

Académie des sciences (France). Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. 1962.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

\*La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

\*La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

Cliquer [ici pour accéder aux tarifs et à la licence](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

\*des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

\*des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter [reutilisation@bnf.fr](mailto:reutilisation@bnf.fr).

MICROSCOPIE ÉLECTRONIQUE. — *Étude de l'attaque du verre par bombardement ionique.* Note (\*) de MM. MAURICE NAVEZ, CLAUDE SELLA et Mlle DOMINIQUE CHAPEROT, transmise par M. Jean-Jacques Trillat.

L'aspect des figures d'attaque ionique sur le verre (stries, systèmes de rides périodiques, structures cellulaires) dépend essentiellement des conditions géométriques du bombardement (angle d'incidence du faisceau ionique, rotation de l'échantillon, etc.).

Les travaux relatifs aux effets du bombardement ionique sur le verre sont très peu nombreux (<sup>1</sup>). Il était intéressant de les reprendre à la lumière des recherches récentes sur le bombardement ionique et d'étudier en particulier l'influence de l'angle d'attaque sur des surfaces de verre bien définies.

Le canon à ions que nous avons utilisé (*fig. 1*) dérive d'un modèle dû à Azam (<sup>2</sup>). Du type à anode creuse avec grille de sortie, il est alimenté par de l'air et fonctionne sous un vide de  $10^{-4}$  mm Hg. Il donne sous une tension de 4 kV un faisceau ionique bien défini en direction avec une divergence inférieure à  $10^\circ$ . Ce faisceau est constitué d'un mélange complexe d'ions positifs et de molécules neutres et excitées. L'intensité sur l'échantillon placé à 3 cm de la sortie du canon peut varier entre 0,5 et 2  $\mu\text{A}/\text{mm}^2$ . Cette forte densité ionique associée à un balayage gazeux important élimine toute contamination de la cible. Le verre utilisé pour cette étude a une composition classique :  $\text{SiO}_2$ , 72 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , 0,5 %;  $\text{Na}_2\text{O}$ , 13 %;  $\text{CaO}$ , 11 %;  $\text{MgO}$ , 3 %. L'échantillon a la forme d'un carré de 2 cm de côté et de 5 mm d'épaisseur.

Il est placé sur un support de cuivre orientable de 0 à  $90^\circ$  par rapport au faisceau ionique. En outre, grâce à un moteur électrique, il peut tourner autour d'un axe parallèle au faisceau ionique à une vitesse de 1 à 2 t/s, ce qui permet d'uniformiser l'attaque des ions et d'éviter les échauffements locaux. Ce support est relié à la terre et la cible, même isolante, ne se charge pratiquement pas. La température de la masse de l'échantillon après un bombardement de longue durée ne dépasse guère une centaine de degrés centigrades. Les surfaces de verre initiales étaient de trois types : d'une part, des surfaces très accidentées doucies au sable, d'autre part des surfaces planes polies à l'oxyde de fer mais présentant encore de nombreuses piqûres, et enfin des surfaces parfaitement polies. Après bombardement, ces surfaces sont examinées en microscopie électronique par la méthode de double empreinte.

Pour des durées d'attaque de quelques minutes, le bombardement ionique produit un simple nettoyage sans qu'on puisse observer de modi-

MM. M. NAVEZ, C. SELLA et M<sup>lle</sup> D. CHAPEROT  
PLANCHE I.

