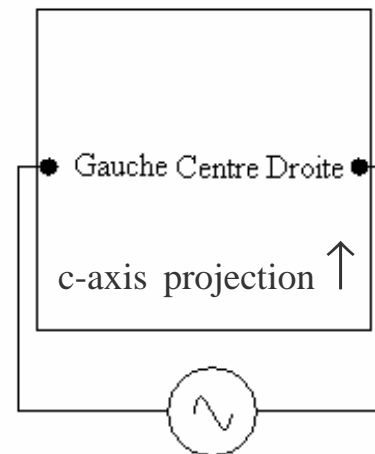
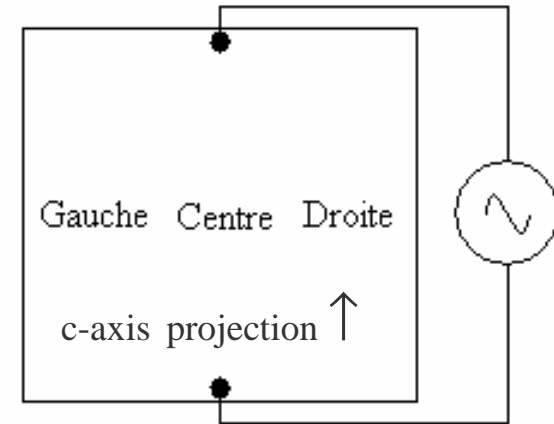
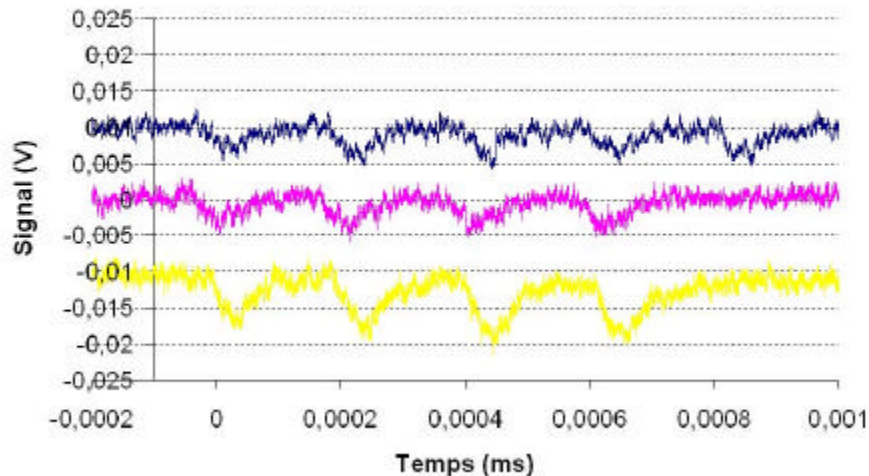
- Nd:YAG :
 - pulsé : 6-7 ns
 - 1064 nm
 - " 400 μJ

