

FR 90 00205

COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

CENTRE D'ETUDES NUCLEAIRES DE SACLAY

Service de Documentation

F91191 GIF SUR YVETTE CEDEX

CEA-CONF --9886

L5

MISE EN EVIDENCE D'INSTABILITES DE RAYLEIGH-TAYLOR DANS DES PLASMAS
CREES PAR LASER

HOLSTEIN P.A.- MEYER B.- ROSTAING M.- GALMICHE D.- WILKE N.
CEA Centre d'Etudes de Limeil, 94 - Villeneuve-Saint-Georges (FR)

Communication présentée à : 3. International Symposium on behaviour of dense media
under high dynamical pressure

La Grande Motte (FR)
5-9 Jun 1989

MISE EN EVIDENCE D'INSTABILITES DE
RAYLEIGH-TAYLOR DANS DES PLASMAS
CREES PAR LASER

Pierre Andre HOLSTEIN, Bernard MEYER, Michel ROSTAING ,Didier GALMICHE,
Nicole WILKE

Centre d'études de Limeil-Valenton,
B.P. n°27, 94190 Villeneuve St Georges

RESUME

En accélérant par laser des cibles planes tricouches Au-Al-Au nous avons mis en évidence une zone de mélange de part et d'autre d'une interface instable au sens de Rayleigh-Taylor. En effet nous avons détecté des raies d'Al en chauffant l'arrière de la cible avec un laser sonde retardé par rapport au laser principal; ces raies sont la signature du mélange Au-Al. Nous donnons une estimation de la composition du mélange et nous soulignons le rôle du préchauffage radiatif .

Dans la fusion thermonucléaire par laser, il est nécessaire d'obtenir des taux de compression élevés pour minimiser l'énergie qu'il faut fournir au plasma. Il faut donc que la cible qui implose soit hydrodynamiquement stable /1/,2/,3/. Or, lors du ralentissement de la coquille par le gaz fusible qu'elle contient, des instabilités de Rayleigh-Taylor (RT) peuvent se produire à l'interface lourd-léger conduisant à la turbulence et finalement à la pollution du gaz.

Pour étudier ce problème nous accélérons avec un faisceau laser (dit faisceau principal) une cible plane bicouche où le milieu léger (Al) pousse un milieu lourd (Au); en effet, dans le repère lié à la cible, l'accélération inertielle est dirigée du lourd vers le léger ce qui est fondamentalement instable au sens de RT. Pour mettre en évidence une zone de mélange se développant de part et d'autre de l'interface instable, un second faisceau laser dit "faisceau-sonde" décalé dans le temps, chauffe l'arrière de la cible: si le mélange Al-Au est suffisamment important, un spectrographe détecte l'émission de raies d'Al /4/. Expérimentalement une couche d'Au à l'avant a été ajoutée pour ne pas chauffer l'Al avec le faisceau principal et pour lisser le dépôt d'énergie /5/.

Des simulations numériques ont permis de qualifier le principe de cette expérience en confirmant l'apparition d'une zone de mélange. Les calculs ont été réalisés à l'aide d'un code hydrodynamique couplé à un modèle simple de pollution. La mise en vitesse de l'interface Al-Au est caractéristique de l'énergie et de la forme de l'impulsion du laser principal (Fig 1). Tant que la vitesse croît la configuration est instable parce que l'accélération est dirigée de l'Al vers l'Au. La phase d'instabilité au sens de Richtmyer-Meshkov (interaction onde de choc-interface) est très réduite et l'instabilité de RT est prépondérante.

Les simulations ont mis en évidence le rôle important joué par le rayonnement émis par la couche d'Au à l'avant. Ce rayonnement va préchauffer l'Al et l'Au de part et d'autre de l'interface étudiée. En fait, le nombre d'Atwood à cette interface et donc, le développement des perturbations, sont peu affectés; par contre, les matériaux étant détendus, la masse entrant en mélange est réduite. La forme de l'impulsion est un paramètre très sensible, un front de montée rapide entraînant un préchauffage radiatif précoce et intense.