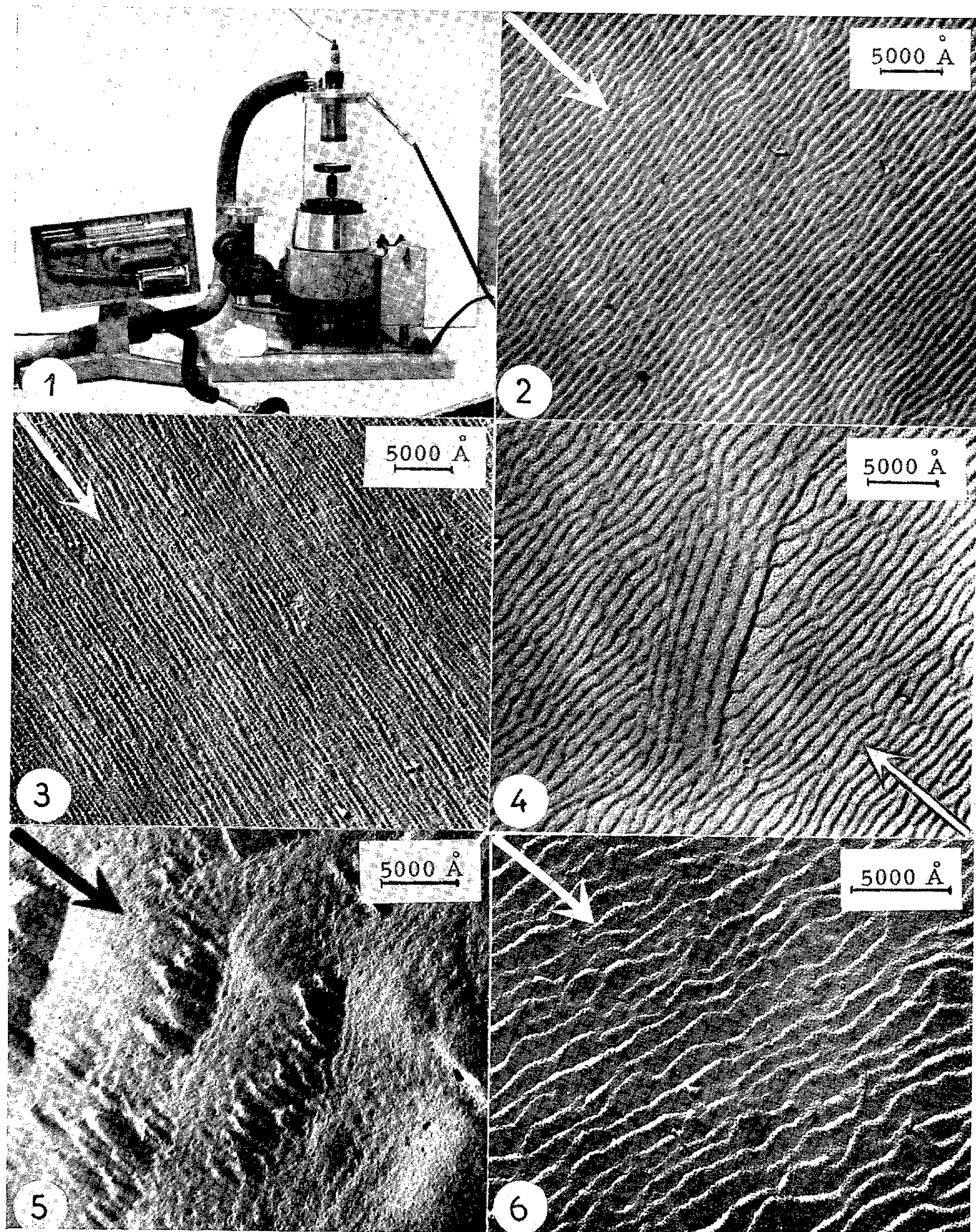


Fig. 1. — Canon à ions.  
Fig. 2 à 6. — Surfaces de verre bombardées sous  $10^\circ$  (fig. 3),  
sous  $30^\circ$  (fig. 6), sous  $45^\circ$  (fig. 4 et 5) et sous  $60^\circ$  (fig. 2).  
(Les flèches indiquent la direction du faisceau ionique.)



PLANCHE II.

