

**POSSIBILITES D'INVERSION DE POPULATION
ET D'EMISSION LASER DANS L'ULTRAVIOLET DU VIDE
D'UN EXCIMERE IONIQUE GAZ-RARE/ALCALIN
EXCITE A HAUTE PRESSION ET HAUTE TEMPERATURE
PAR UN FAISCEAU D'ELECTRONS RELATIVISTES**

Thierry CHAUVET

**FORMATION DOCTORALE
RAYONNEMENT ET PLASMAS
UNIVERSITE D'AIX MARSEILLE I**

**INSTITUT DE MECANIQUE DES FLUIDES DE MARSEILLE
GROUPE NOUVEAUX LASERS**

**LABORATOIRE JACQUES VALENSI
UNIVERSITE D'AIX MARSEILLE II
UM CNRS N°34**

PRESENTATION

HISTORIQUE

LES SYSTEMES EXCIMERES

EXCIMERES GAZ RARE/GAZ RARE

EXCIMERES ALCALIN/HALOGENE

EXCIMERES ALCALIN/GAZ-RARE

POTENTIELS D'INTERACTION

DISPOSITIF EXPERIMENTAL

ETUDE EXPERIMENTALE

CONCLUSION

HISTORIQUE

1917

A. EINSTEIN

Principe de l'émission stimulée

1960

T.H. MAIMAN

Premier laser à rubis (694nm)

1972

Lasers à excimères UV

Xe_2^* (172nm) Kr_2^* (146nm) Ar_2^* (126nm)

XeF (351nm) KrF (248nm) ArF (193nm) XeCl (308nm)

1985

N.G. BASOV H. LANGHOFF R. SAUERBREY

Proposition de nouveaux systèmes excimères

$\text{XX}' \text{ RgX} \rightarrow \text{Rg}^+ \text{X} \text{ Rg}^+ \text{A} \text{ A}^2 + \text{X}$

1988

H. LANGHOFF R. SAUERBREY

Etude expérimentale & premières observations
des excimères ioniques $\text{Rg}^+ \text{A}$

1990

IMFM

Groupe Nouveaux Lasers

Observation d'émissions VUV

$\text{Xe}^+ \text{Rb}$ (164nm) $\text{Kr}^+ \text{Rb}$ (134nm)

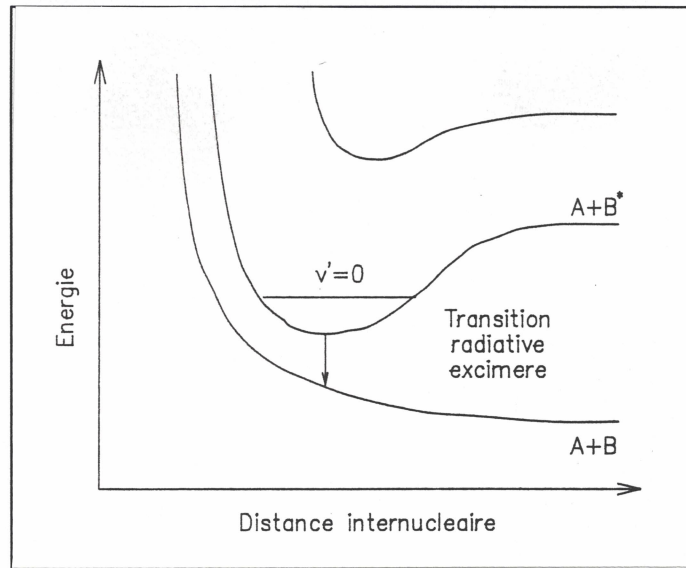
EXCIMERE NEUTRE	EXCIMERE IONIQUE ISOELECTRONIQUE	ETAT FINAL	MECANISME D'EXCITATION
$Rg + X^- (XeCl^*)$	$A^2 + X^- (Cs^2 + Cl^-)$	$A + X (Cs + Cl)$	Photoionisation X Faisceau d'ions
$X + X^- (F_2^*)$	$Rg_2^{2+} (Ne_2^{2+})$	$2Rg^+ (2Ne^+)$	Photoionisation X Faisceau d'ions Faisceau d'électrons
$Rg_2^* (Xe_2^*)$	$Rg + A (Xe + Rb)$	$RgA^+ (XeRb^+)$	Photoionisation X Faisceau d'ions Faisceau d'électrons
<p>Rg: Gaz rare A: Alcalin X: Halogène</p>			

TABLEAU D'ISOELECTRONICITE DES EXCIMERES NEUTRES ET IONIQUES

LES SYSTEMES EXCIMERES

EXCIMERE

(EXCIMER: EXCIted diMER)



Etat excité lié

Etat fondamental dissocié

Possibilité d'effet Laser



$$\tau \sim 10\text{ns} \text{ à } 100\text{ns}$$

$$\Delta\lambda \sim 1\text{nm}$$

$$\sigma = \frac{1}{4\pi} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \frac{\lambda^4}{c\tau\Delta\lambda}$$

$$\lambda > 30\text{ nm} \quad P_{\text{pompe}} \propto \frac{1}{\lambda^4}$$

UV: Régime impulsionnel

DIMERES DE GAZ RARE

POTENTIELS D'INTERACTION

Rg_2^* & $Rg + A$ Isoélectroniques

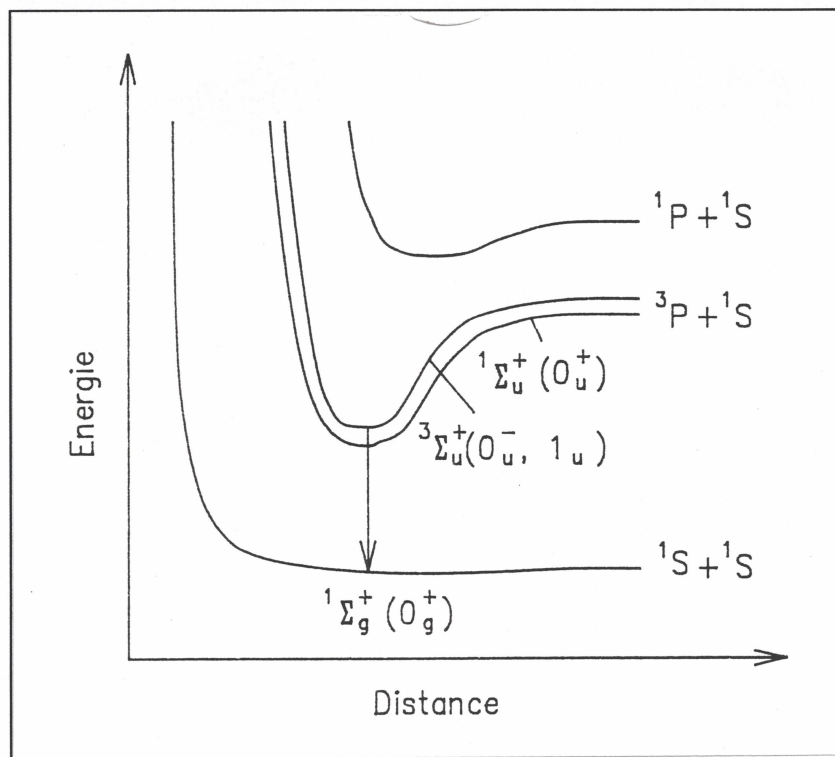
1965

Analyses qualitatives:

Mulliken: He_2^* & Xe_2^*

Cohen & Shneider: Ne_2^*

Saxon & Liu: Ar_2^*



Couplage spin-orbite important:
 $Ne \rightarrow Xe$

1991

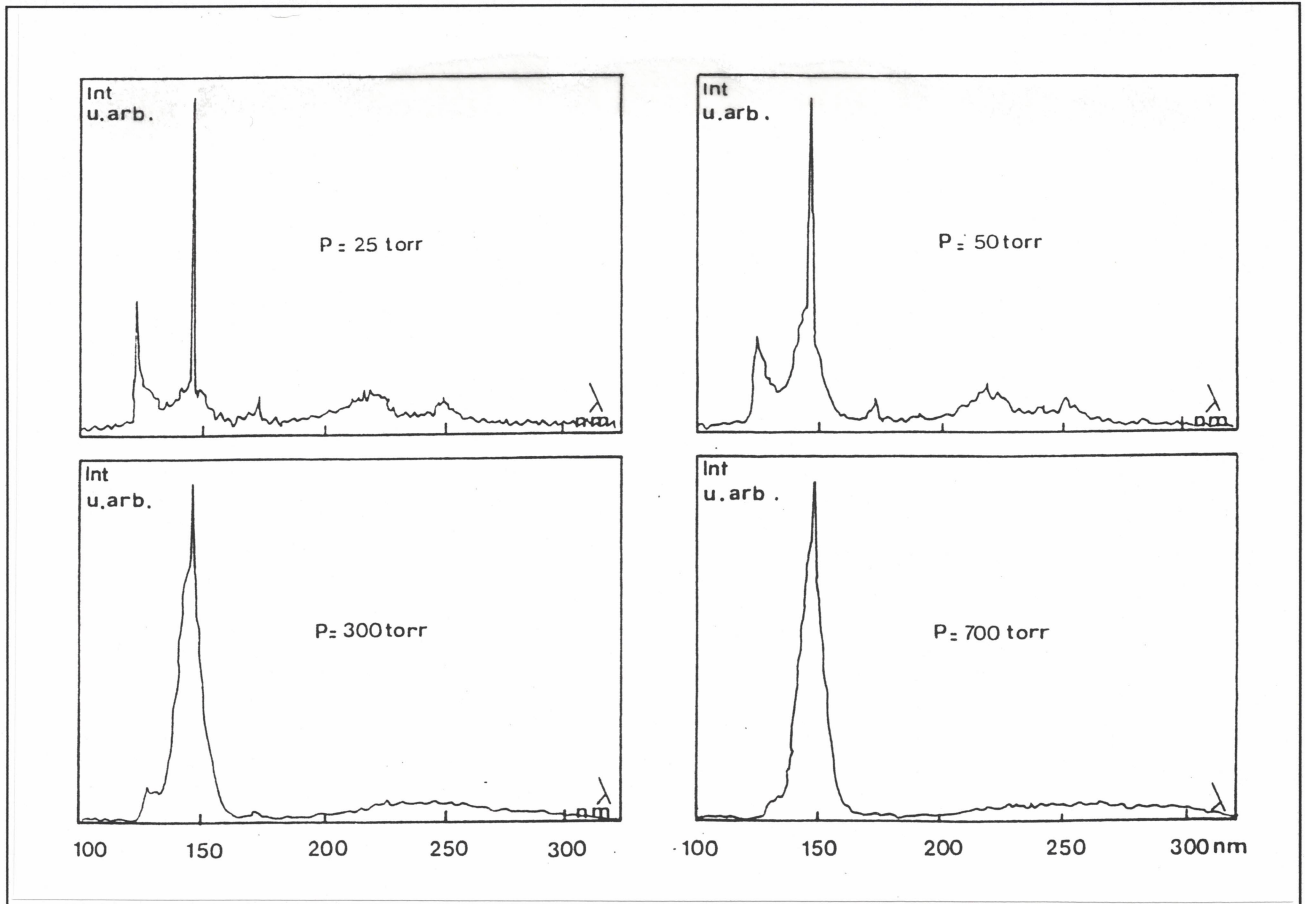
Audouard & Spiegelmann: Kr_2^*

Calcul *ab-initio* des potentiels moléculaires

DIMERES DE GAZ RARE

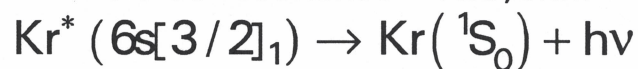
SPECTRE DE Kr_2^*

(Selon Busquets)



Forte dépendance du spectre avec la pression

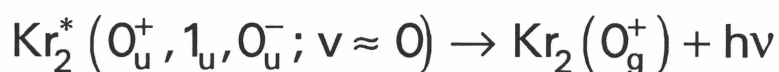
Raie de résonance 123,6nm



1er Continuum 125nm



2ème Continuum 145nm

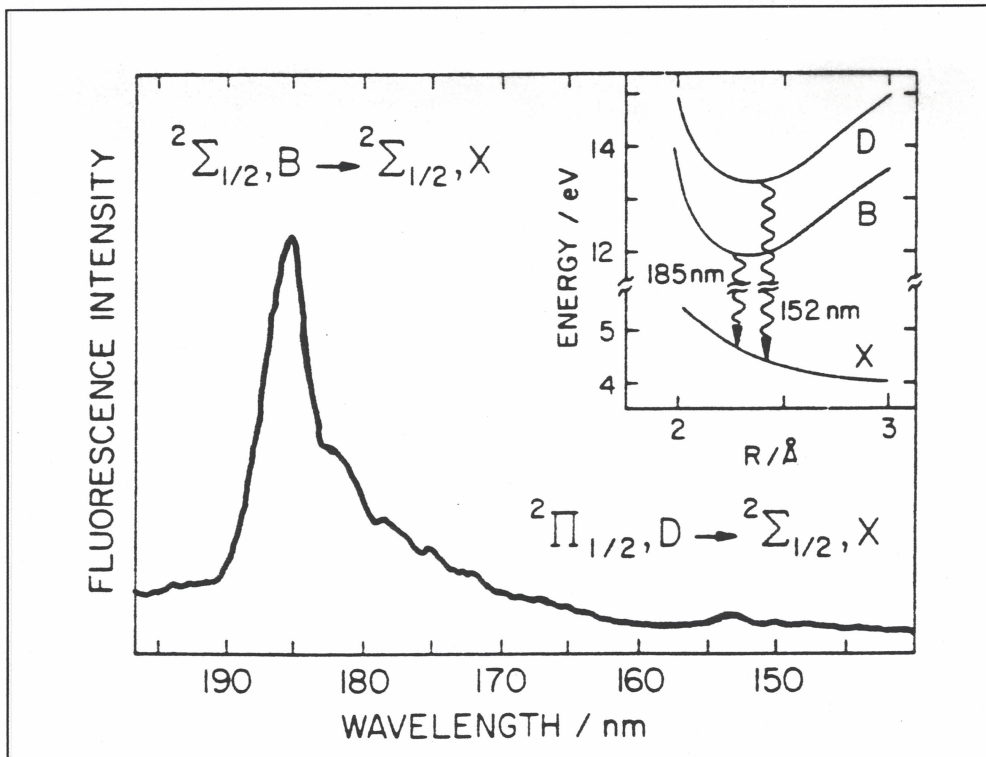


EXCIMERES IONIQUES ALCALIN/HALOGENE

Sauerbrey & Langhoff

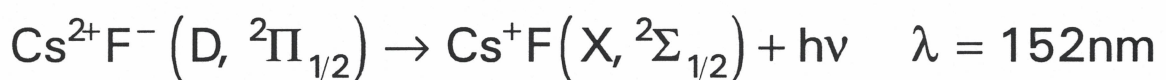
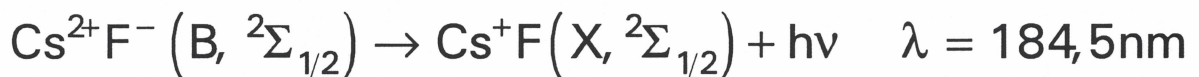
$A^{2+}X^-$ & Rg^+X^- Isoélectroniques

Diminution de λ



Spectre obtenu par photoionisation X

2 Continua



$$\tau({}^2\Sigma_{1/2}) \sim 1,5ns$$

EXCIMERES IONIQUES GAZ-RARE/ALCALIN

1985

Basov Sauerbrey Langhoff

Considérations d'isoélectronicités

$(RgA)^+ \lambda$ VUV

$I_{Rg} < I_A \Rightarrow Rg^+ A(1\Sigma^+) \text{ Etat fondamental}$

Ions	$D_e(\text{eV})$					$R_e(\text{nm})$				
	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺	Li ⁺	Na ⁺	K ⁺	Rb ⁺	Cs ⁺
Atomes										
He	0,073	0,034	0,023	0,021	0,015	0,193	0,244	0,286	0,303	0,305
Ne	0,123	0,066	0,04	0,033	0,025	0,208	0,243	0,294	0,316	0,34
Ar	0,309	0,19	0,127	0,086	0,085	0,221	0,269	0,294	0,341	0,348
Kr	0,397	0,22	0,144	0,116	0,118	0,242	0,291	0,324	0,354	0,348
Xe	0,547	0,26	0,21	0,185	0,113	0,251	0,298	0,327	0,355	0,411

$Rg^+ A(1,3\Sigma^+, 1,3\Pi) \text{ Etats excités}$

Basov

$Rg^+(2P) \equiv X(2P)$

$Rg^+(2P) + A(2S) \rightarrow 1,3\Sigma^+ \text{ Liés } \& \text{ } 1,3\Pi \text{ Dissociés}$

$70\text{nm} < \lambda < 250\text{nm}$

(He/Na à Xe/Li)

Calcul des potentiels d'interaction

Données expérimentales

POTENTIELS D'INTERACTION

METHODES SEMI-EMPIRIQUES

POTENTIEL DE RITTNER

Fiedler: (XeCs)⁺ & (XeRb)⁺

$$E(R) = C \exp(-b(R - R_e)) - \frac{1}{2} \frac{\alpha}{4\pi \epsilon_0 R^4} \epsilon(R) + E_i$$

METHODE QUANTIQUE DE HARTREE-FOCK

Calcul de perturbation
Orbitales de Slater (LCAO)

Millar & Warwar: (XeCs)⁺ & (XeRb)⁺ \equiv H₂⁺

PSEUDO-POTENTIEL DE HELLMAN

Viehland: Potentiel de RgA⁺
Phénomènes de transport dans les gaz ionisés
Théories cinétiques à 2 et 3 températures