3. Caractérisation : Laser CO₂

Signal de Sv6, hor c1



Réponse de Sv6, hor c2



-Signal selon
la projection
de l'axe c

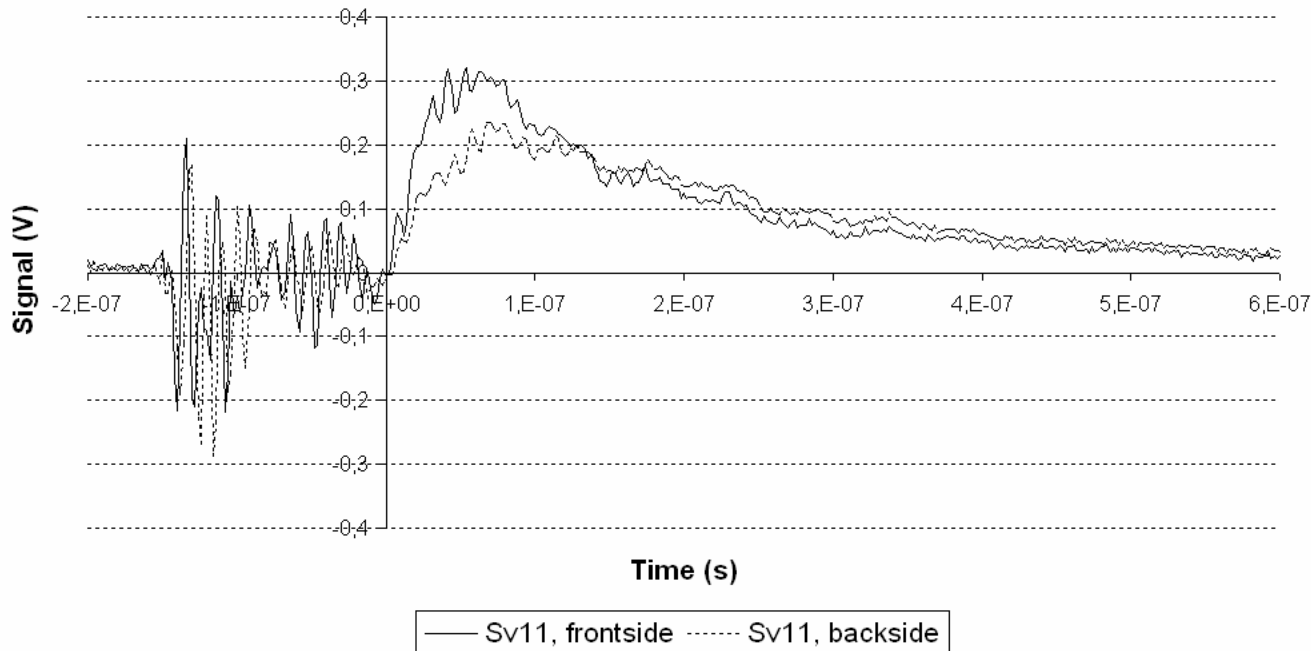
3. Caractérisation : Laser CO₂

Position (x, y) (mm)	Signal		
	Sv6	Sv7	Lv1
	Recuit dans l'air	Recuit dans l'O2	Référence
(-2, 0)	0,11	0,12	1,3
(0, 0)	0,11	0,10	1,5
(2, 0)	0,11	0,22	1,2
(0, 2)	0,10	0,45	1,5
(0, -2)	0,23	0,02	1,5
Moyenne	0,13	0,18	1,4
Écart-type	0,055	0,17	0,15

Faible signal : faible absorption à 10,2 μ m soupçonnée

3. Caractérisation : Nd : YAG

Sv11 (one of our samples)