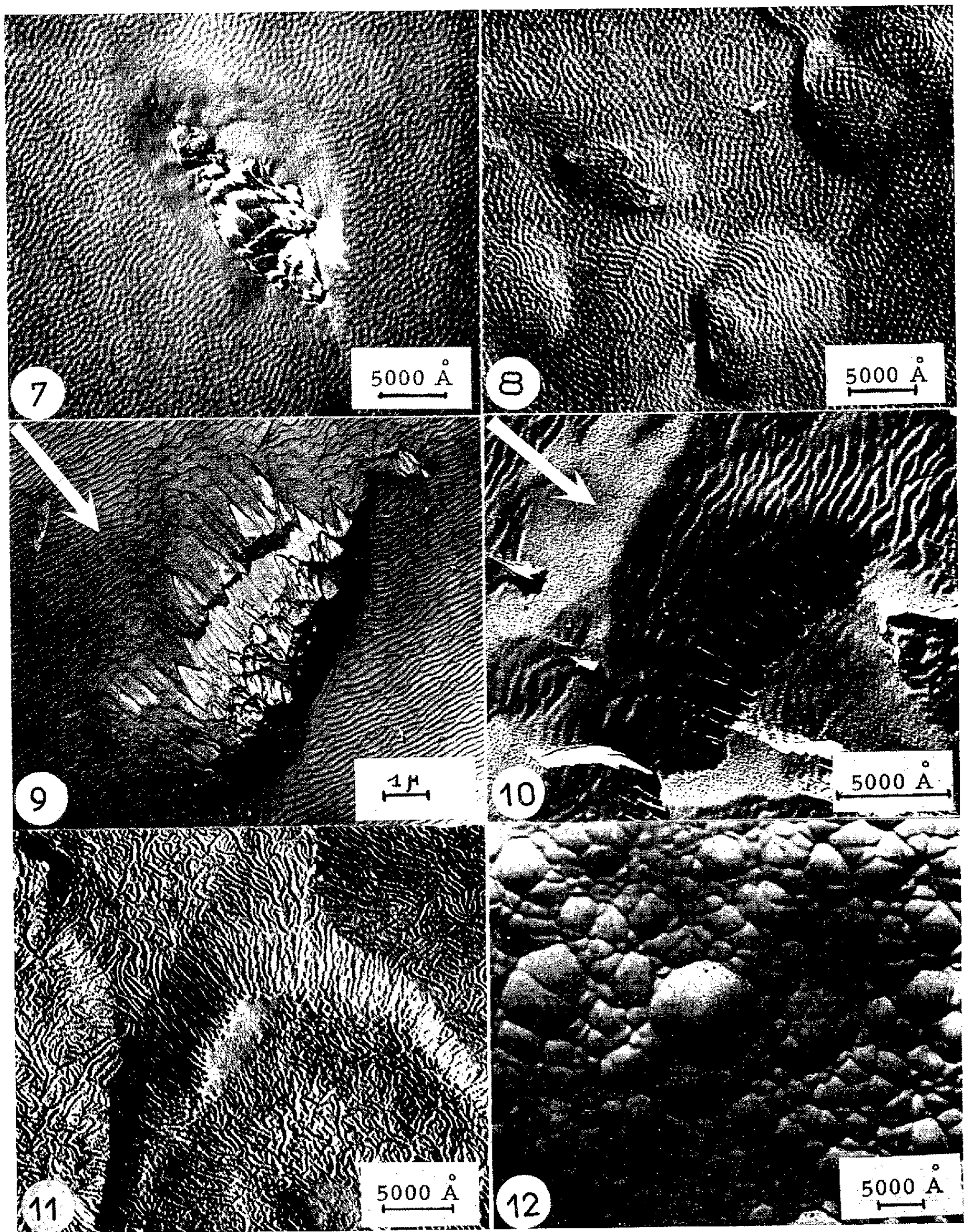


Fig. 7 et 8. — Surfaces de verre bombardées verticalement (sous  $90^\circ$ ).  
 Fig. 9 et 10. — Surfaces de verre (9) et de silice (10) bombardées sous  $45^\circ$ .  
 Fig. 11. — Surface douce de verre bombardée sous  $80^\circ$ .  
 Fig. 12. — Surface de verre bombardée sous  $30^\circ$ , l'échantillon tournant dans son plan.