Mantel & Langhoff: Potentiels de Rg⁺A
Interaction entre Rg⁺, A⁺, & e⁻: potentiel de Hellmann

$$V(r) = -\frac{1}{r} (1 - Ae^{-2kr})$$

$$\Phi(\lambda, \mu) = (\lambda R)^n \exp[-(\xi\lambda + \zeta\mu)R]$$

$$V_{so} = \sum_i \chi_i s_i$$

POTENTIELS D'INTERACTION

METHODES *AB-INITIO*

Balasubramanian: (XeRb)⁺

(XeRb)⁺: 90 électrons

Coeur: 74 électrons

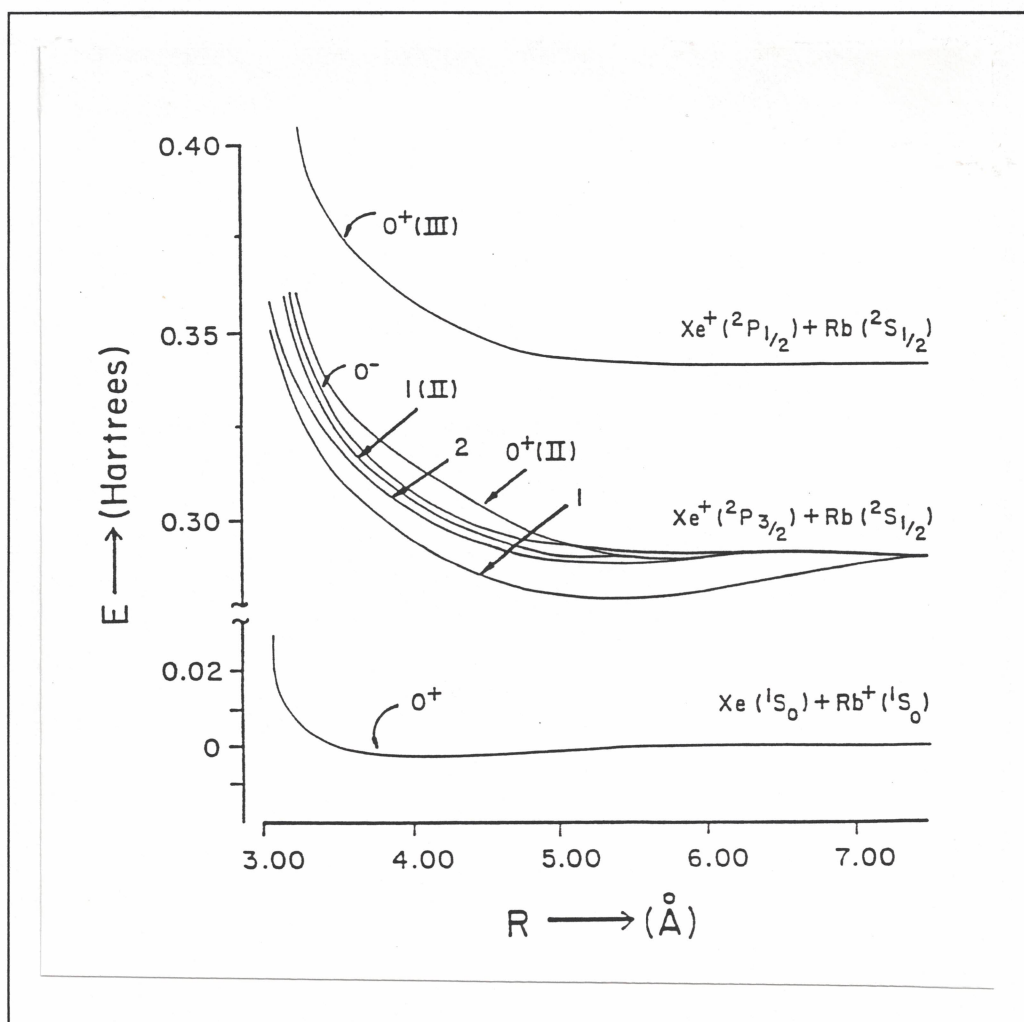
RECP: Relativistic Effective Core Potentials

16 électrons de valence

CASSF: Complete Active Space multi-configuration Self-consistent Field

FOCI: First Order Configuration Interaction

RCI: Relativistic Configuration Interaction



POTENTIELS D'INTERACTION

COMPARAISON DES METHODES DE CALCUL

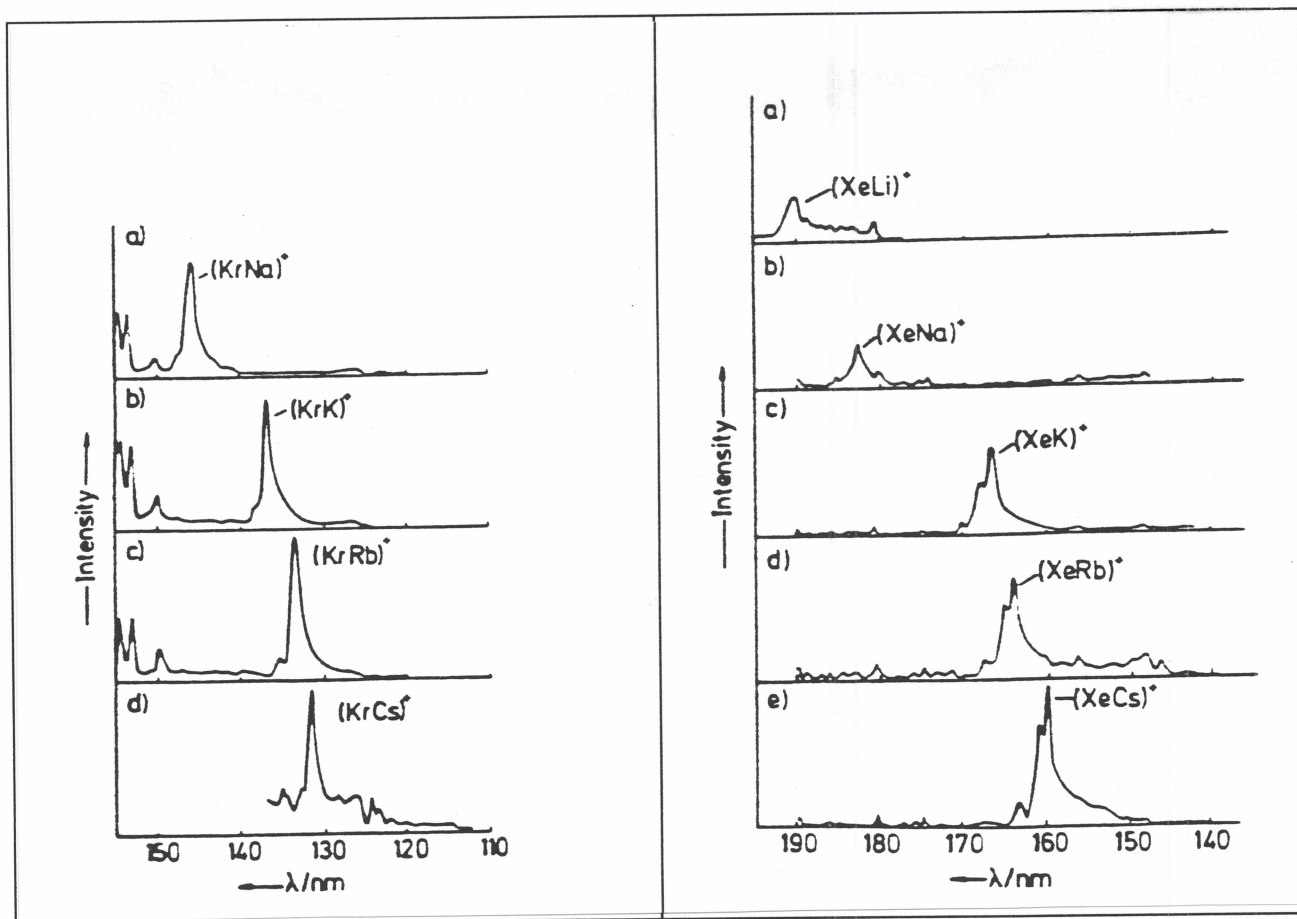
Méthode de calcul	$D_{inf}(eV)$	$R_{inf}(Å)$	$D_{sup}(eV)$	$R_{sup}(Å)$	$l_{the}(nm)$	$l_{exp}(nm)$
Potentiel de Rittner (Fiedler)	0,11 [$1\Sigma^+(II)$]	3,8	0,88 [$1\Sigma^+(II)$]	3,8	173	163,6
Méthode quantique LCAO-QM (Warwar)	0,10 [$1\Sigma^+(II)$]	3,76	0,98 [$1\Sigma^+(II)$]	3,76	175	163,1
Pseudopotentiel de Hellmann (Mantel & Langhoff)	0,18 [$1\Sigma^+(II)$]	3,5	0,55 [$1\Sigma^+(II)$]	4,8	166,8	164,1
Calcul <i>ab-initio</i> CASSCF-FOCI (Balasubramanian)	0,08 [$1\Sigma^+(II)$]	4,02	0,63 [$1\Sigma^+(II)$]	5,71	164,5	163,6
Calcul <i>ab-initio</i> CASSCF-FOCI-RCI (Balasubramanian)	0,09 [$0^+(II)$]	4,1	0,16 [$0^+(II)$] 0,03 [$1(II)$] 0,30 [$1(I)$]	5,42 5,50 5,48	156,0 159,0 161,5	162,6 163,6 167,6

RECHERCHES EXPERIMENTALES

1988

Julius-Maximilians University Würzburg H. Langhoff

Faisceau d'ions Ar^+ ou He^+
3,6MeV 100 μA



Systèmes Kr/A
35mbar Kr
Faisceau d'ions Ar^+

Systèmes Xe/A
20mbar Xe
Faisceau d'ions Ar^+

Ne \rightarrow Xe: $\lambda \uparrow$
Li \rightarrow Cs: $\lambda \downarrow$

RECHERCHES EXPERIMENTALES

Julius-Maximilians University Würzburg H. Langhoff

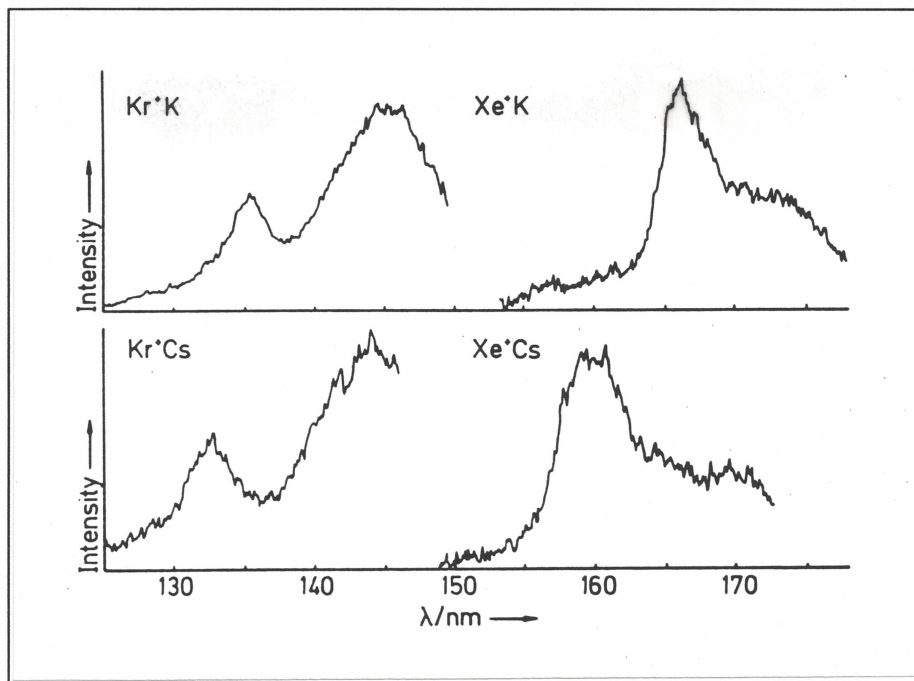
Faisceau d'ions Ar⁺ ou He⁺
3,6MeV 100μA

Système	$l_{exp}(nm)$	$D_{inf}(eV)$	$D_{sup}(eV)$	$I_{Rg}(eV)$	$I_A(eV)$
(XeCs) ⁺	159,9	0,11	0,59	12,13	3,89
(XeRb) ⁺	164,1	0,13	0,52	12,13	4,18
(XeK) ⁺	167,1	0,17	0,54	12,13	4,34
(XeNa) ⁺	182,7	0,28	0,48	12,13	5,14
(XeLi) ⁺	189,9	0,55	0,76	12,13	5,39
(KrCs) ⁺	131,1	0,11	0,81	14,00	3,89
(KrRb) ⁺	133,8	0,12	0,67	14,00	4,18
(KrK) ⁺	135,5	0,14	0,65	14,00	4,34
(KrNa) ⁺	145,3	0,20	0,54	14,00	5,13
(KrLi) ⁺	149,5	0,43	0,75	14,00	5,39
(ArCs) ⁺	112,3			15,76	3,89
(ArRb) ⁺	114,1	0,09	0,79	15,76	4,18
(ArK) ⁺	114,8	0,12	0,74	15,76	4,34
(ArNa) ⁺	121,5	0,16	0,58	15,76	5,14
(ArLi) ⁺	124,7	0,29	0,78	15,76	5,39
(NeRb) ⁺	76,6			21,56	4,18
(NeK) ⁺	77,2			21,56	4,34
(NeNa) ⁺	79,4			21,56	5,14
(NeLi) ⁺	80,7			21,56	5,39
(HeK) ⁺	63,8			24,59	4,34
(HeNa) ⁺	65,8			24,59	5,14
(HeLi) ⁺	66,8			24,59	5,39

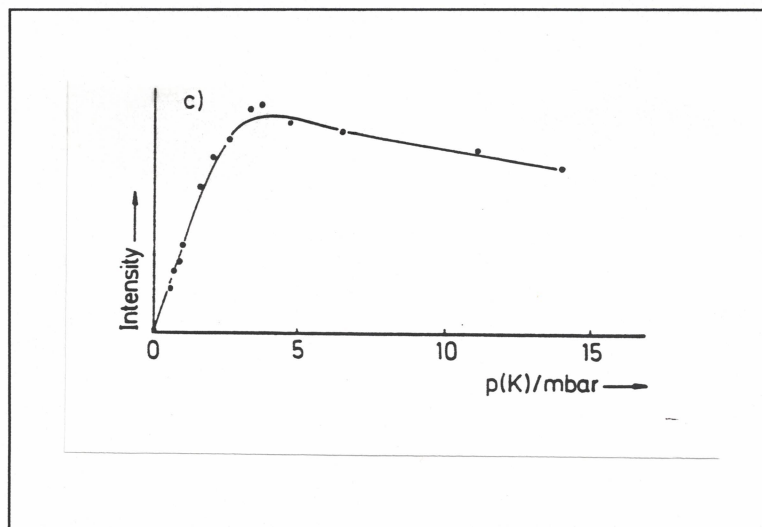
RECHERCHES EXPERIMENTALES

Julius-Maximilians University Würzburg H. Langhoff

Faisceau pulsé d'électrons relativistes
1,75MeV 500A/cm² 30ns 30J



Systèmes Kr/A & Xe/A
2bar He

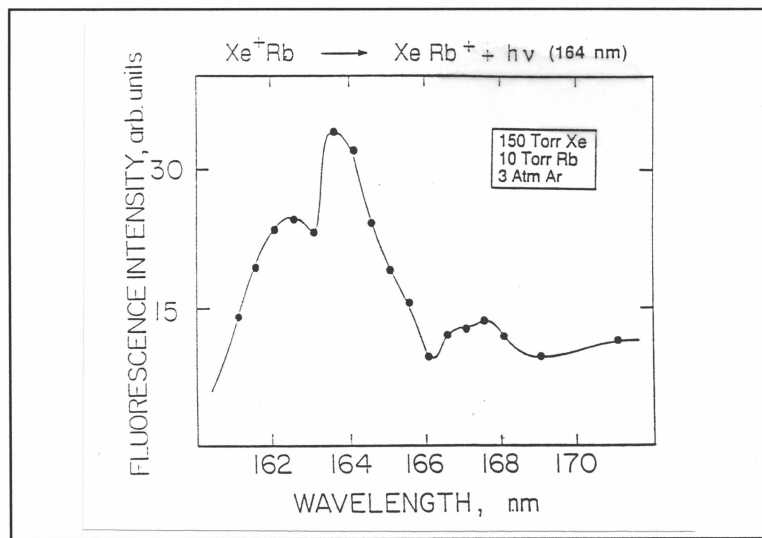


RECHERCHES EXPERIMENTALES

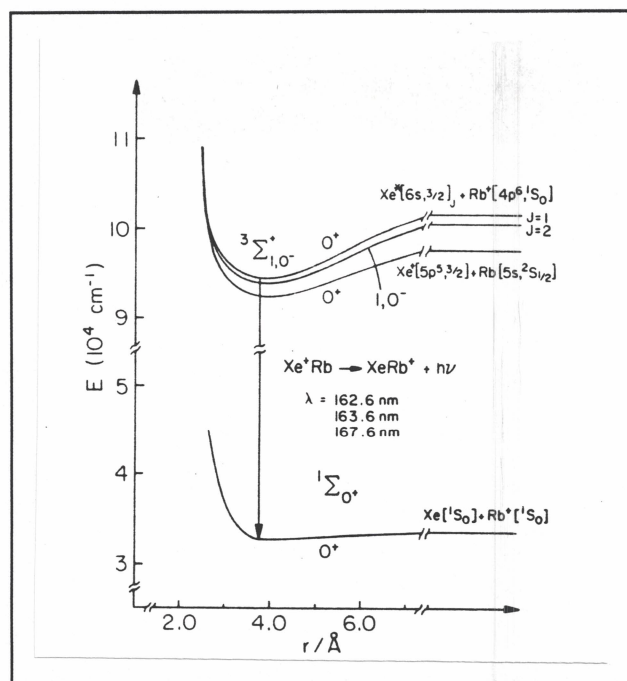
1989

Rice University Houston P. Millar & R. Sauerbrey

Faisceau pulsé d'électrons relativistes
1MeV 250A/cm² 10ns 50-150J



Molécule ionique (XeRb)⁺ + $\tau_{\text{Xe}^+\text{Rb}} \sim 280\text{ns}$



RECHERCHES A L'IMFM

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

Systemes excimeres neutres et ioniques

ETUDE CINETIQUE

Mélange type

Ar/Xe/Rb

CALCUL DES POTENTIELS D'INTERACTION

(XeRb)⁺

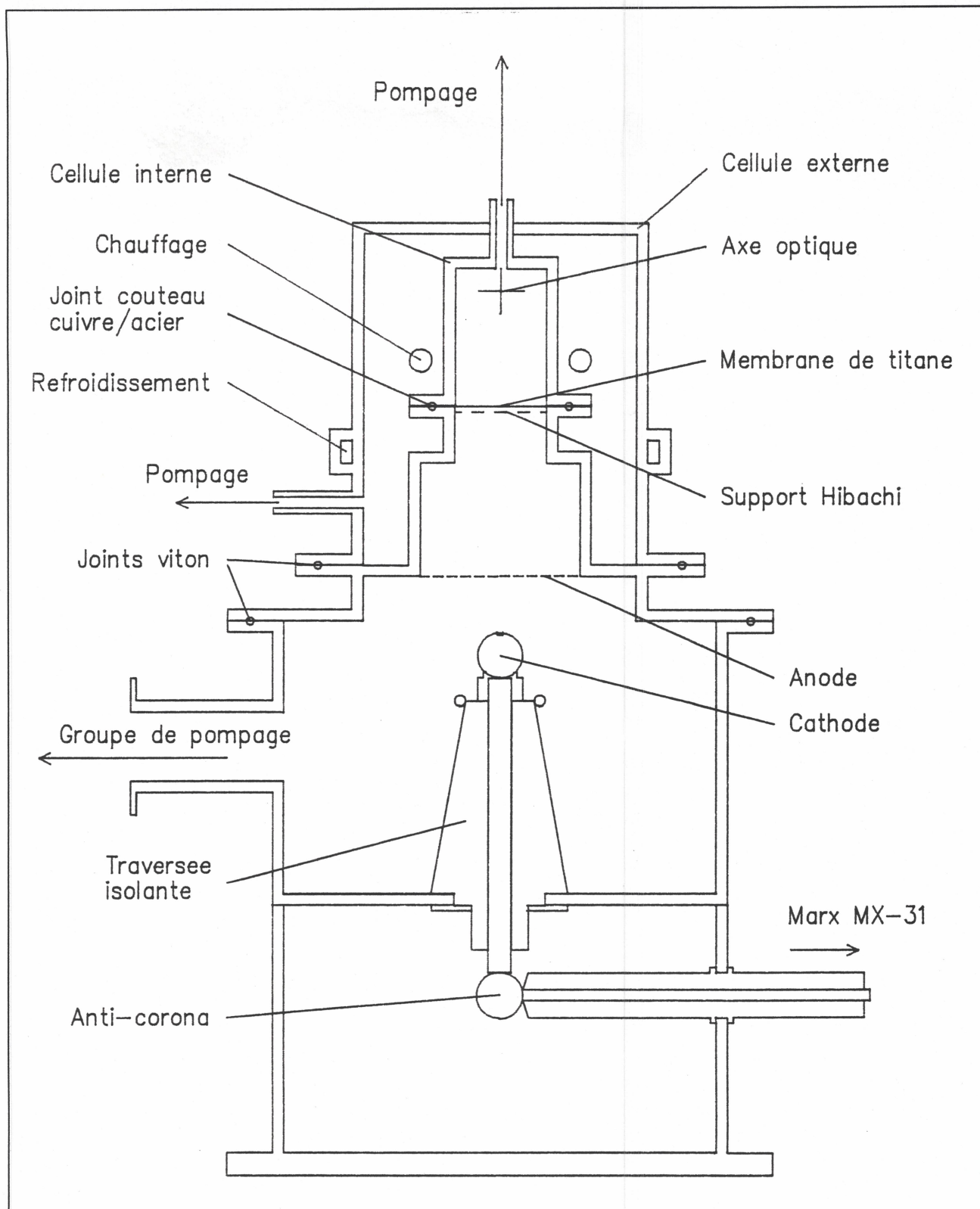
**REALISATION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL
D'ETUDE DES EMISSIONS DE FLUORESCENCE
DES EXCIMERES IONIQUES (RgA)⁺**