Le calcul de la pollution, basé sur une modélisation du transfert de l'énergie ordonnée en énergie désordonnée, évalue à chaque instant les masses d'Al et d'Au entrées en mélange. Pour des tricouches Au(300nm)-Al(1µm)-Au(300nm) le faisceau sonde freine le développement du mélange quand l'énergie du laser principal est 2J (fig 2). Pour 7J, tout l'Au arrière est en mélange et ne peut pas être affecté par l'arrivée du laser sonde. Pour des tricouches Au(300nm)-Al(2µm)-Au(300nm) le faisceau sonde ne joue pas sur la composition du mélange quelque soit l'énergie laser.

Le principe de l'expérience est schématisé fig 3. Le faisceau laser principal qui irradie la face avant et accélère la cible a les caractéristiques suivantes : longueur d'onde 0,35µm, énergie variable de 2 à 11J, forme 2 gaussiennes de 500ps séparées de 500ps. Le faisceau sonde a la même forme temporelle, mais est retardé de 1ns, sa longueur d'onde est 1,06µm et son énergie constante, 11±2J.

Deux spectrographes pointés vers l'arrière de la cible observent le domaine 1,5 à 3 keV: le premier (noté SI) intègre temporellement les émissions et le second (ST) donne les émissions en fonction du temps; ce dernier est muni d'un cristal courbe pour "focaliser" les raies X sur la fente d'une caméra à balayage.

Deux chambres à sténopés sont disposées à 45° des axes laser: les images des plasmas d'Au dans le domaine des RX ont montré des diamètres

identiques à l'avant et à l'arrière, soit $180+10\mu\text{m}$ à mi-hauteur (éclairage $I=3.10^{13}\text{W/cm}^2$ pour 10J incident); l'écart quadratique moyen des modulations de l'intensité dans l'image est 50% à l'avant et à l'arrière. L'éclairage arrière est du même ordre que l'éclairage avant, mais à la longueur d'onde triple ce qui donne une épaisseur ablatée 4 fois plus petite (en $\lambda^{-4/3}$) et une pression 2 fois plus faible (en $\lambda^{-2/3}$).

Dans une première phase nous avons mesuré l'épaisseur d'Au ablaté par le faisceau sonde éclairant une cible massive (sans laser principal): ce sont des cibles "bicouches" constituées d'une épaisseur variable d'Au (20 à 200nm) déposé sur $25\mu\text{m}$ d'Al. Au delà de $100+10\text{nm}$ d'Au la raie $\text{He}\alpha$ de l'Al passe en dessous du seuil de visibilité pour les 2 spectrographes.

Dans les expériences d'instabilités proprement dites nous avons utilisé les tricouches Au(300nm)-Al($2\mu\text{m}$)-Au(300nm). Notons que l'épaisseur d'Au déposé face-arrière est 3 fois supérieure à l'épaisseur ablatée sur une cible au repos.

L'émission de la raie $\text{He}\alpha$ de l'Al est tracée à la fig 3 en fonction de l'énergie du faisceau principal qui accélère la cible (nous avons associé les mesures du SI et du ST correspondant au même tir, par une barre verticale). Cette émission montre que l'Al est entré en mélange avec l'Au. Cette pollution apparaît entre 2 et 4J et semble passer par un maximum vers 8J. On constate une certaine dispersion autour de la tendance générale, en effet :

- 1) les signaux reçus sont très faibles par rapport au cas de l'Al pur (facteur 50) de sorte que les erreurs sont grandes;
- 2) il y a des points chauds différents d'un tir à l'autre dans les taches focales .

Afin de faire des estimations quantitatives de la proportion d'Al mêlé à l'Au par suite des instabilités de R-T pour les cibles tricouches, nous avons mesuré la raie $\text{He}\alpha$ en tirant avec le faisceau sonde seul sur des mélanges préparés de proportion connue d'Al: 20%, 50% et 70% (en atomes); comme la couche d'Au peut être non-totalement polluée nous avons aussi fait la mesure avec ces mélanges recouverts de 40nm d'Au. A la fig 4 nous avons reporté les points de la fig 3 mais, en ordonnée, nous avons marqué le taux de mélange déterminé grâce à cette méthode (en abscisse l'éclairage laser). La composition de la zone sondée peut se trouver dans les 2 fourchettes suivantes correspondant aux échelles de gauche et de droite :

- A- une couche polluée contenant 10 à 20% d'atomes d'Al ,

-B- une couche polluée contenant 20 à 50% d'atomes d'Al recouvert par une couche d'Au non polluée de 40nm .