Sv11 :
Recuit de 10
min. dans l'air

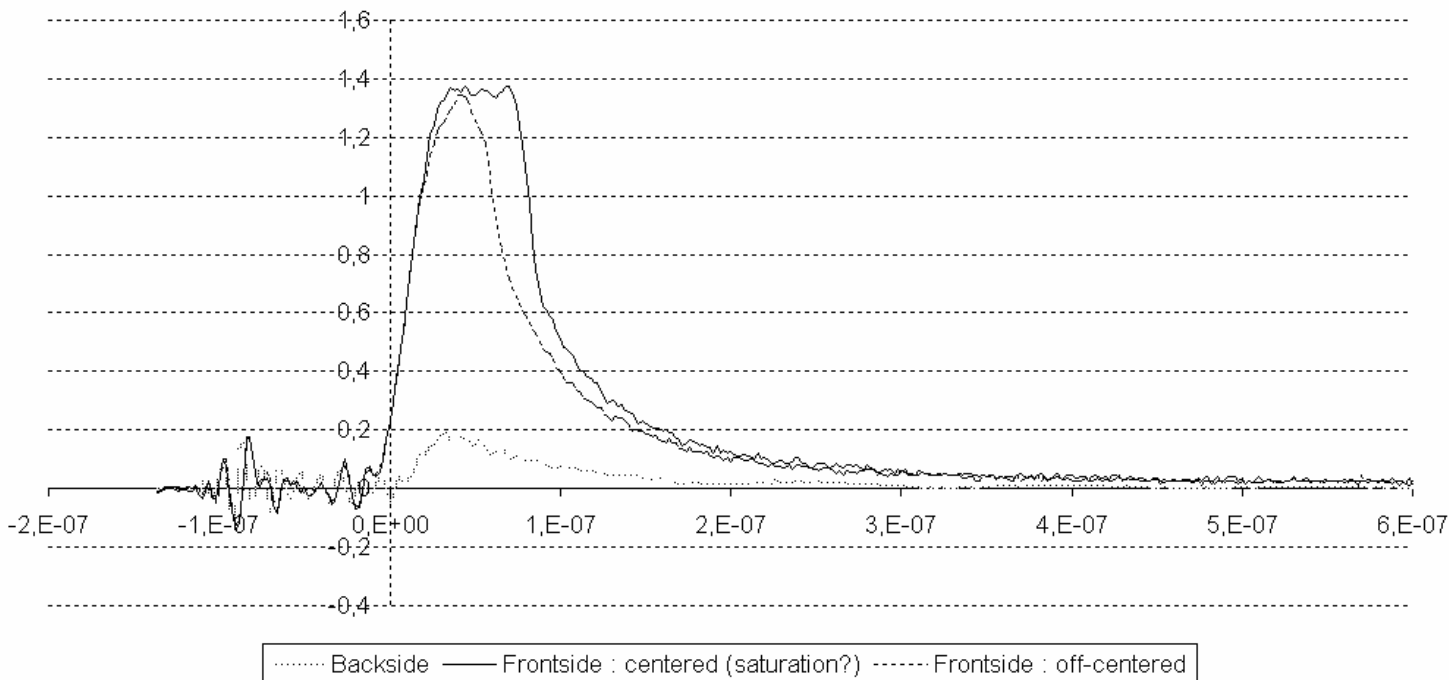
Signal :
150 mV (en
considérant
l'amplification)

Temps de
réponse :
" 80 ns

- Face ou endos: même signe!
- Compatibilité avec le modèle de la thermopile atomique?
- Éffets pyroelectric ou photovoltaïque plus probables

3. Caractérisation : Nd : YAG

Reference signal (commercial film : cristalline YBCO
on miscut substrate)



- Substrat
d' LaAlO_3

=> Signal
plus faible
à l'endos

-Effet de saturation?

-Même signe pour une absorption par la face ou par l'endos

3. Caractérisation : Q-switched Nd:YAG

	Annealing period	60 min		10 min	
		Sv6	Sv7	Sv11	Sv12
		Air annealing	O2 annealing	Air annealing	O2 annealing
Signal for 400 μ J	(mV)	3,5	< 1	50-150	8
Sensitivity	(V/J)	8,75	< 2,5	125	20

- Recuit dans l'air => plus grand signal

-Recuit de 10 min => plus grand signal

4. Analyse

- $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, (001) polycristallin prédominant
- Qualité cristalline moyenne
- Orientation selon la coupe du substrat
- Effets pyroélectrique ou photovoltaïque plutôt que de thermopile atomique?

Parameter\Property		Conductivity	Absorption	Signal for 1,064 micron
Annealing gas :	Air			x
	O ₂	x	x	
Annealing time :	60 min		?	
	10 min	x	?	x

x : conditions préférées pour la propriété

Explications possibles:

- L'incorporation d'oxygène favorise la cristallisation, et ainsi la conductivité électronique, rendant l'échantillon plus métallique que semi-conducteur, et diminuant le signal. L'état semi-conducteur pourrait donc être préféré pour l'obtention d'un signal.
- Un recuit trop long pourrait induire une migration des Cu migration hors de l'échantillon, dégradant ainsi la qualité cristalline.

5. Perspectives

- Vérifier la force du signal en fonction de la fréquence d'impulsion : on croit que cette courbe diffère selon le mécanisme de génération du signal.
- Calculer la distribution de température dans le film et essayer de prédire la différence en utilisant chaque modèle (thermoélectrique, pyroélectrique, et autres?)