ETUDE EXPERIMENTALE

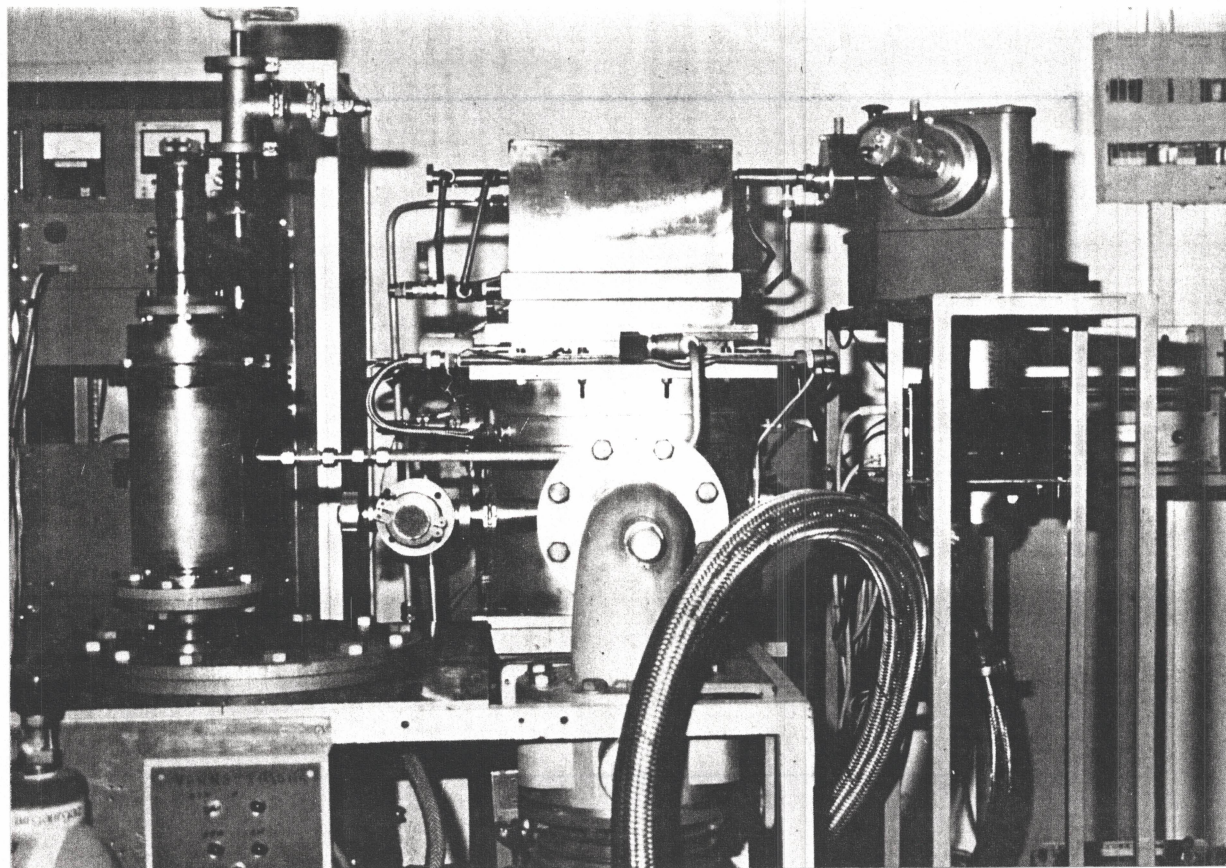
Xe_2^* & Ar_2^*

Xe^+Rb & Kr^+Rb

COUPE TRANSVERSALE DU CANON A ELECTRONS ET DES CELLULES D'EXPERIENCE



DISPOSITIF EXPERIMENTAL



SOURCE D'EXCITATION

Générateur de Marx & Canon à électrons

CELLULES D'EXPERIENCE

Haute température & Haute pression

DISPOSITIFS D'ACQUISITION

Monochromateur , Photomultiplicateur , Barette de photodiodes

SYSTEME D'EXCITATION

(GENERATEUR D'ELECTRONS RELATIVISTES)

GENERATEUR DE MARX

(MX31 Physics International Company)

Source THT pulsée
300kV 1,5kJ

Faible impédance

Rendement élevé

CANON A ELECTRONS

(Conçu et réalisé à l'IMFM)

$J_c \sim 5-7A/cm^2$ $\Delta\tau \sim 400-700ns$

Mise en forme et production du faisceau d'électrons

Cellule à vide (10^{-6} Torr)

Cathode

Emetteur de carbone

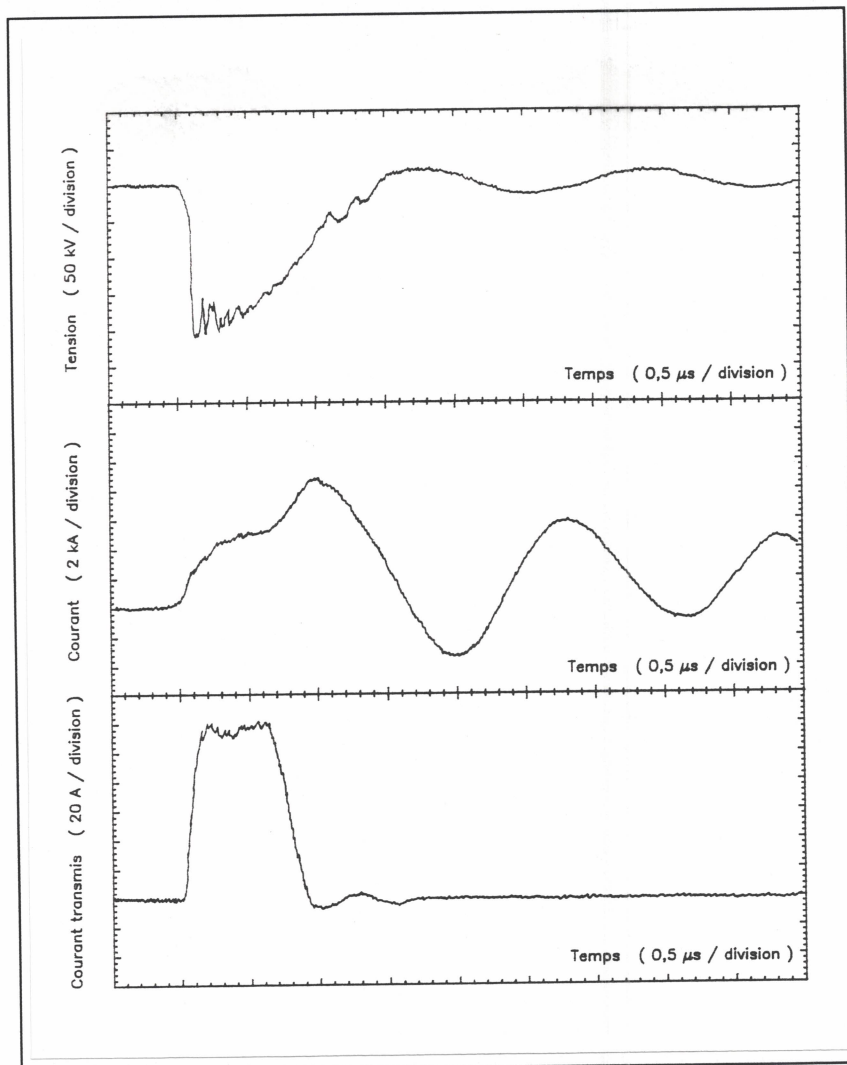
Emetteur de tantale

Anode

Grille de potentiel nul (85% de transmission)

CARACTERISTIQUES DU FAISCEAU D'ELECTRONS

Emetteur en feutre de carbone
Cathode-Anode: 4,2cm



$$V_c = 240\text{kV} \quad V_e = 220\text{kV}$$

$$J_c \sim 5 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t \sim 700\text{ns}$$

CELLULES D'EXPERIENCE

ALCALINS

Hautes températures

Césium: 10Torr à 373°C & 100Torr à 513°C

Sodium: 10Torr à 546°C & 100Torr à 700°C

PROBLEMES TECHNIQUES

Alcalin: matériau corrosif et polluant

Haute température: contraintes mécaniques

Haute pression: étanchéité

Ultraviolet du vide: matériaux optiques particuliers

Optimisation du dépôt d'énergie: hauteur de l'axe optique

CELLULES D'EXPERIENCE

Système de deux enceintes en acier inoxydable SS-316

Enceinte chaude (Cellule interne)

Enceinte froide (Cellule externe)

$$\Delta P_{\text{fenêtres}} \sim 0$$

$$\Delta T_{\text{membrane-fenêtres}} < 30^{\circ}\text{C}$$

CELLULES D'EXPERIENCE

CELLULE INTERNE

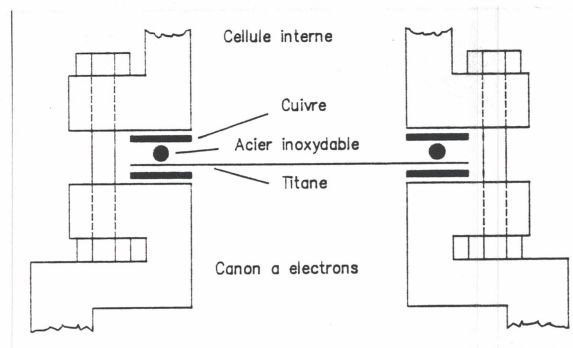
(Enceinte chaude)

Mélange Alcalin/Gaz-rare
400°C 2bar

Hauteur membrane / axe-optique
Code de calcul 10cm

Etanchéité cellule-canon à électrons
Membrane de titane (25µm) & support "hibachi"
80% de transmission

Joint "sandwich"



$$P_{\text{cel}} = 2\text{bar} \quad \Delta T = 400^{\circ}\text{C}$$

$$P_{\text{can}} = 10^{-5}\text{Torr}$$

Etanchéité cellule-fenêtres optiques
Joint torrique creux en argent

CELLULES D'EXPERIENCE

CELLULE EXTERNE

(Enceinte froide)

Gaz-rare
400°C 2bar

Fenêtres optiques en zone froide

Dispositif de chauffage
Lampes halogènes (2-4kW)

Thermocouples de régulation
Membrane Fenêtres traversée inter-cellules
 $\Delta T = \pm 10^{\circ}\text{C}$

DISPOSITIF D'ALIMENTATION DES GAZ ET DES ALCALINS

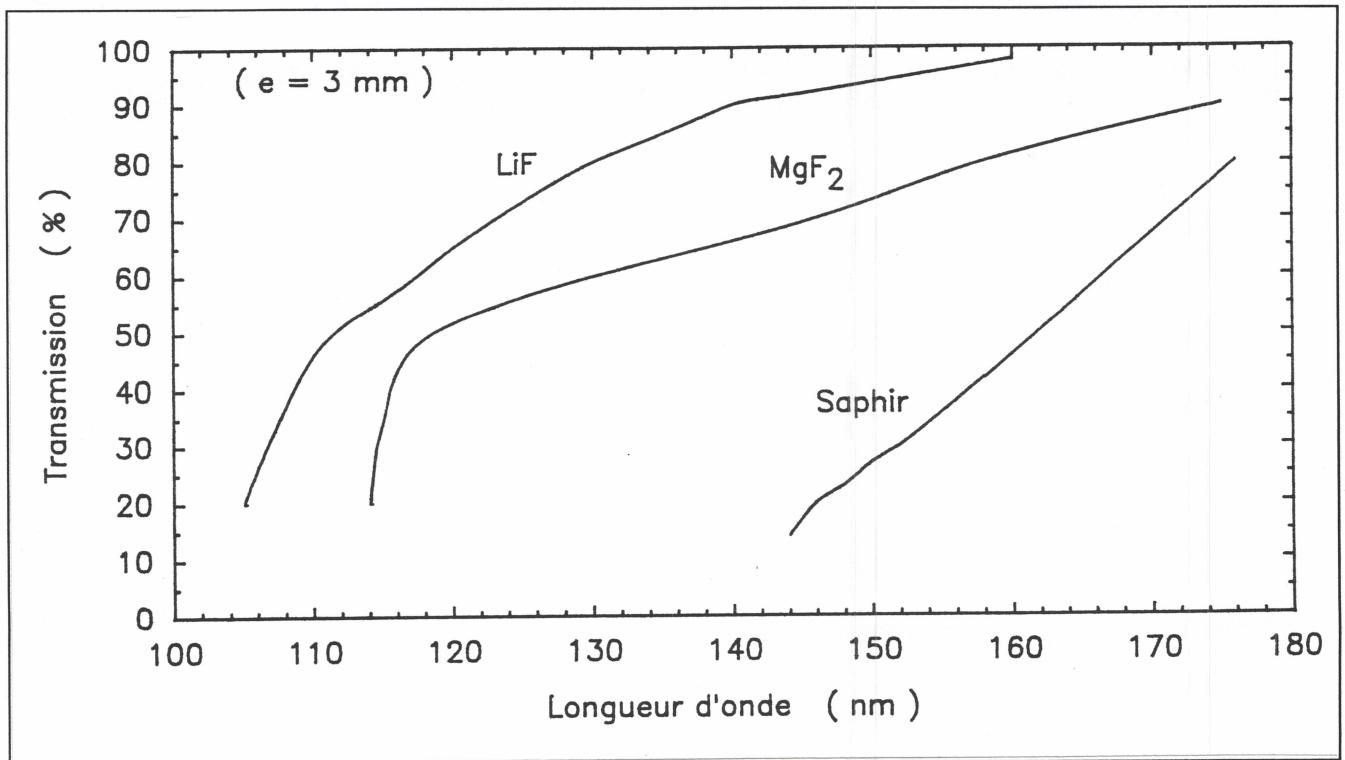
Zone chaude
Admission des Alcalins & des Gaz-rares
(cellule interne)

Zone froide
Admission des Gaz-rares
(cellule externe)

MATERIAUX OPTIQUES DU VUV

Domaine du VUV $\lambda < 200\text{nm}$

Solidité mécanique, Hygroscopie faible, λ_c faible



LiF

Matériau optique "idéal"

$\lambda_c = 104\text{nm}$

Fragilité mécanique & hygroscopie importante

MgF₂

$\lambda_c = 114\text{nm}$ à 20°C $\lambda_c = 124\text{nm}$ à 400°C

Bonne résistance mécanique & faible hygroscopie

DISPOSITIFS D'ACQUISITION

MONOCHROMATEUR VUV

(VM-502 Acton Research Corporation)

Type Seya-Namioka

Bande: 30-550nm

Longueur focale: 0,20m

Ouverture: f/4,5

Nombre de traits: 1200/mm

Résolution limite: 0,4nm à 100 μ m

Angle entrée/sortie: 64°

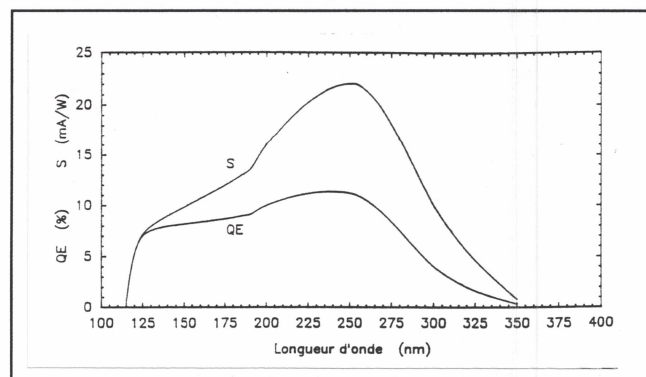
PHOTOMULTIPLICATEUR VUV

(9422B Thorn Emi)

Evolution temporelle des raies d'émission

Type "Solar Blind" ($\lambda_c = 320$ nm)

Linéarité de la réponse spectrale et du rendement quantique
(130-190nm)



DISPOSITIFS D'ACQUISITION

SPECTROGRAPHE VUV

Etude spatiale des spectres de fluorescence

MONOCHROMATEUR VUV

ANALYSEUR OPTIQUE MULTICANAUX

(OMA Optical Multichannel Analyser)

Réalisé à l'IMFM

- Port de sortie étanche à deux degrés de liberté

- Intensificateur convertisseur de lumière
(V269U-07 Hamamatsu "Solar Blind")

- Barette de photodiodes
(Capteur CCD 1024-SF Réticon)

- Galette de fibres optiques
(700 photodiodes / 1024)

Sensibilité élevée dans le VUV

Acquisition rapide (temps réel)

Enregistrement des spectres de fluorescence

Grande fiabilité

MESURE DE LA PRESSION D'ALCALIN

$$\log P_{\text{Rb}} = A - \frac{B}{T}$$

PROBLEME

Impossibilité de mesure directe de la pression d'alcalin ou de la température

$$\Delta T/T = 2,5\% \Leftrightarrow \Delta P/P = 20\%$$

Température de la membrane de titane
Température des fenêtres optiques
Température de la traversée inter-cellules
Pressions partielles des gaz-rares dans la cellule interne
(Argon & Xénon)

SOLUTION

Mesure par spectroscopie d'absorption

Raies de résonance du Rubidium
420,2nm & 421,6nm

RAIE D'ABSORPTION

(Source optique de faible intensité Non réabsorption)

$$\frac{I(\nu, l)}{I(\nu, 0)} = e^{-k(\nu)l}$$

Coefficient d'absorption $k(\nu) = k(\nu_0) \cdot f(\nu, \Delta\nu)$

MESURE DE LA PRESSION D'ALCALIN

ELARGISSEMENT NATUREL

Durée de vie finie de l'état excité

$$k(\nu)_N = \frac{C_N}{1 + \left(\frac{2(\nu - \nu_0)}{\Delta\nu_N} \right)^2} \quad \Delta\nu_N = \frac{1}{2\pi\tau}$$