Pour supprimer les points chauds des taches focales à l'avant et à l'arrière on a refait des mesures en utilisant une méthode de lissage optique par "lame de phase aléatoire" (en abrégé LPA ou RPP pour Random phase plate /6/). La répartition de l'énergie dans les taches focales est gaussienne avec une largeur à mi-hauteur de 200µm; cette répartition est différente de la répartition précédente qui était de forme annulaire mais de même dimension; de plus l'écart quadratique moyen est de "30% à l'avant et 25% à l'arrière: les LPA nous ont fait gagner un facteur 2 par rapport au cas usuel. Les points correspondants aux tricouches éclairées plus uniformément grace aux LPA sont reportés à la fig 4 : ils se placent sur la courbe précédemment tracée et semblent être moins dispersés que sans lissage. Ce résultat indique que la non-uniformité de la tache focale ne joue pas un rôle prépondérant dans le déclenchement des instabilités mais améliore la répétitivité des expériences.

En conclusion, nous avons mis en évidence un mélange d'Au et d'Al au voisinage de l'interface Al-Au d'une cible accélérée par un faisceau laser à 0,35µm. En effet pour des cibles au repos les raies de l'Al ne sont plus visibles quand l'épaisseur d'Au dépasse 100nm; quand les cibles sont accélérées des raies ont été observées pour 300nm d'Au .

Pour interpréter ces résultats il faut tenir compte de deux phénomènes antagonistes vis à vis des instabilités hydrodynamiques : d'une part l'accélération de la cible et d'autre part le profil de densité au voisinage de l'interface Al-Au. En effet, lorsque le flux laser croît, la détente de l'Au arrière sous l'effet du préchauffage radiatif dû à l'émission de l'Au avant conduit à une masse de pollution plus faible. De sorte qu' il peut exister un maximum de pollution lorsque le flux laser augmente. Pour 2µm d'Al ce maximum se produirait au delà de 3.10^{13}W/cm^2

Les mesures permettent de donner une estimation de la pollution de l'Au par l'Al: dans les 100nm de la zone sondée il reste probablement une épaisseur d'Au non pollué d'épaisseur comprise entre 0 et 40nm recouvrant un mélange de 20% d'atomes d'Al et 80% d'Au .

REFERENCES:

- /1/ K.TANAKA and E.I.THORSOS Appl.Phys.Lett.35 1979 p.853-856
- /2/M.H.KEY and al. Appl. Phys. Lett. 36 1980 p.269-273
- /3/ J.S.WARK and al. Appl. Phys. Lett. 48 1986 p.969-972
- /4/ A.RAVEN and al. Phys. Rev. Lett. 47 1981 p.1049-1052
- /5/ J.L.BOCHER and al. Phys. Rev. Lett. 52 1984 p.823-826
- /6/ Rochester laboratory LLE quaterly review ,volume 33 1987 p.1-10

Légende des figures:

Fig 1 :vitesse de l'interface Al-Au donnée par le code pour une impulsion gaussienne de 1ns et 2-7J et pour des tricouches Au(300nm)-Al(1 μ m)-Au(300nm).

Fig 2 : masses d'Al et d'Au en mélange données par un modèle de turbulence pour une impulsion de 2-7J.

Fig 3 :pour une cible tricouche Au-Al(2 μ m)-Au, émission de la raie He α en fonction de l'énergie du faisceau principal.

Fig 4 : pour une cible tricouche Au-Al(2 μ m)-Au, taux de mélange Al/Au en fonction de l'éclairement du faisceau principal.