ELARGISSEMENT DOPPLER

Déplacement des atomes du gaz

$$k(\nu)_D = k_0 \exp \left[-\ln 2 \left(\frac{2(\nu - \nu_0)}{\Delta\nu_D} \right)^2 \right] \quad \Delta\nu_D = \frac{2\sqrt{2\ln 2} R}{c} \nu_0 \sqrt{\frac{T}{M}}$$

ELARGISSEMENTS COLLISIONNELS

ELARGISSEMENT STARK

Collision entre atomes et ions

ELARGISSEMENT DE HOLTSMARK

Collisions entre atomes absorbants

ELARGISSEMENT DE LORENTZ

Collisions entre atomes absorbants et collisionnels

$$k(\nu)_L = C_L \frac{1}{1 + \left(\frac{2(\nu - \nu_0)}{\Delta\nu_L} \right)^2} \quad \Delta\nu_L = \frac{2}{\pi} \sigma^2 N' \sqrt{2\pi RT \left(\frac{1}{M} + \frac{1}{M} \right)}$$

MESURE DE LA PRESSION D'ALCALIN

ABSORPTION GLOBALE

Voigt & Reiche
Convolution des différents profils

$$k(\nu) = \frac{2k_0}{\pi(\Delta\nu_N + \Delta\nu_L)} \int_0^{\infty} \frac{e^{-(2\sqrt{\ln 2}/\Delta\nu_D)^2 \delta^2}}{1 + \left(\frac{2}{\Delta\nu_N + \Delta\nu_L} (\nu - \nu_0 - \delta) \right)^2} d\delta$$

$$k_0 = \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \frac{g_j}{g_i} \frac{\lambda_0^2}{4\pi \Delta\nu_D} \frac{N}{\tau}$$

Pression du gaz tampon de l'ordre du bar
Les deux raies ne sont pas entièrement résolues

Reiser & Wyner

$$k_\nu = k_1(\nu) + k_2(\nu)$$

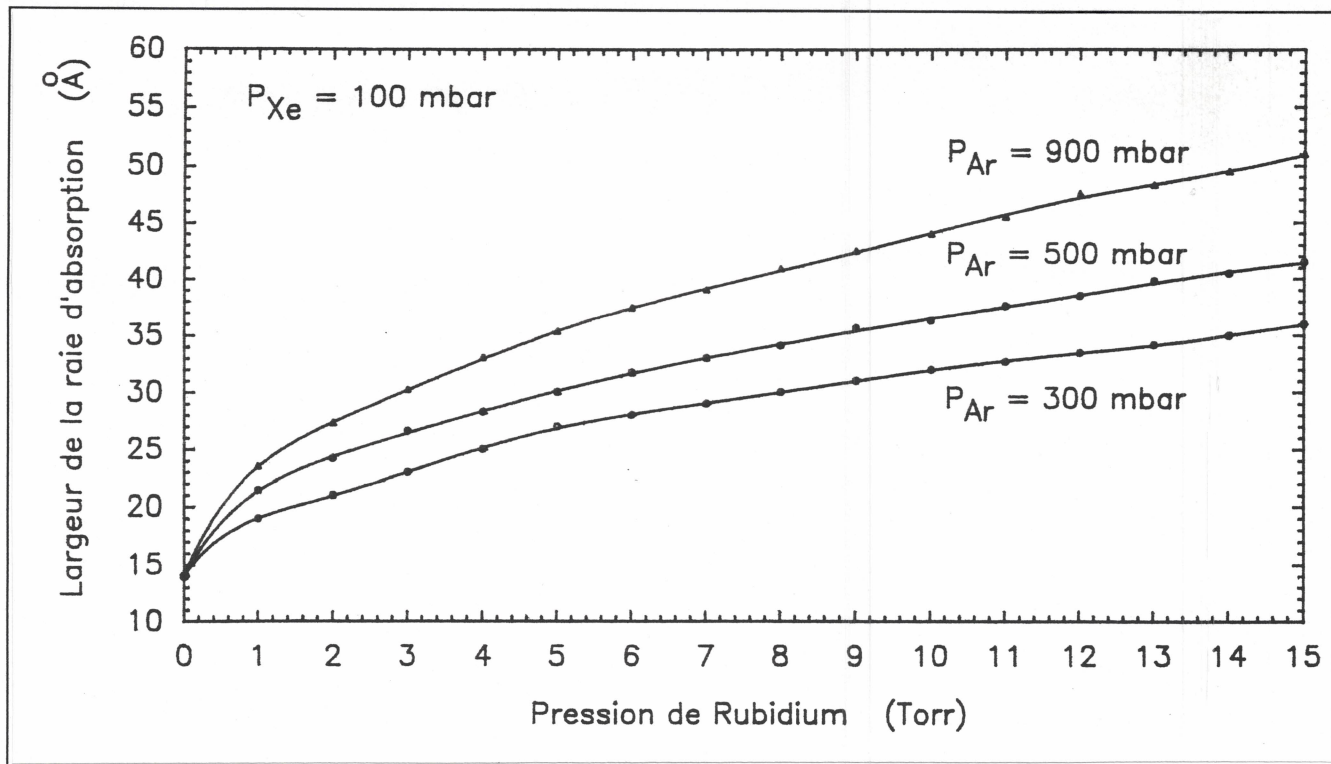
$$\frac{I(\nu, l)}{I(\nu, 0)} = e^{-k_\nu l}$$

TRAITEMENT NUMERIQUE

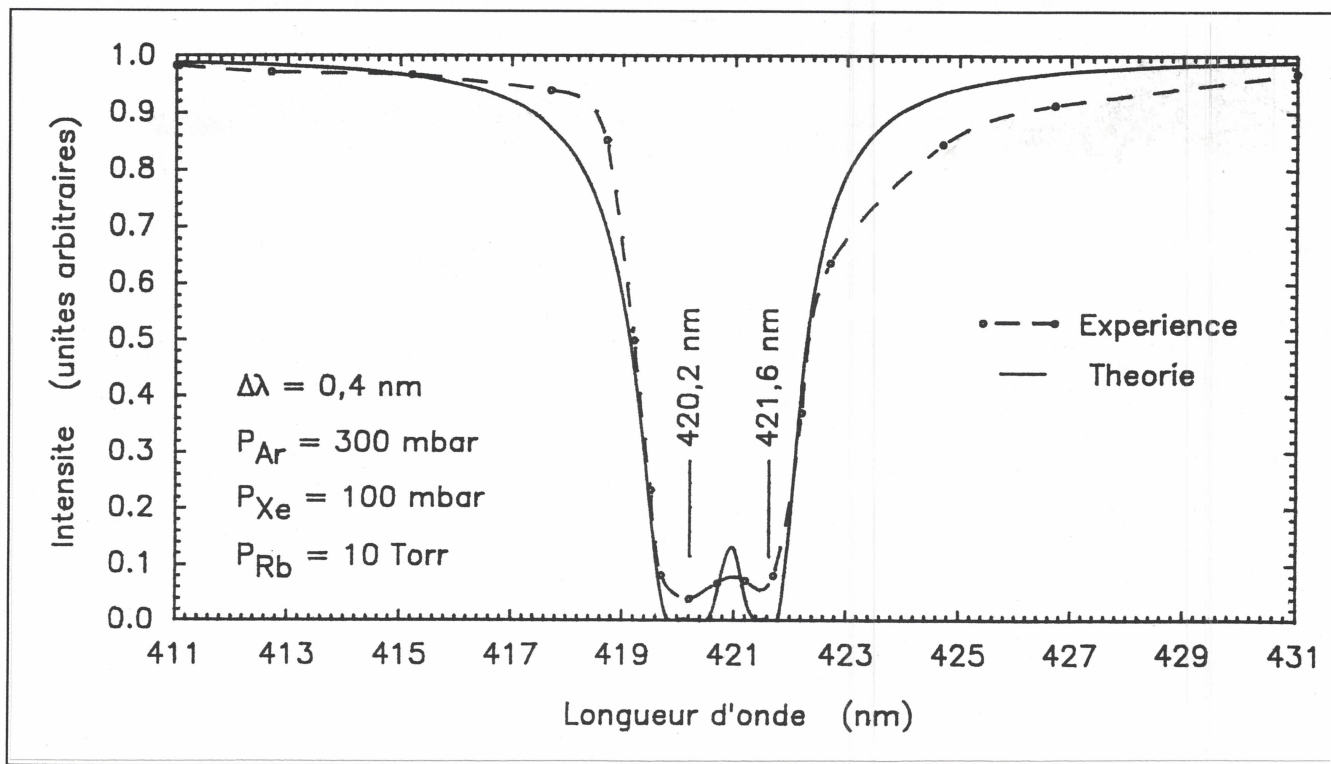
Profil des raies d'absorption

$$\Delta\lambda = \text{fct}(P_{Rb})$$

MESURE DE LA PRESSION D'ALCALIN



Largueur des raies d'absorption



Spectres théorique et expérimental d'absorption

MESURE DE LA PRESSION D'ALCALIN

METHODE DE L'AIRE EQUIVALENTE

Evaluation rapide de la pression de Rubidium

Hypothèses

Absorption totale

Elargissement collisionnel \Rightarrow Forme des ailes

$$A_T = 2\pi \frac{E_A}{I_0}$$

$$k_v = \frac{Ne^2f}{2mc} \frac{\Delta\nu_L}{(\nu - \nu_0)^2}$$

$$N = \frac{mcA_T^2}{8\pi^3 e^2 l} \frac{1}{f_1 \Delta\nu_{L_1} + f_2 \Delta\nu_{L_2}}$$

$$P = NkT$$

$$P \sim 5-15\text{Torr} \quad \Delta P/P \sim 10\%$$

$$P < 5\text{Torr} \quad \Delta P/P > 20\%$$

METHODE DE LA MESURE

Evaluation de P_{Rb} par la méthode de l'aire

$$(P_{\text{Rb}} = 11\text{Torr} \quad T_{\text{ex}} = 400^\circ\text{C})$$

Ajustement de la largeur expérimentale avec la largeur théorique

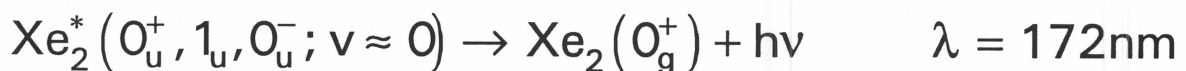
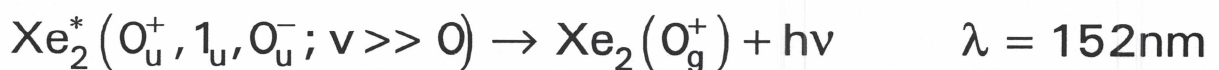
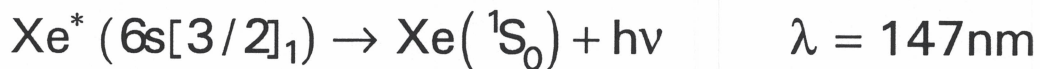
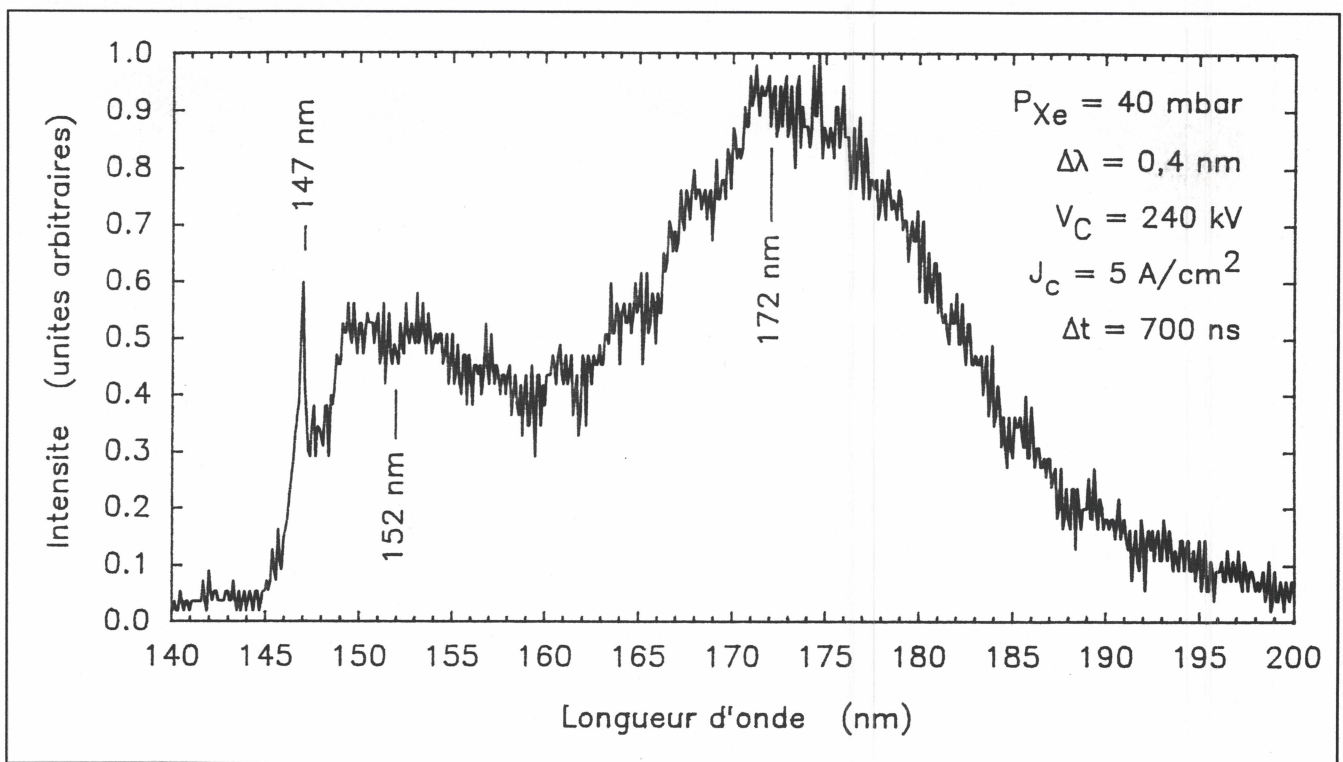
$$(\Delta\lambda = 3,2\text{nm} \quad 10\text{Torr} \quad T_{\text{the}} = 390^\circ\text{C})$$

SPECTRE D'EMISSION DU XENON

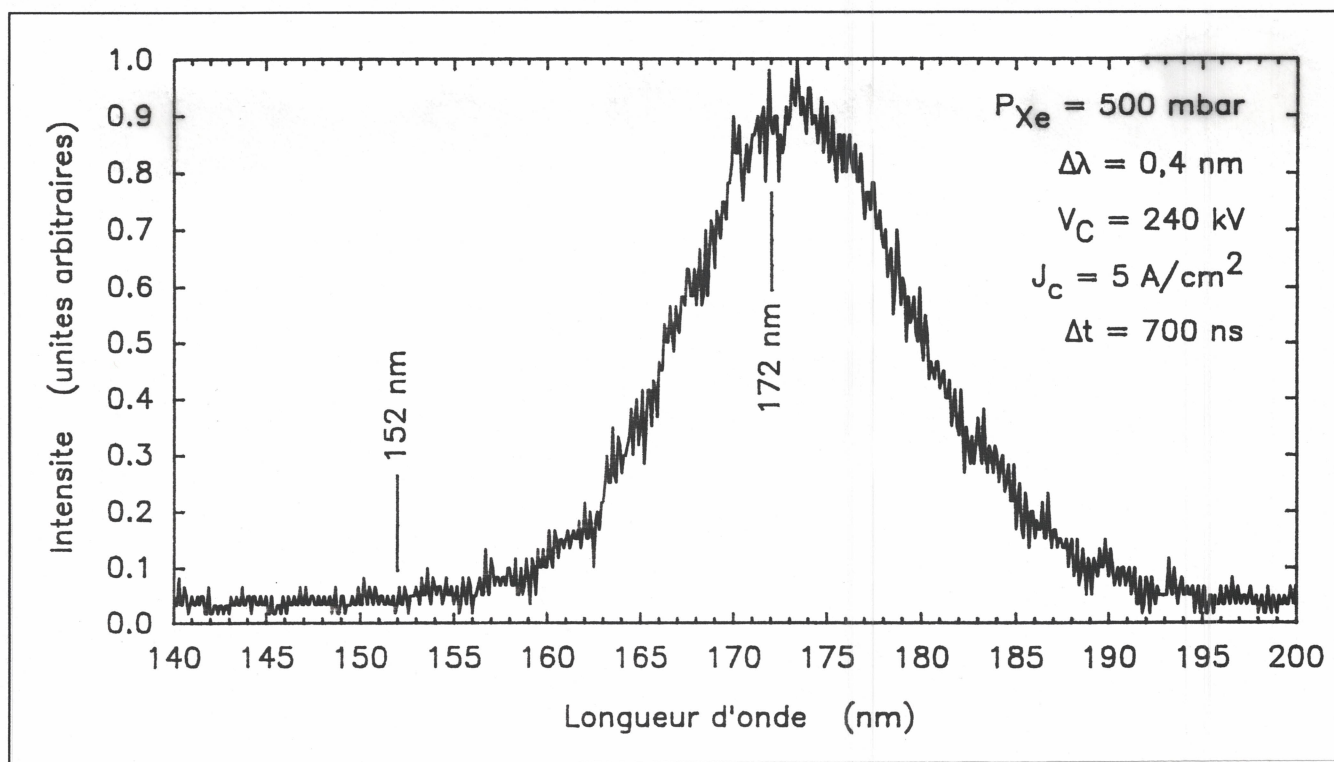
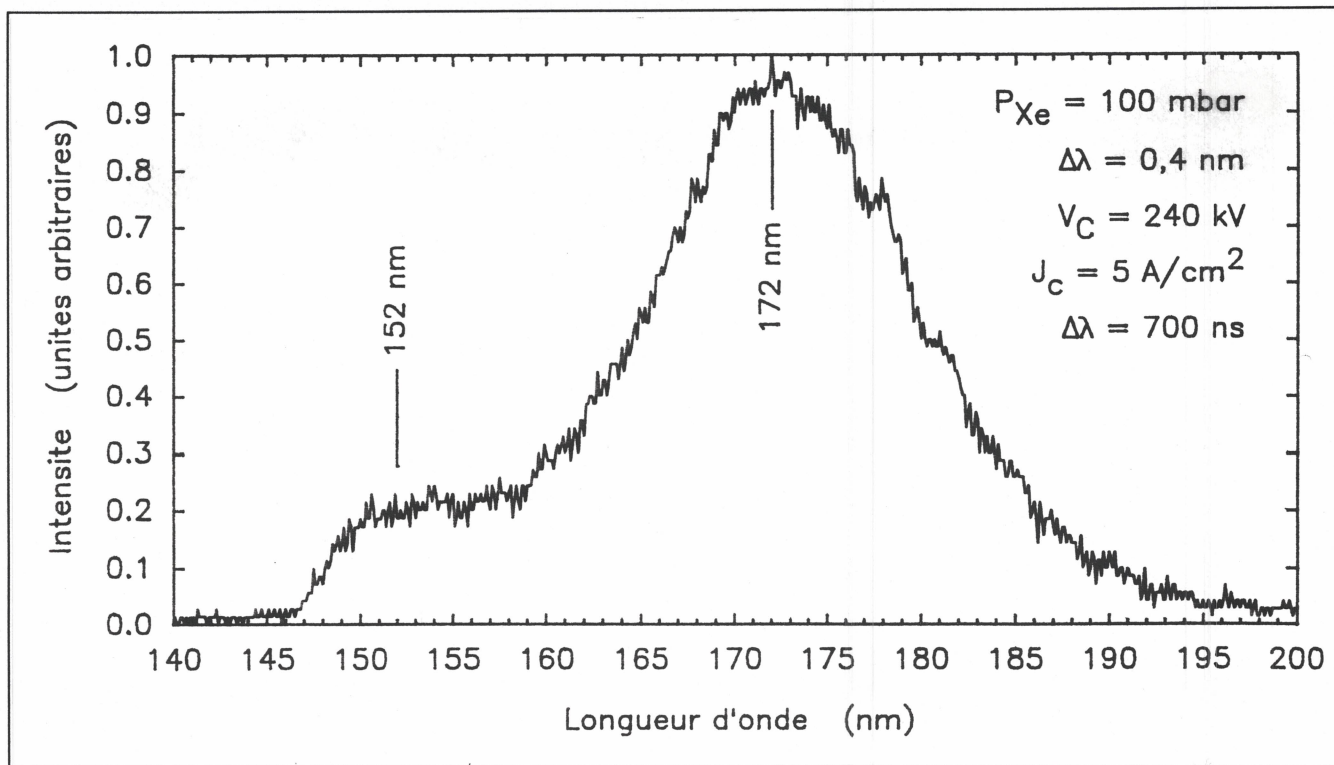
Excitation par faisceau d'électrons
 $V_c = 240 \text{ kV}$ $J_c = 5 \text{ A/cm}^2$ $\Delta t = 700 \text{ ns}$