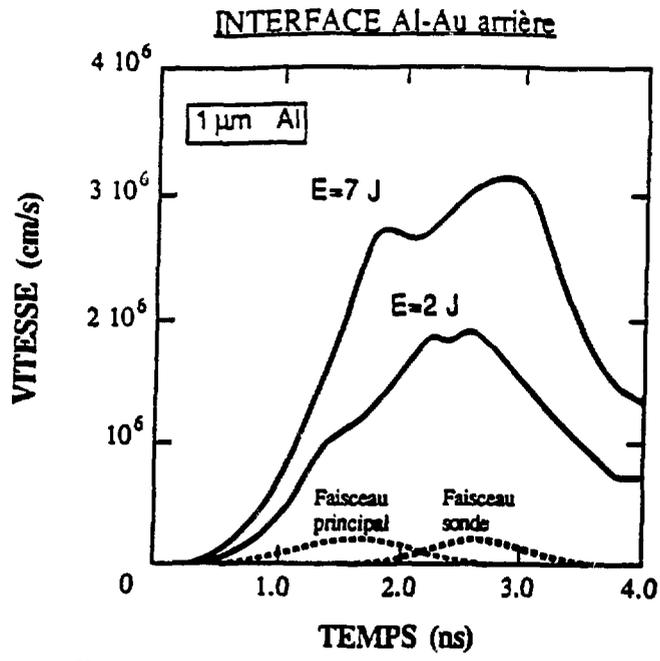


fig 1

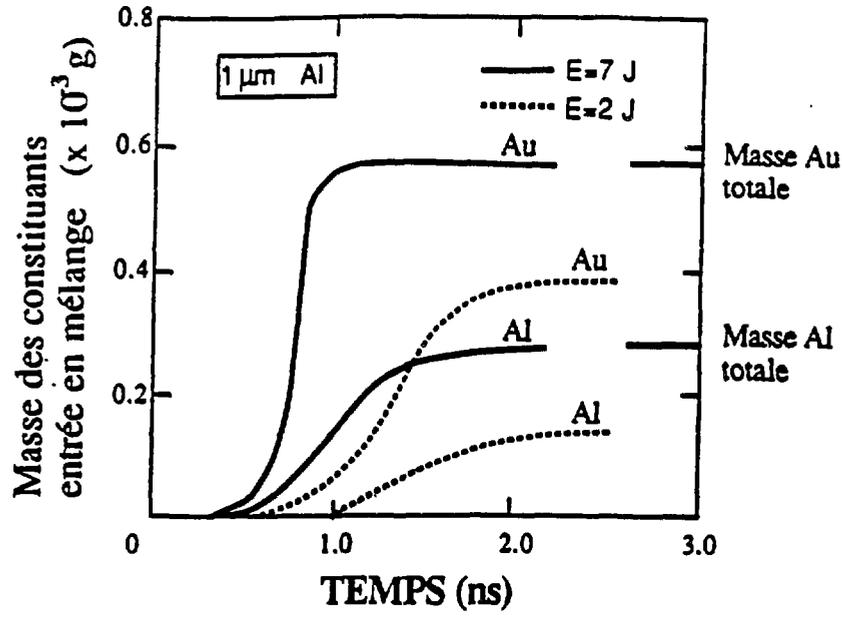


fig 2

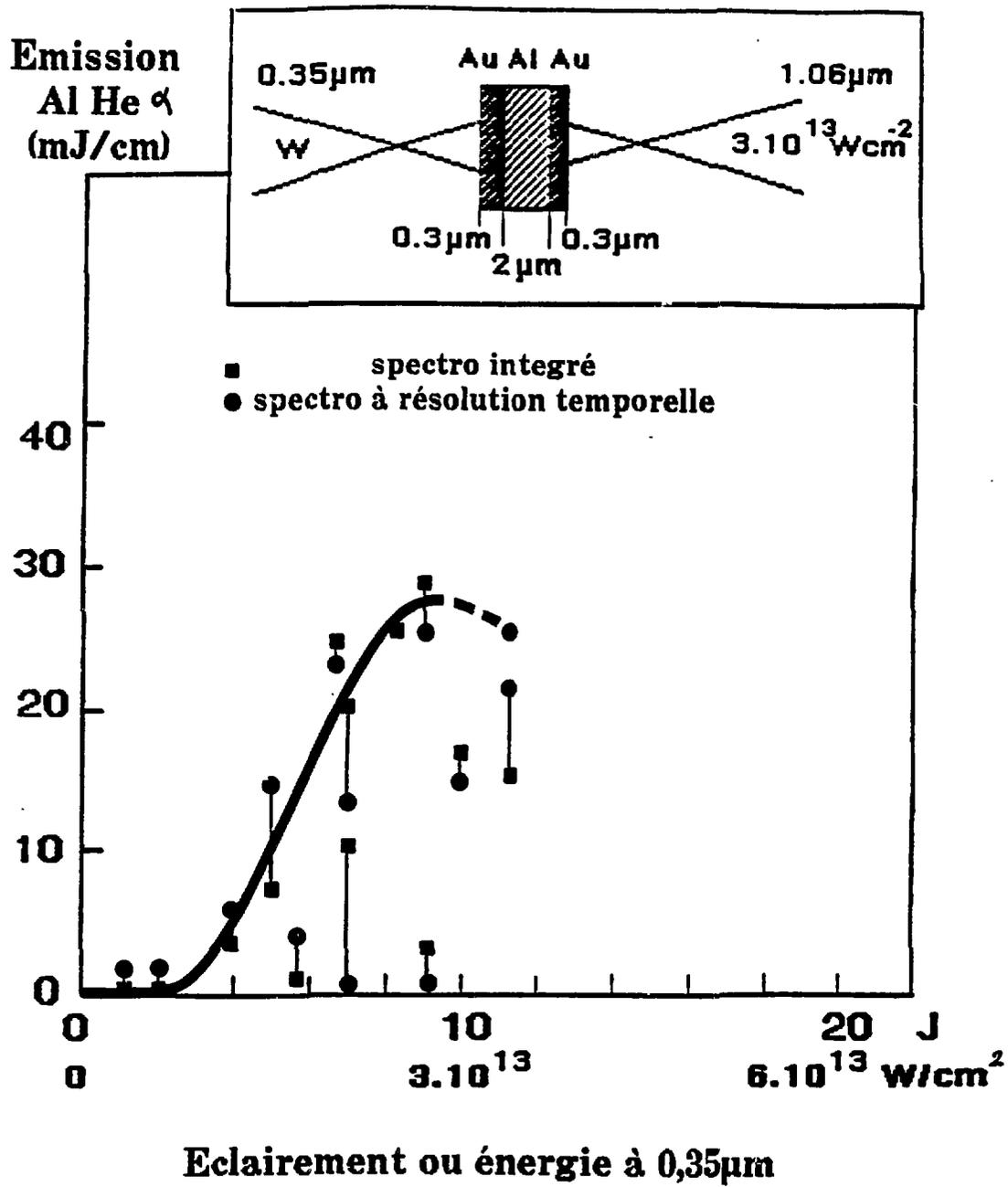
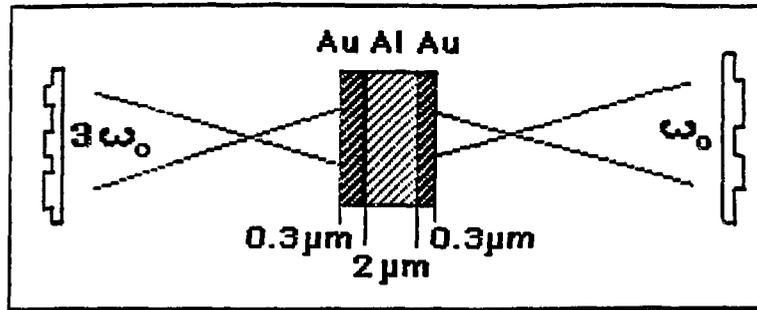