$[\text{Xe}_2^*(^3\Sigma_u^+)] \sim 10^{15} - 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

$P_{\text{Xe}} = 40 - 500 \text{ mbar}$ $T = 300 \text{ K}$

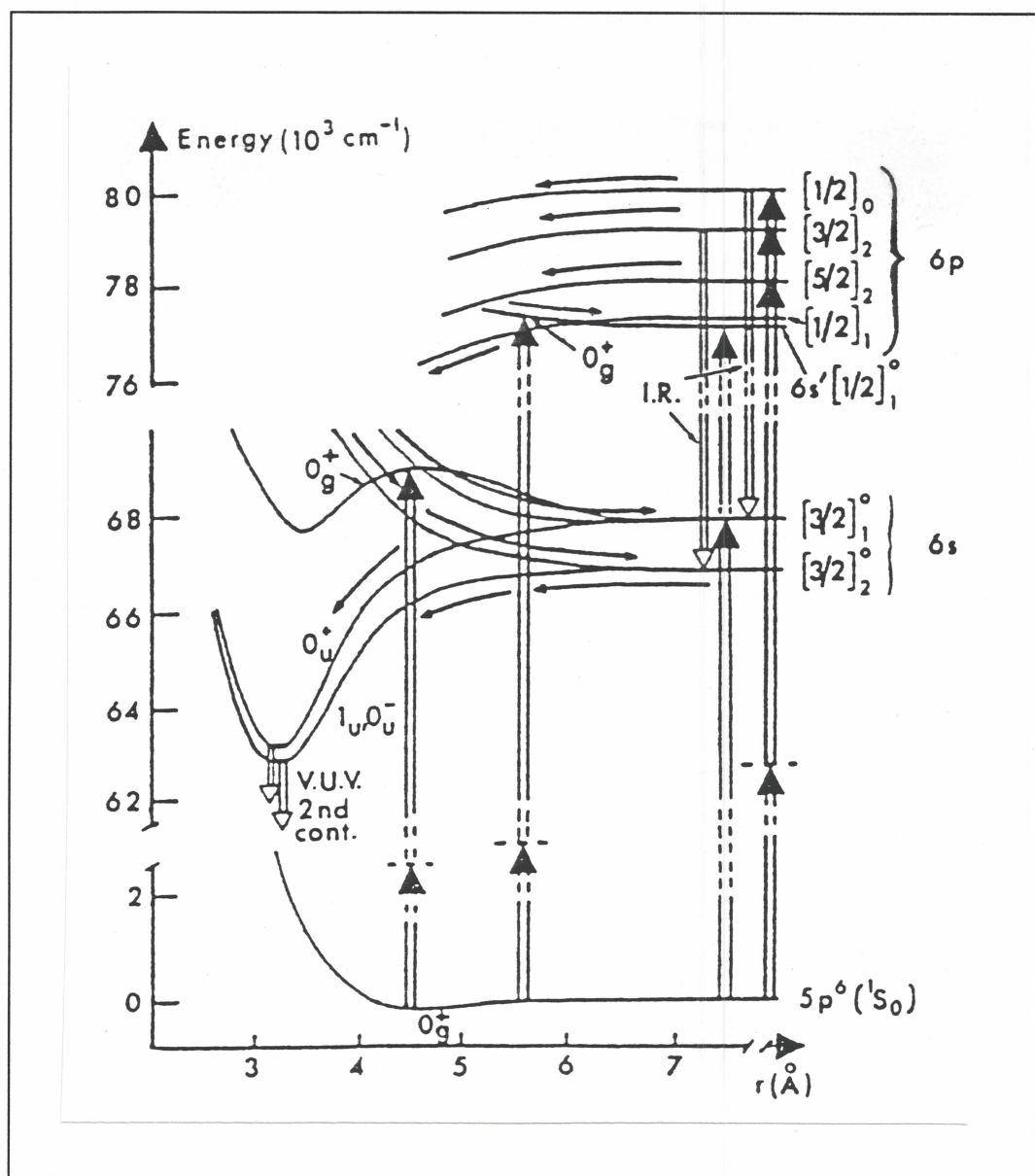


SPECTRE D'EMISSION DU XENON



SPECTRE D'EMISSION DU XENON

Niveaux atomiques et courbes de potentiel du xénon

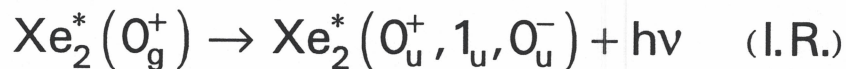
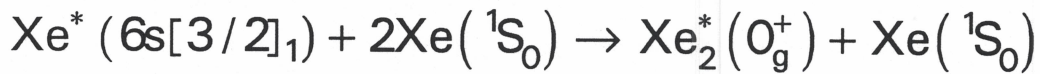
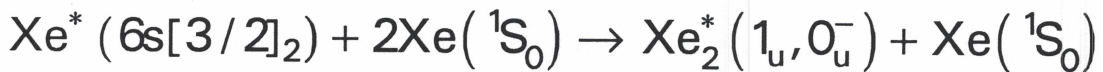
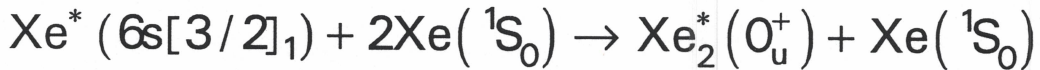


(selon Moutard & Laporte)

SPECTRE D'EMISSION DU XENON

CREATION DES ETATS 0_u^+ et $1_u, 0_u^-$

Brodmann & Salamero



DISPARITION DE LA RAIE DE RESONANCE A 147nm

DIMINUTION DU PREMIER CONTINUUM

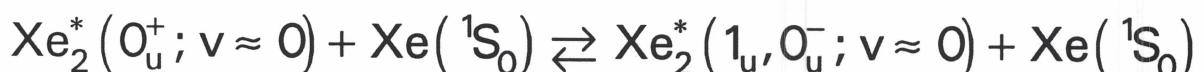
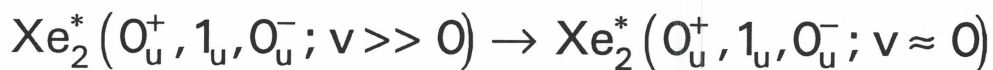
Destruction des états atomiques $6s[3/2]_1$: collision à trois corps

Leichner & Wieme



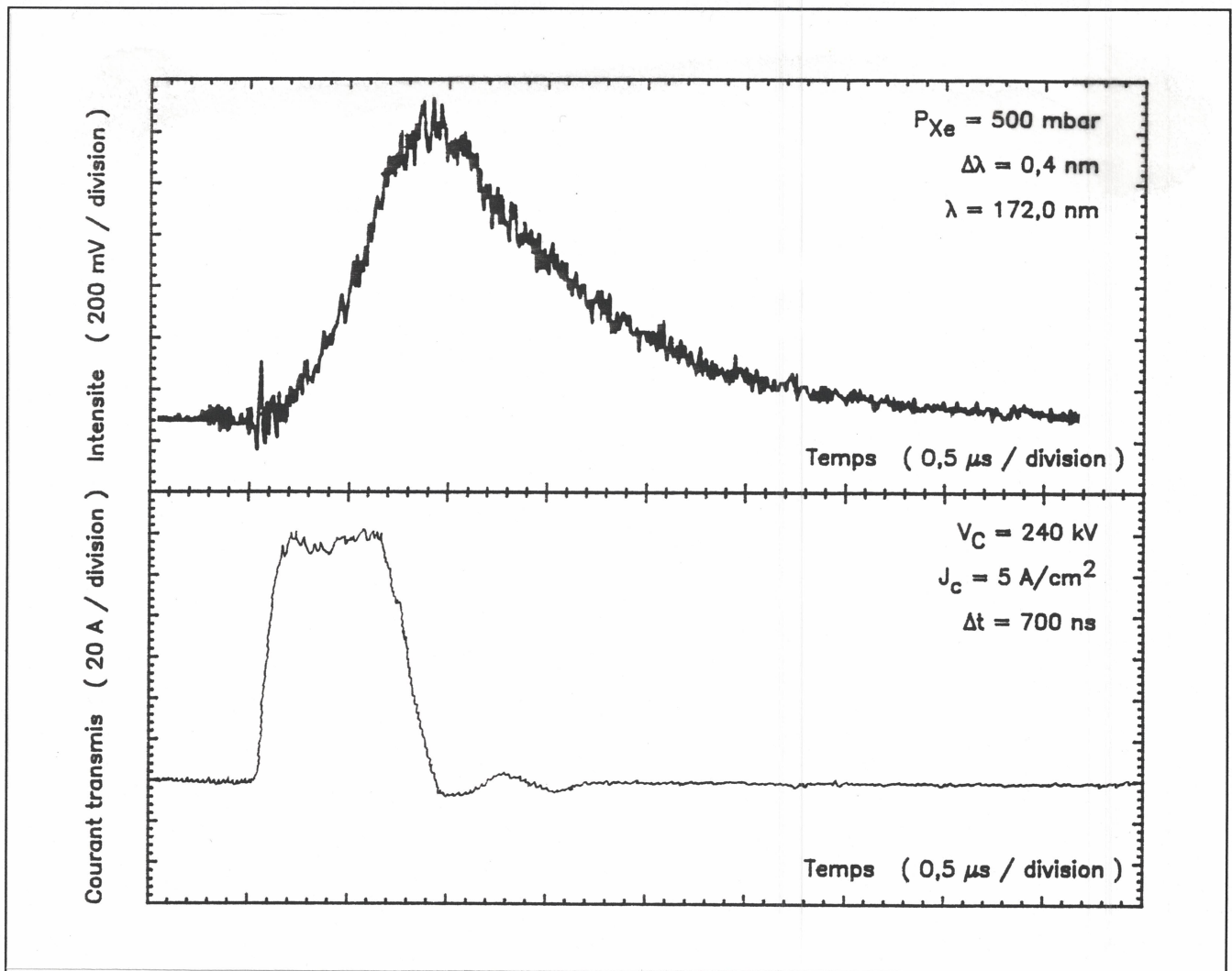
DISPARITION DU PREMIER CONTINUUM

Emprisonnement de rayonnement



SPECTRE D'EMISSION DU XENON

EVOLUTION TEMPORELLE DE L'EMISSION DE FLUORESCENCE



Irrégularités importantes du signal d'excitation

Moutard

$$O_u^+ ({}^1\Sigma_u^+): \tau = 103\text{ns}$$

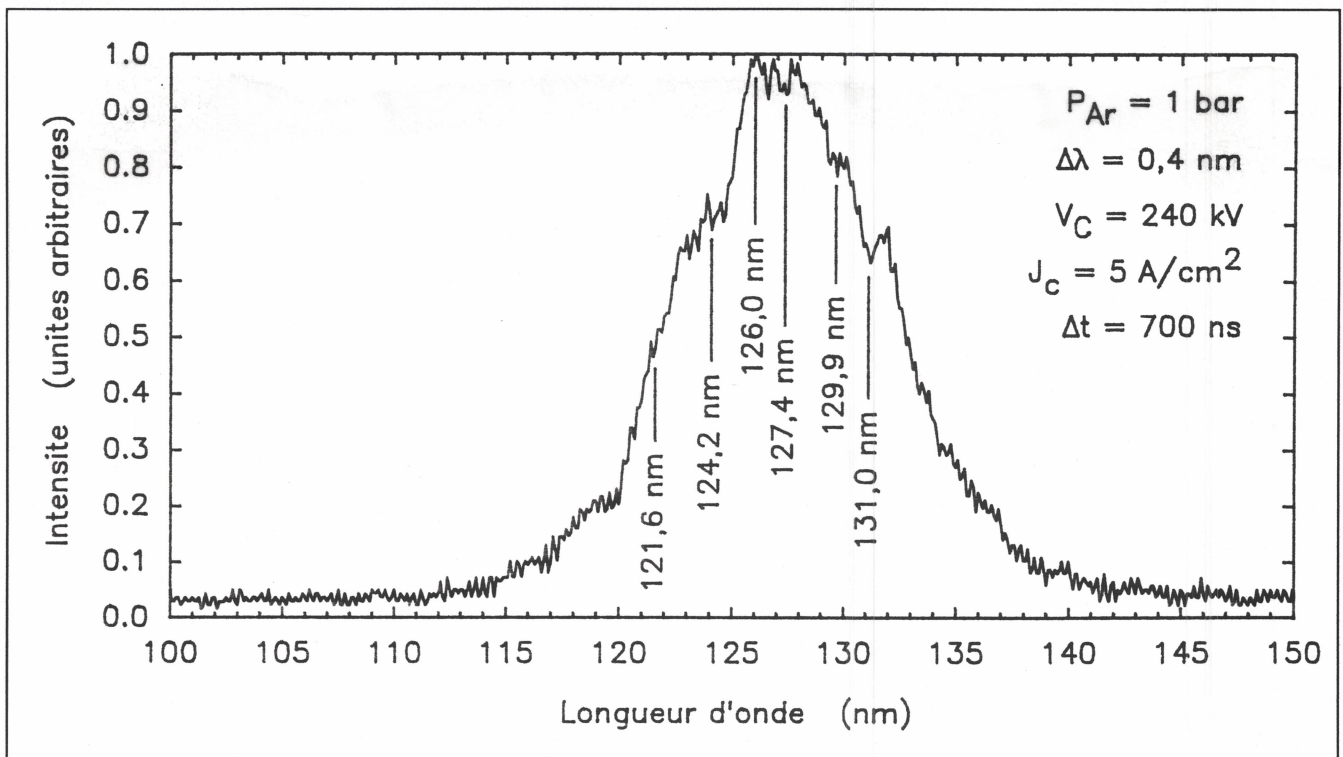
$$1_u, O_u^- ({}^1\Sigma_u^+): \tau = 4,5\text{ns}$$

SPECTRE D'EMISSION DE L'ARGON

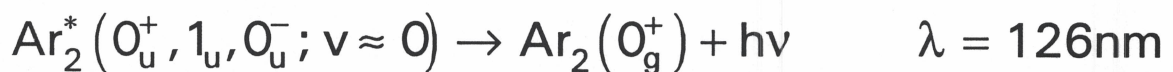
Excitation par faisceau d'électrons

$$V_c = 240 \text{ kV} \quad J_c = 5 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t = 700 \text{ ns}$$

$$P_{\text{Ar}} = 1 \text{ bar} \quad T = 300 \text{ K}$$



Second continuum



Raies d'impuretés

Hydrogène, Carbone, Azote, Xénon, Oxygène

OPTIMISATION DU MELANGE Ar/Xe

Rôle de l'Argon

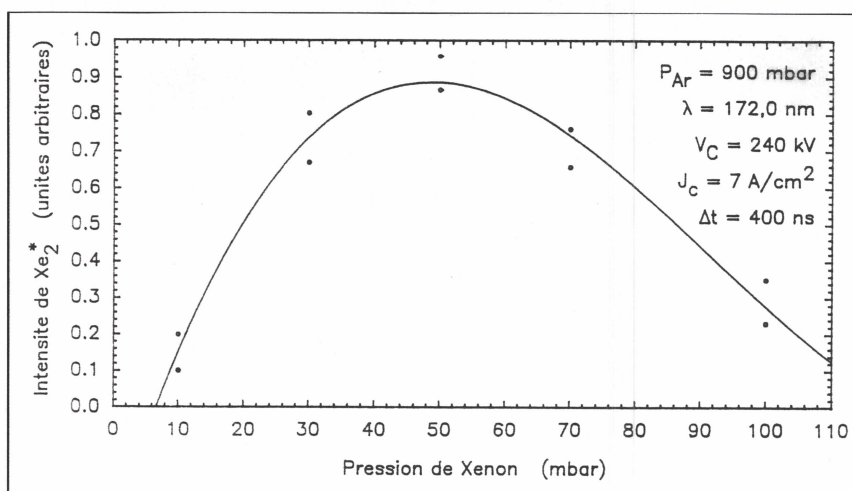
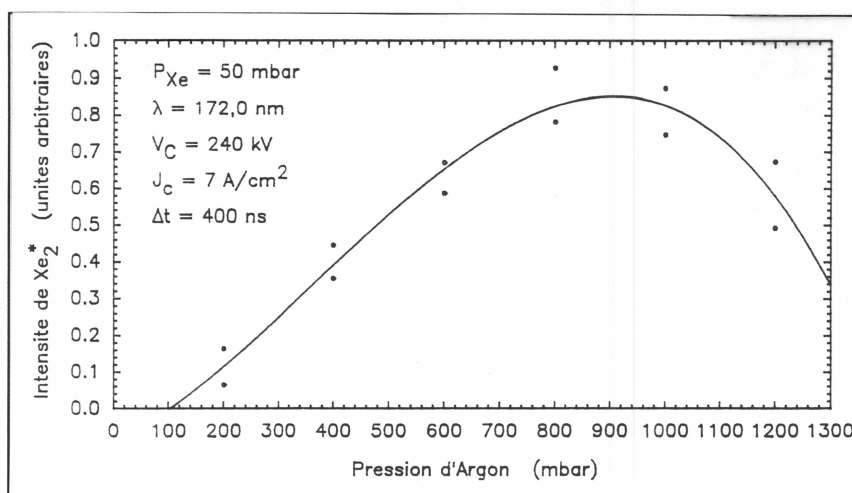
Favoriser le transfert d'énergie des électrons du faisceau