fig3



Taux de mélange Al/Au

Taux de mélange Al/Au
recouvert de 40nm d'Al

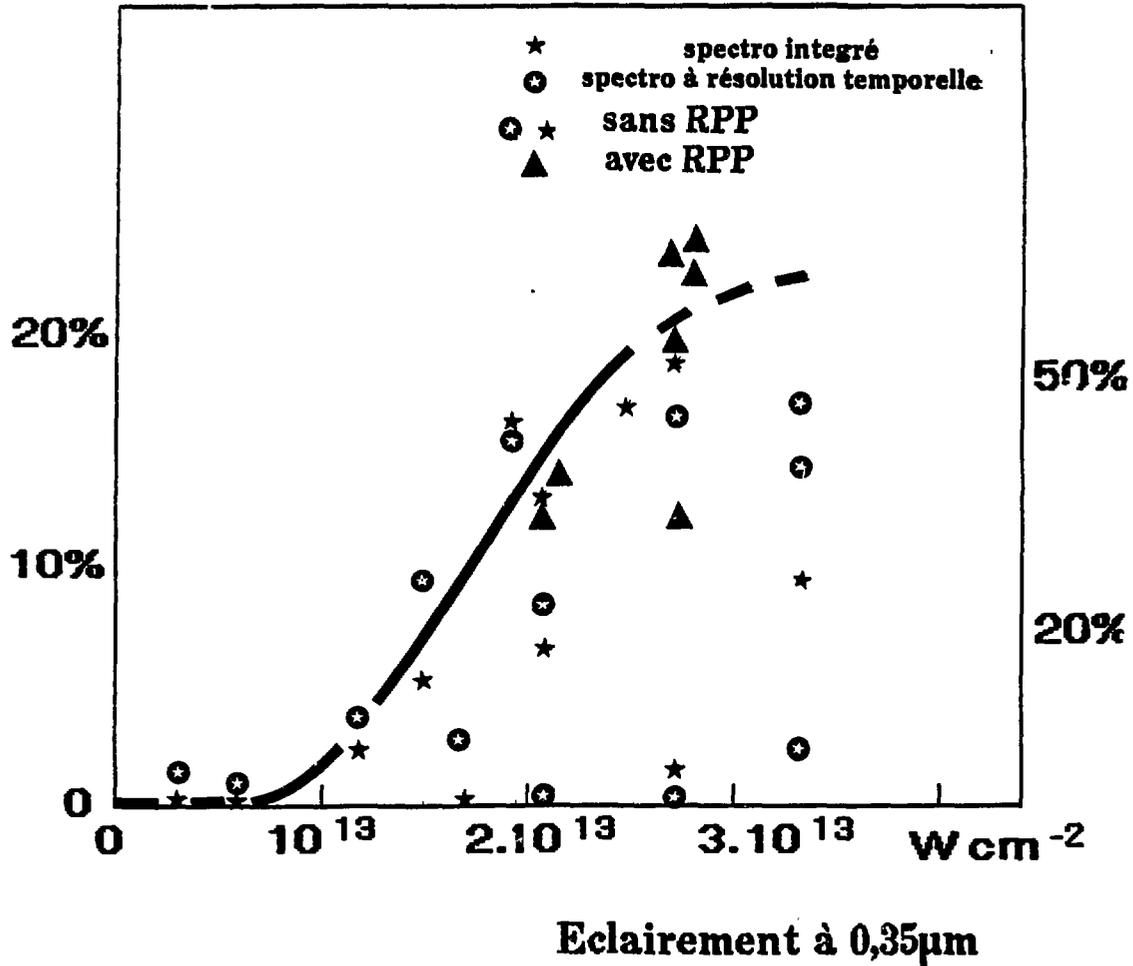


fig4

Textes édités sur le sujet :

- Etude numérique de l'évolution d'une zone de mélange
F.Chaigneau, N.Wilke
Rapport des Activités Laser 1982-1983 CEA-CEL-V chap.4, p. 10
- Seconde campagne d'étude des instabilités de Rayleigh-Taylor
par irradiation de cibles tri-couches.
P.A.Holstein et al.
Note CEL-V/DLPP n° 004/88/DR du 18 février 1988
- Mise en évidence d'instabilités de Rayleigh-Taylor
dans des plasmas créés par laser
P.A.Holstein et al.
Accepté pour parution dans les
Comptes Rendus à l'Académie des Sciences *par 6.307 serie II*
p. 211-216, 1988
- Présentations à des conférences telles que
l'Anomalous Absorption, Lake Tahoe, 1987
Montreal, 27/6/1988
à 19ème EELIM, Madrid, 3-7/10/1988

Des expériences et des simulations numériques sont en cours pour confirmer les phénomènes observés; les résultats attendus ne sont pas susceptibles de changer le contenu de ces rapports sur les problèmes de fond