$$[\text{Xe}]/[\text{Ar}] > 0,1\%$$

Disparition du second continuum de l'Argon à 126nm

Optimisation

Etude de la fluorescence du Xénon à 172nm



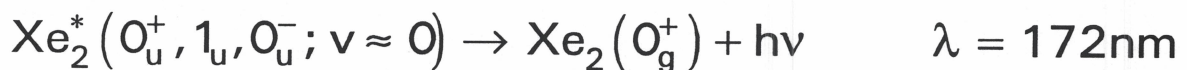
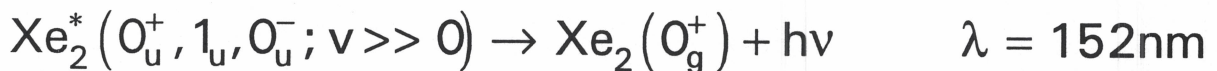
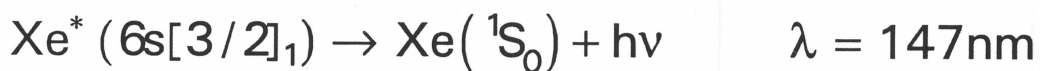
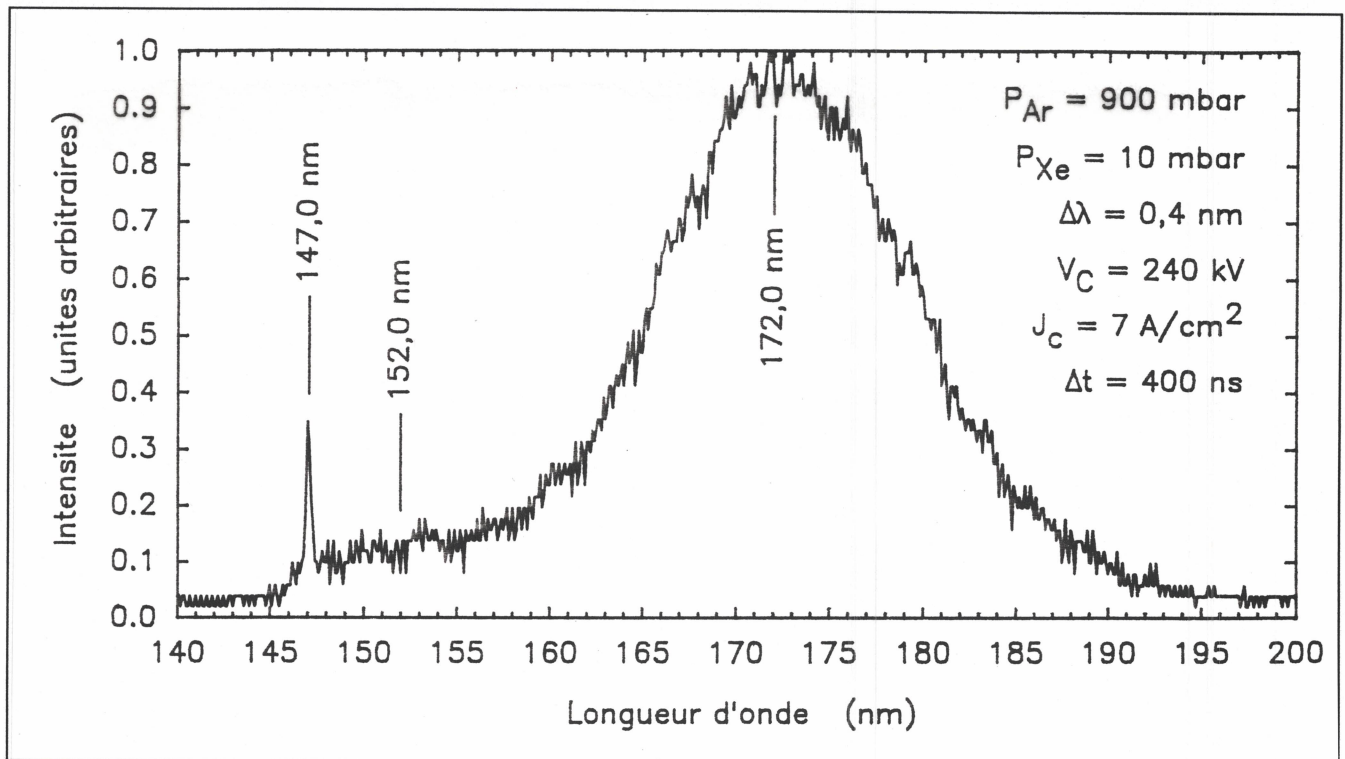
Tension canon: 240kV
Densité de courant: 7A/cm^2
Durée du pulse: 400ns
Pression d'Argon: 900mbar
Pression de Xénon: 50mbar

SPECTRE D'EMISSION DU XENON

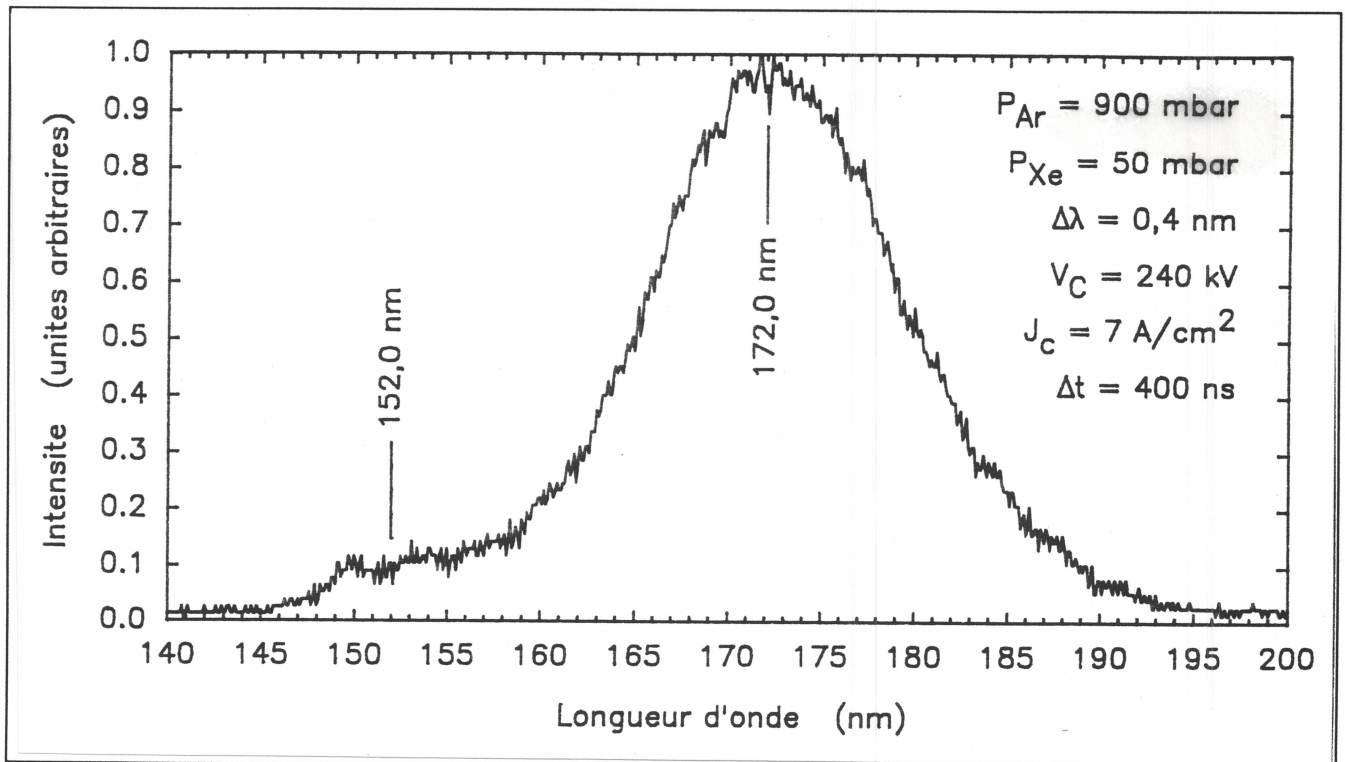
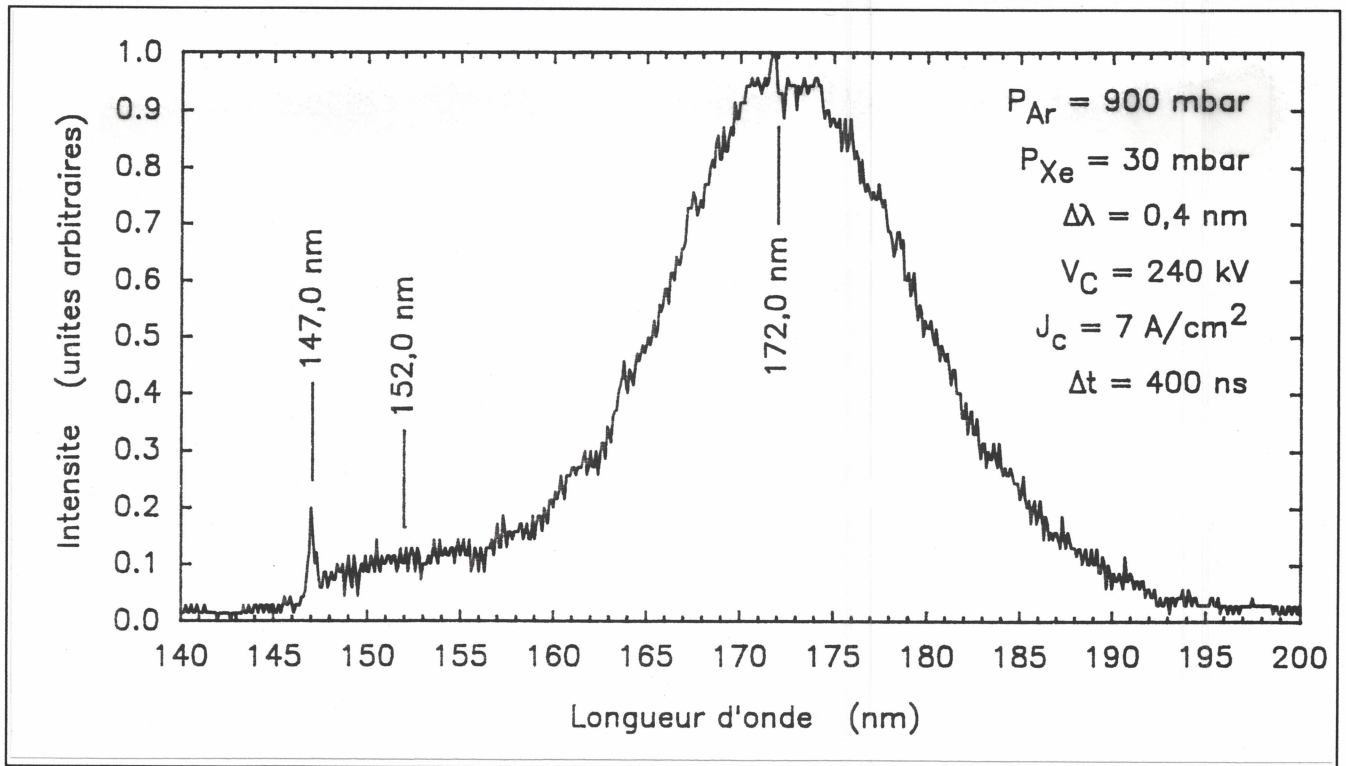
Excitation par faisceau d'électrons

$$V_C = 240 \text{ kV} \quad J_C = 7 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t = 400 \text{ ns}$$

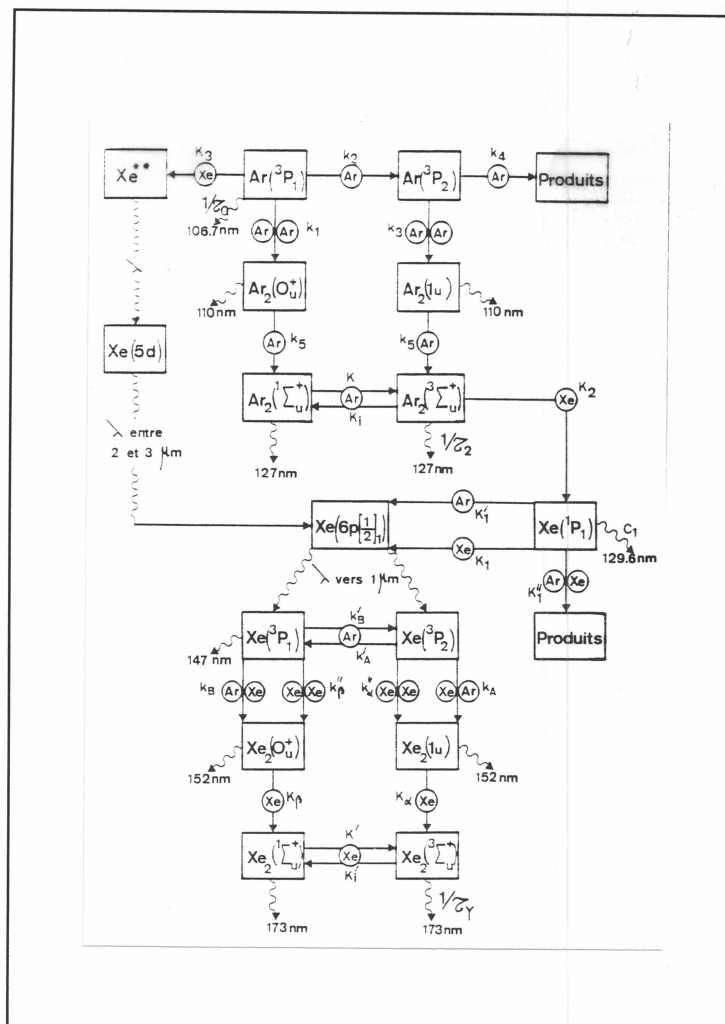
$$P_{\text{Ar}} = 900 \text{ mbar} \quad P_{\text{Xe}} = 10\text{-}100 \text{ mbar} \quad T = 300 \text{ K}$$



SPECTRE D'EMISSION DU XENON



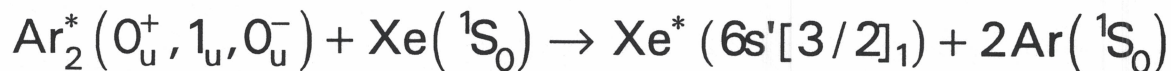
SCHEMA DES TRANSFERTS D'ENERGIE



Cheshnovsky & Gleason

DESTRUCTION DES ETATS MOLECULAIRES Ar_2^*

Transfert d'énergie
Collision atome-molécule



DESTRUCTION DES ETATS ATOMIQUES PRECURSEURS Ar^*

Collision à deux corps

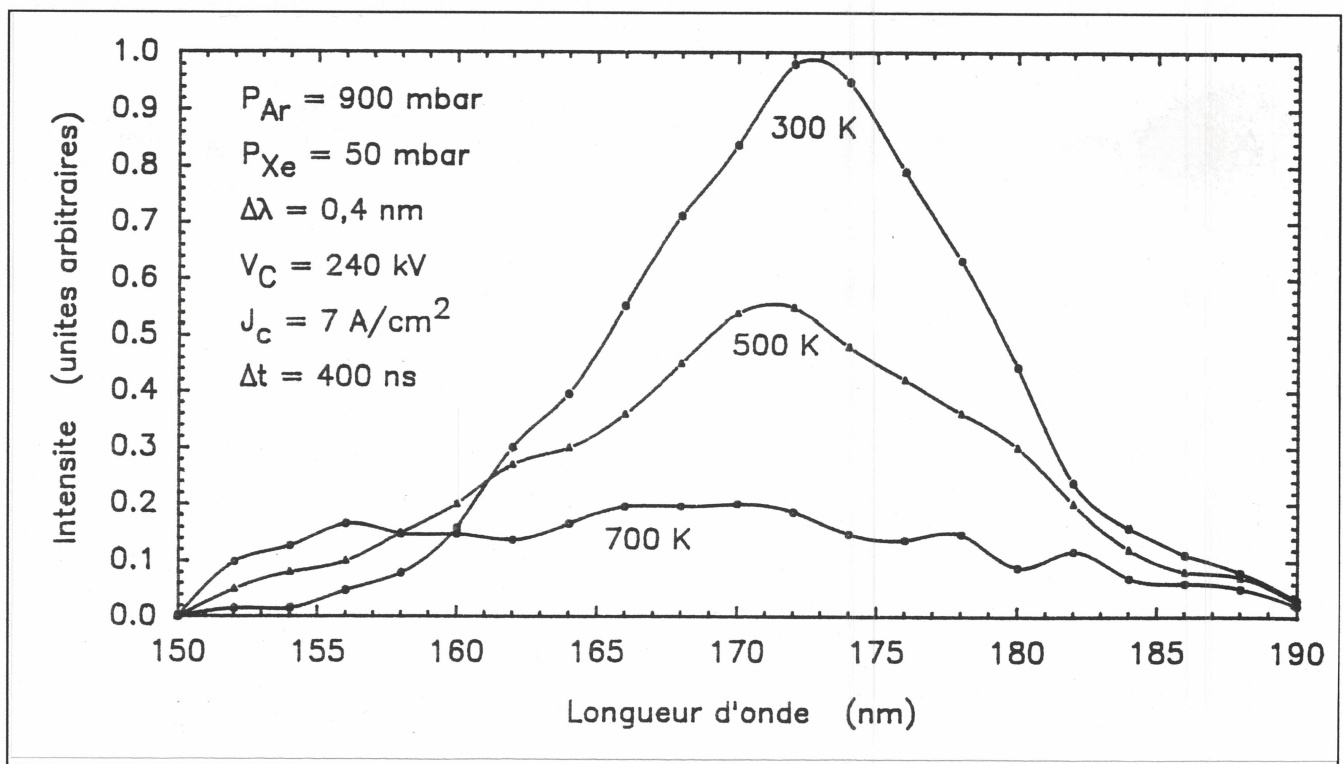


INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

Emission de Xe_2^* à 172nm

Cheshnovsky & Morikawa
80-300k

IMFM
300-700K

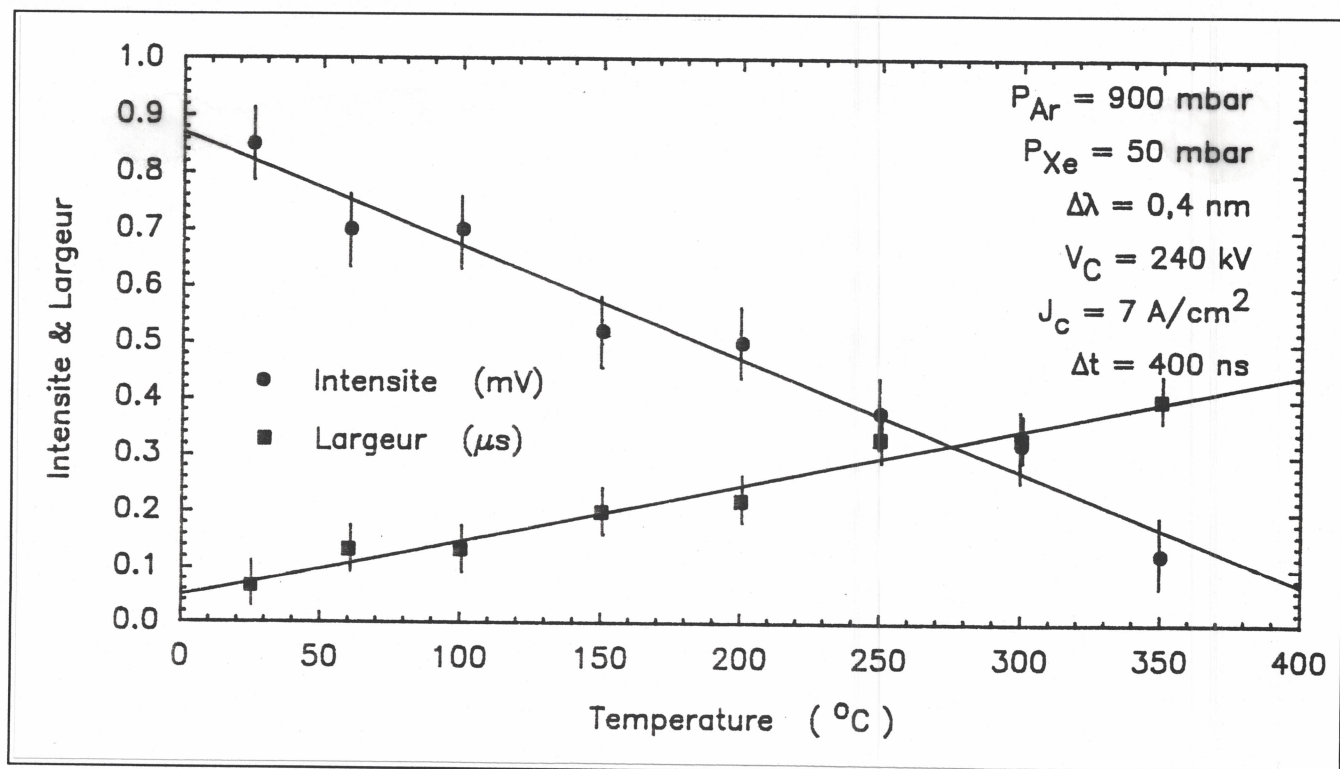
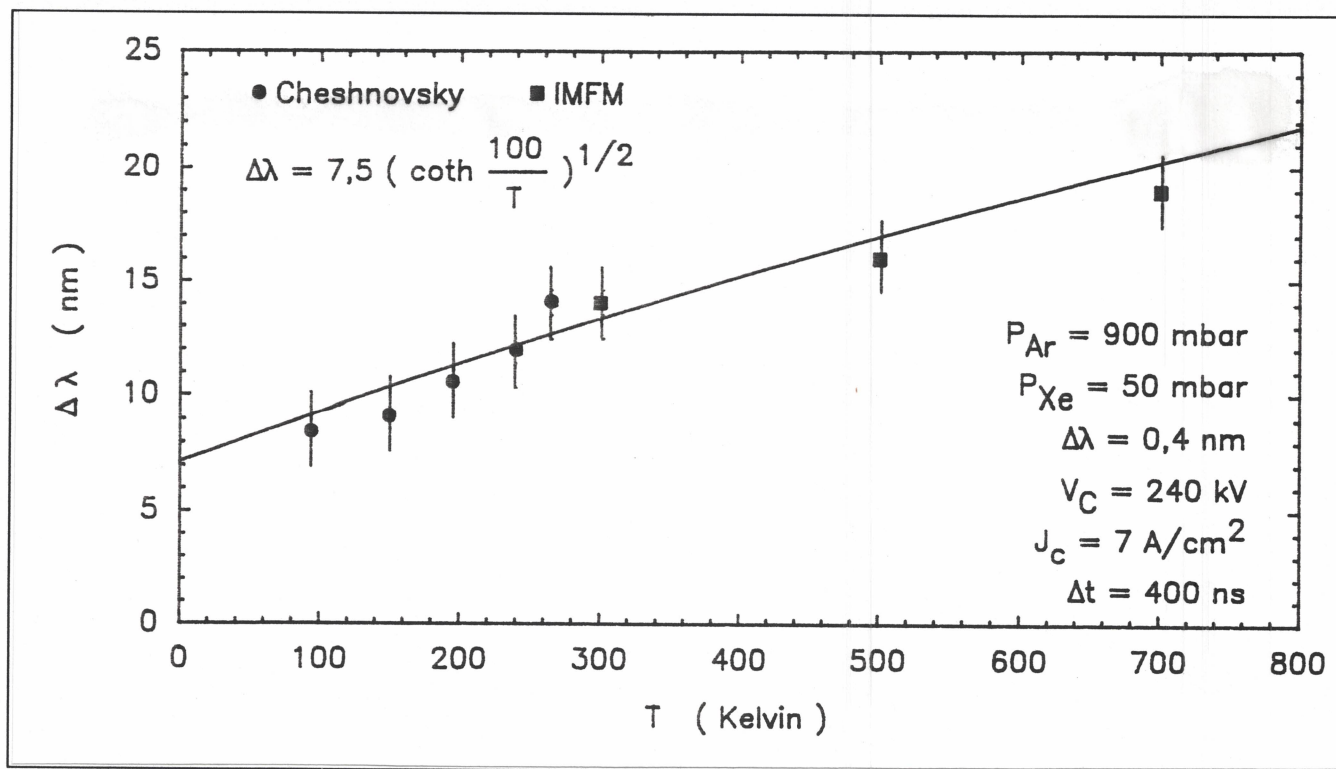


Elargissement du continuum

Diminution de l'intensité

Déplacement vers le bleu du maximum

INFLUENCE DE LA TEMPERATURE



SPECTRE D'EMISSION DE $(XeRb)^+$

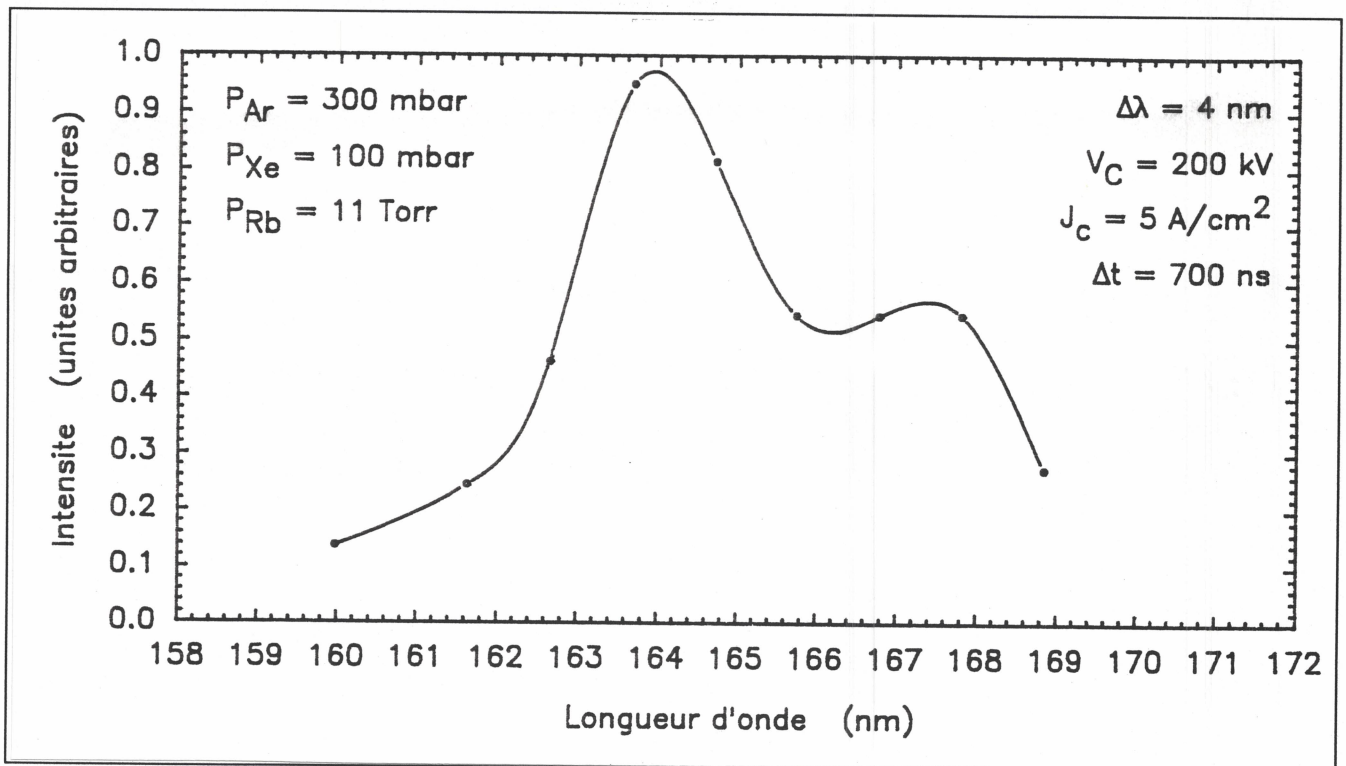
1990

Excitation par faisceau d'électrons

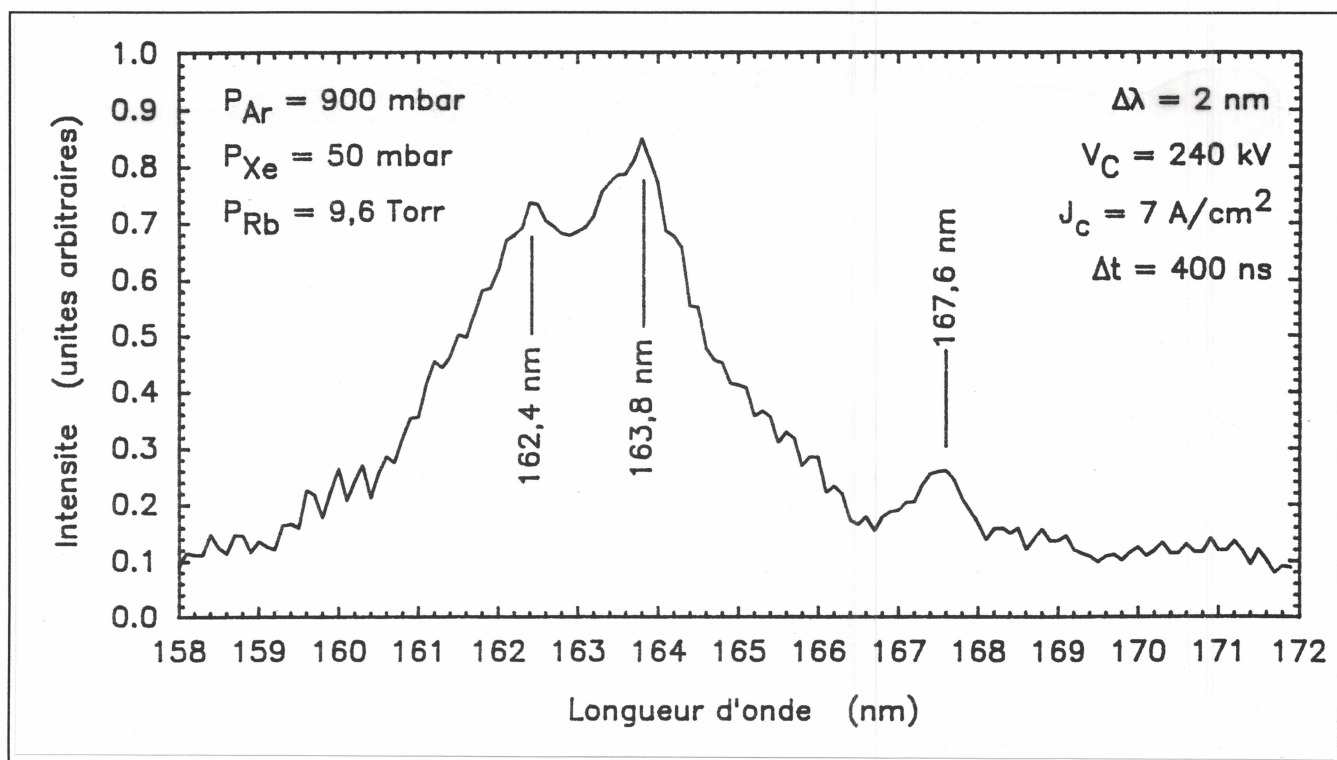
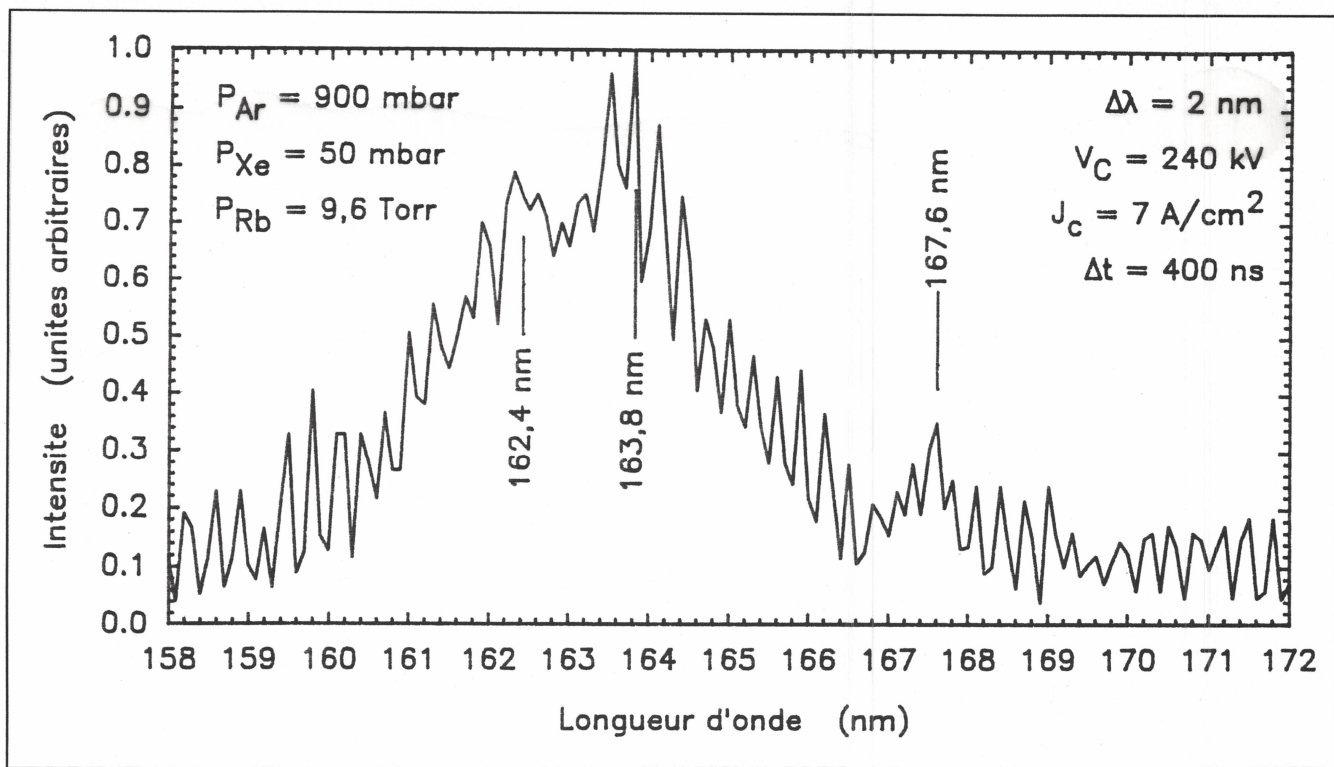
$V_C = 240\text{kV}$ $J_C = 5\text{A/cm}^2$ $\Delta t = 700\text{ns}$

$P_{Ar} = 300\text{mbar}$ $P_{Xe} = 100\text{mbar}$ $T = 25^\circ\text{C}$

$P_{Rb} = 11\text{Torr}$ $T = 396^\circ\text{C}$



SPECTRE D'EMISSION DE (XeRb)⁺



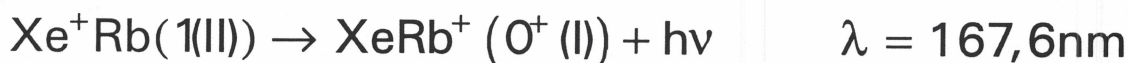
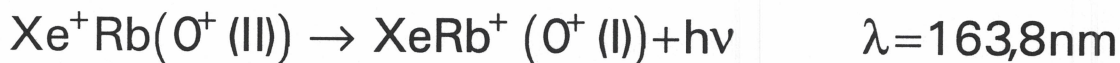
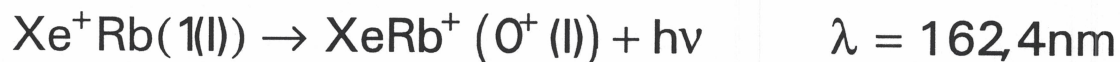
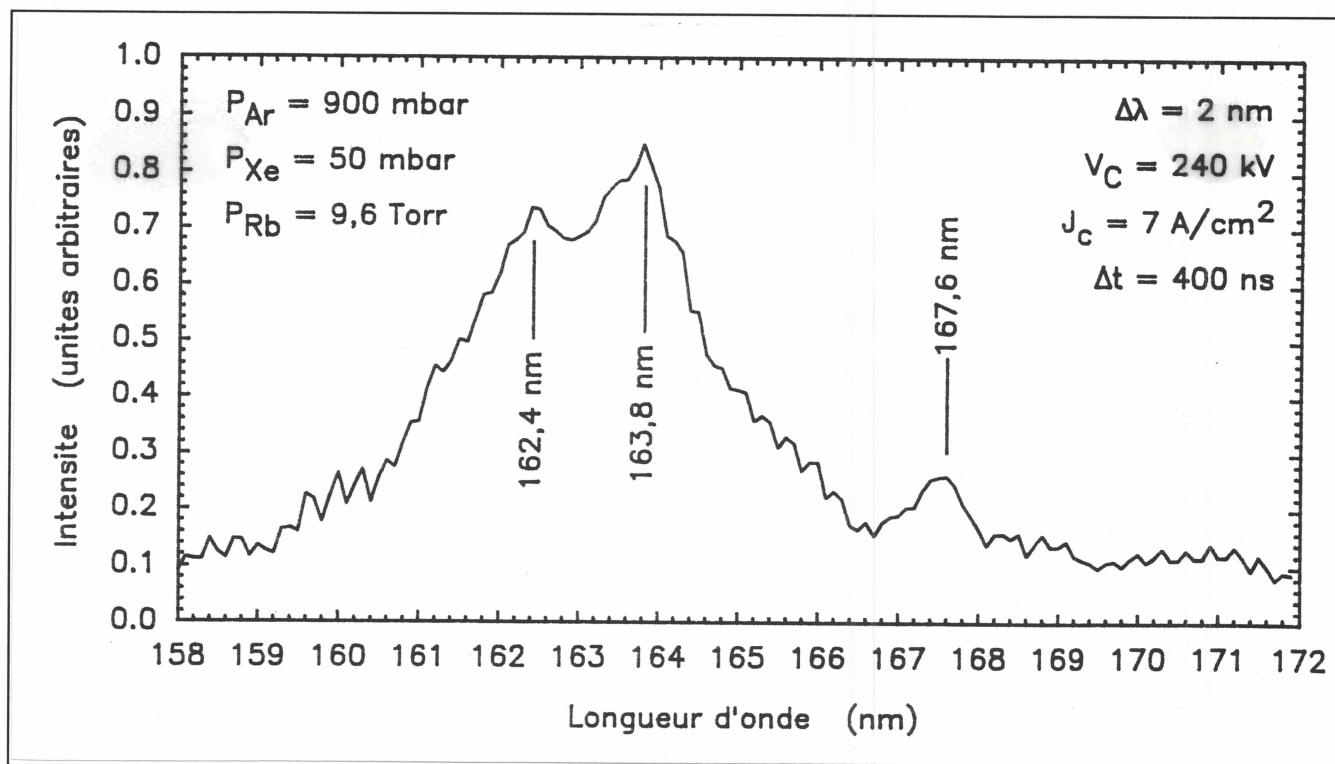
SPECTRE D'EMISSION DE (XeRb)⁺

Excitation par faisceau d'électrons

$$V_c = 240 \text{ kV} \quad J_c = 5 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t = 400 \text{ ns}$$

$$P_{\text{Ar}} = 900 \text{ mbar} \quad P_{\text{Xe}} = 50 \text{ mbar} \quad T = 25^\circ \text{C}$$

$$P_{\text{Rb}} = 9,6 \text{ Torr} \quad T = 388^\circ \text{C}$$



SPECTRE D'EMISSION DE (XeRb)⁺

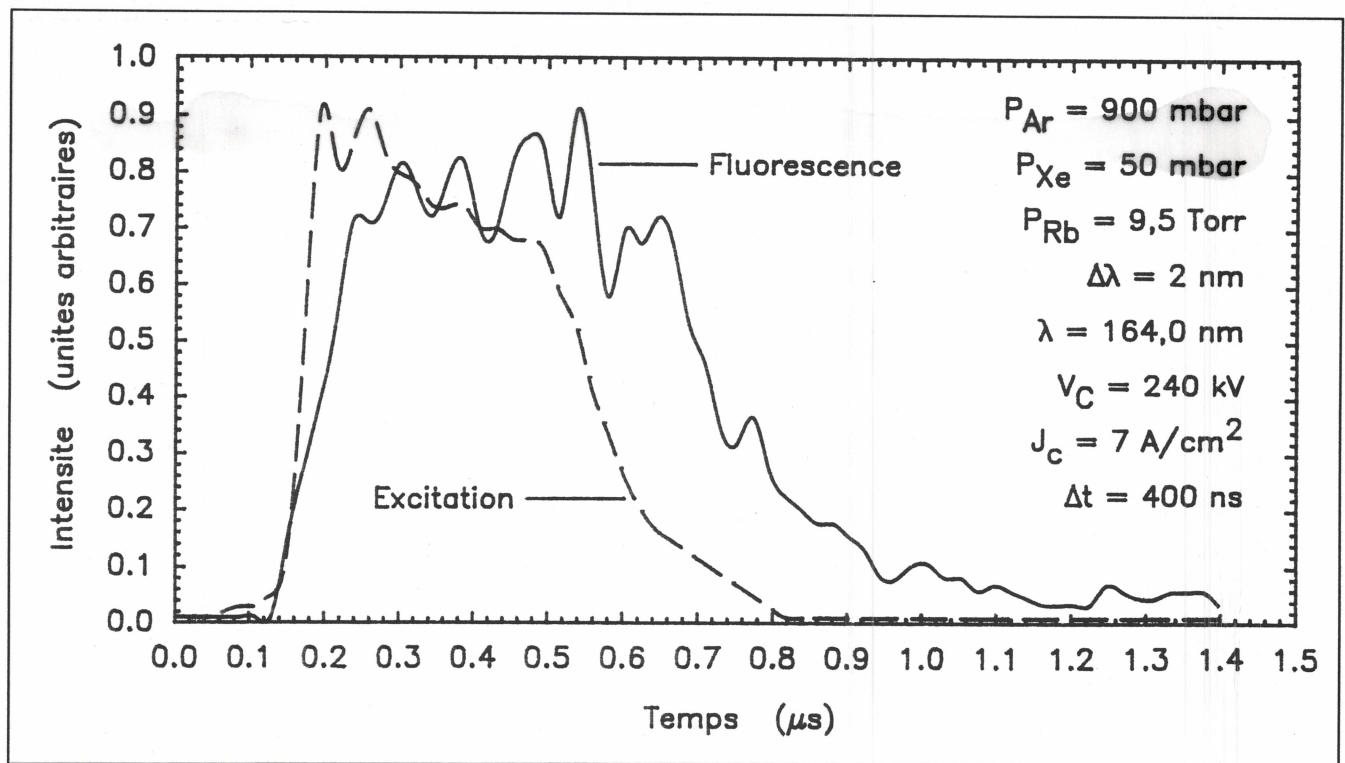
EVOLUTION TEMPORELLE DE L'EMISSION DE FLUORESCENCE

Excitation par faisceau d'électrons

$$V_c = 240 \text{ kV} \quad J_c = 5 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t = 400 \text{ ns}$$

$$P_{\text{Ar}} = 900 \text{ mbar} \quad P_{\text{Xe}} = 50 \text{ mbar} \quad T = 25^\circ \text{C}$$

$$P_{\text{Rb}} = 9,6 \text{ Torr} \quad T = 388^\circ \text{C}$$



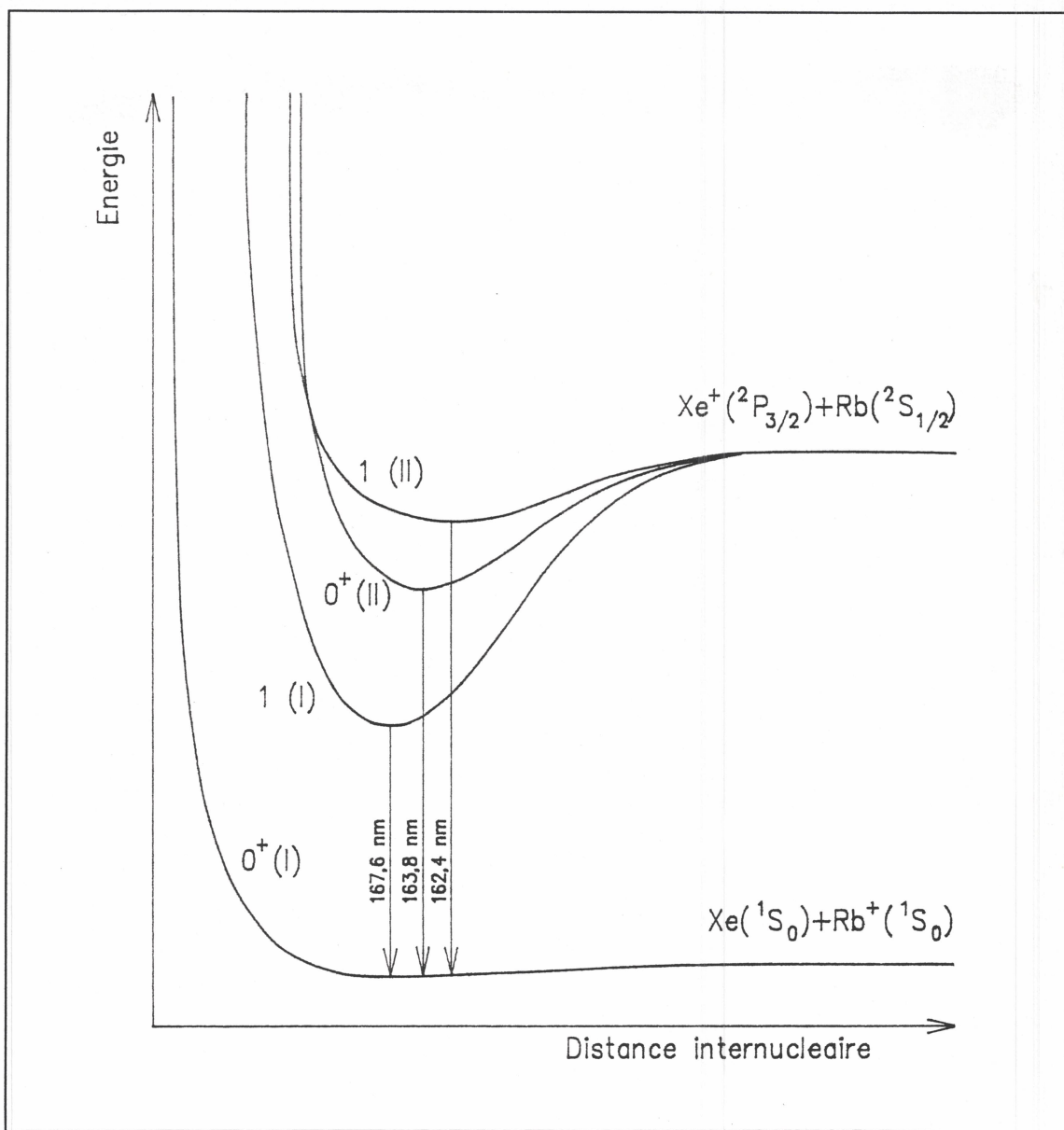
Irrégularités importantes du signal d'excitation

Millar:

$$\text{Xe}^+\text{Rb} (0^+): \quad \tau = 280 \text{ ns}$$

SPECTRE D'EMISSION DE $(\text{XeRb})^+$

Courbes de potentiel qualitative de $(\text{XeRb})^+$
(D'après Balasubramanian)



EMISSION STIMULEE & GAIN

$$\sigma_{\text{stim}} = \frac{1}{4\pi c} \sqrt{\frac{\ln 2}{\pi}} \frac{\lambda_0^2}{\tau \Delta\lambda}$$

$$G = \sigma_{\text{stim}} [\text{Xe}^+\text{Rb}] - \sigma_{\text{abs}} [\text{Rb}]$$

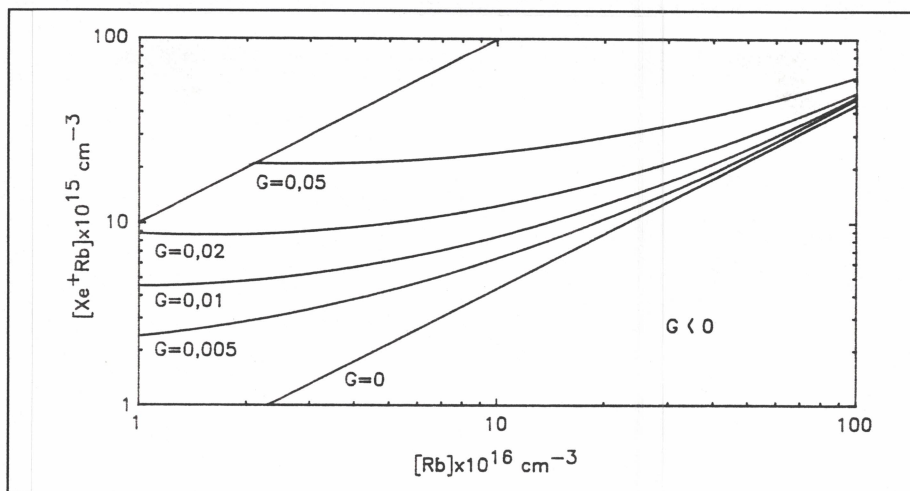
$$G_n = \exp G \cdot l$$

Conditions expérimentales

$$P_{\text{Rb}} = 9,5 \text{ Torr} \quad T = 388 \text{ }^\circ\text{C} \quad \lambda_0 = 164 \text{ nm} \quad \Delta\lambda = 2 \pm 1 \text{ nm}$$

$$\tau = (280 \pm 50) \text{ ns} \quad \sigma_{\text{abs}} = 1,1 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{\text{stim}} = (2,5 \pm 1) \cdot 10^{-18} \text{ cm}^2$$



Sauerbrey

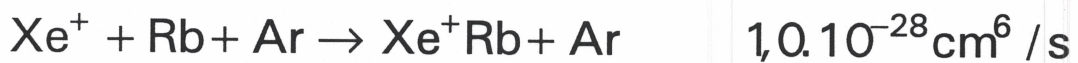
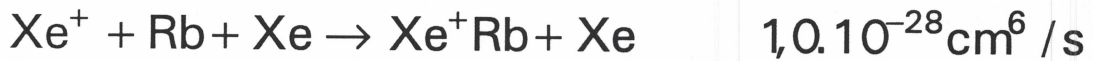
$$P_{\text{Ar}} \sim 3 \text{ bar}, \quad P_{\text{Xe}} \sim 50 \text{ mbar}, \quad P_{\text{Rb}} \sim 4 \text{ Torr}, \quad [\text{Xe}^+\text{Rb}] \sim 2 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$G \sim 0,02 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \text{Rayonnement cohérent}$$

SPECTRE D'EMISSION DE (XeRb)⁺

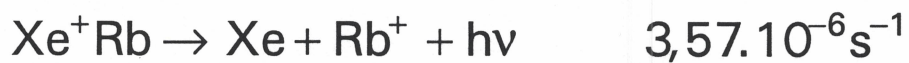
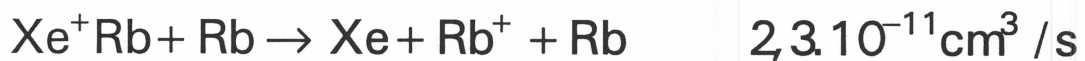
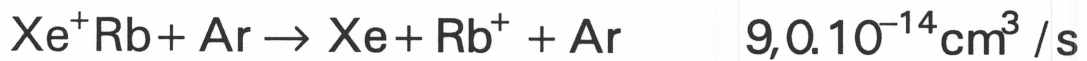
CREATION DES ETATS EXCIMERES Xe⁺Rb

Basov



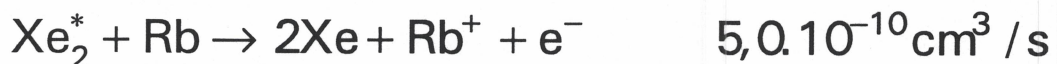
PROCESSUS DE DESEXCITATION COLLISIONNELLE ET RADIATIVE

Millar



DESEXCITATION COLLISIONNELLE DE Xe₂^{*} & Ar₂^{*}

Millar



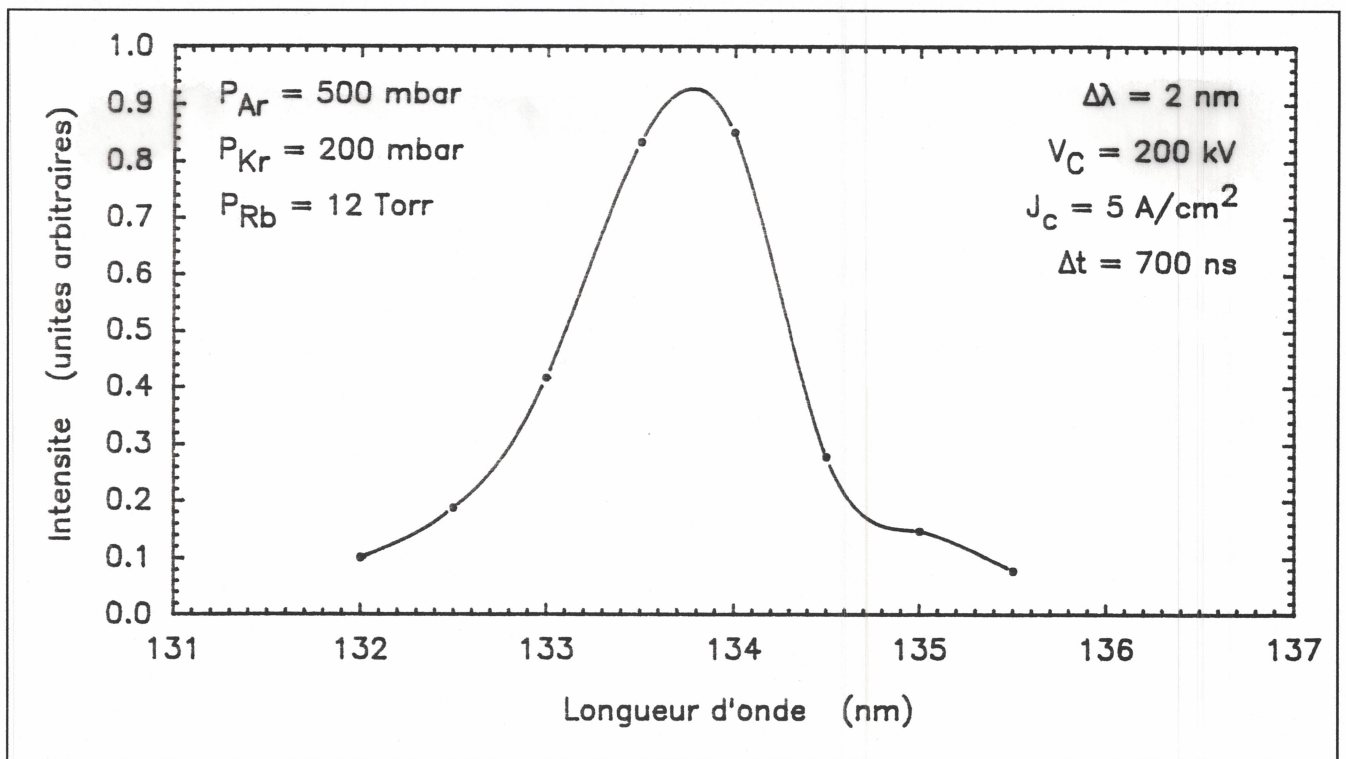
SPECTRE D'EMISSION DE (KrRb)⁺

Excitation par faisceau d'électrons

$$V_c = 200 \text{ kV} \quad J_c < 5 \text{ A/cm}^2 \quad \Delta t \sim 700 \text{ ns}$$

$$P_{\text{Ar}} = 500 \text{ mbar} \quad P_{\text{Xe}} = 200 \text{ mbar} \quad T = 25^\circ \text{C}$$

$$P_{\text{Rb}} = 12 \text{ Torr} \quad T = 400^\circ \text{C}$$



CONCLUSION

DISPOSITIF EXPERIMENTAL OPERATIONNEL

OBSERVATION DE Xe_2^*

OBSERVATION DES EXCIMERES IONIQUES

Xe^+Rb & Kr^+Rb

PERSPECTIVES

OBSERVATION D'AUTRES EXCIMERES

OPTIMISATION DES EMISSIONS

EVALUATION DES POSSIBILITES D'EFFETS LASERS