fications notables de la morphologie superficielle. Si l'on prolonge le bombardement pendant une ou plusieurs heures, il s'établit progressivement une morphologie superficielle entièrement nouvelle dont les aspects ne dépendent que de l'angle d'attaque du faisceau ionique et se conservent indéfiniment quand on continue le bombardement. Ainsi, une surface de verre parfaitement polie soumise pendant 6 h à un bombardement rasant, sous un angle de  $10^\circ$ , se couvre d'un système de sillons parallèles au faisceau ionique (*fig. 3*). Ces sillons très fins ont une texture granulaire et leur écartement moyen est de l'ordre de  $300 \text{ \AA}$ . Cette attaque directive s'explique par le caractère vectoriel du mécanisme d'attaque ionique. Si l'on augmente l'angle d'attaque, pour des incidences comprises entre  $30^\circ$  et  $70^\circ$ , la surface se couvre de systèmes réguliers de rides parallèles et équidistantes orientées perpendiculairement à la direction du faisceau ionique. Leur écartement varie en fonction inverse de l'angle d'incidence :  $800 \text{ \AA}$  pour une attaque sous  $60^\circ$  (*fig. 2*),  $1000 \text{ \AA}$  sous  $45^\circ$  (*fig. 4*) et  $1200 \text{ \AA}$  sous  $30^\circ$  (*fig. 6*). Cette dernière photographie montre, en outre, que les rides tendent à devenir moins régulières et à se déformer dans le sens du faisceau et d'autant plus que ce dernier devient plus rasant. Ces systèmes périodiques présentent une grande analogie d'aspect avec les phénomènes ondulatoires d'origines hydro ou aérodynamiques et en particulier, avec les rides de sable qui se forment au bord de la mer ou avec les rides de sable créées par le vent. On retrouve dans le cas du verre toutes les anomalies observées dans ces systèmes périodiques comme par exemple les changements d'orientation des rides au voisinage d'un obstacle. Ce phénomène est très net sur la figure 4 où l'on peut voir la formation d'une série de rides qui s'alignent parallèlement à un défaut existant à la surface du verre et qui font avec les rides principales un angle d'environ  $45^\circ$ . Malheureusement, l'origine des phénomènes ondulatoires observés dans la nature reste obscure et les recherches et théories faites sur ces problèmes sont confuses et contradictoires. Dans le cas des rides sur le verre, il faut remarquer que l'équidistance moyenne des sillons ( $1000 \text{ \AA}$ ) est de l'ordre de grandeur de la profondeur perturbée par chaque ion incident. Si l'on admet avec Keywell (<sup>3</sup>) que l'impact d'un ion crée dans le solide une série de collisions en chaîne se propageant avec transfert d'impulsion à une distance de l'ordre de  $1000 \text{ \AA}$  et que l'éjection se fait grâce aux déplacements et aux collisions secondaires susceptibles d'atteindre les atomes voisins de la surface et de les projeter hors de la cible et ceci dans une région qui dans le cas d'un bombardement oblique peut être assez éloignée du point d'impact de l'ion incident, dans ces conditions, on peut concevoir qu'un tel bombardement provoque à partir d'une rayure ou d'une aspérité de la surface la formation d'un sillon puis d'un système de sillons parallèles équidistants qui se propage et s'entretient par ce mécanisme de transfert d'impulsion et d'éjection préférentielle.

Dans le cas où le bombardement se fait verticalement, sous des incidences voisines de  $90^\circ$ , on observe (*fig. 7 et 8*) une structure très régulière formée par juxtapositions d'éléments ayant un diamètre moyen de  $400 \text{ \AA}$ . Cette morphologie résulte de l'intersection de plusieurs systèmes de rides qui s'amorcent en des régions voisines. Ce mécanisme de sources multiples des systèmes de rides et d'interférences entre ces systèmes est particulièrement visible sur la figure 8 relative à une surface de verre imparfaitement polie et sur laquelle de faibles dépressions accentuent le phénomène. Le bombardement de surfaces présentant initialement un fort relief comme les surfaces doucies ou imparfaitement polies, conduit à des morphologies complexes et l'on retrouve sur une même photographie tous les aspects décrits précédemment (*fig. 9 et 10*) en particulier les systèmes de rides perpendiculaires au faisceau sur les parties attaquées sous des angles compris entre  $30^\circ$  et  $70^\circ$ , et les systèmes de sillons parallèles au faisceau dans les régions qui se présentaient sous incidence rasante. On observe dans ces zones des sillons assez importants dont la pointe s'oppose au faisceau ionique (*fig. 9*).

Quand la surface initiale possède un relief trop tourmenté, sillons et rides s'enchevêtrent d'une manière complexe comme le montre la figure 11. Si pour éviter ces effets directifs on fait tourner l'échantillon dans son plan au cours de l'attaque, l'aspect reste identique pour un bombardement vertical (*fig. 7 et 8*), mais dans le cas d'un bombardement oblique, on observe une structure cellulaire analogue à celle de la figure 12 relative à une attaque sous  $30^\circ$ . Cette morphologie ressemble beaucoup à celle qu'on obtient par attaque du verre au moyen de solutions d'acide fluorhydrique.

Des expériences analogues ont été faites sur la *silice vitreuse pure* et les phénomènes observés sont *identiques* comme le montre la figure 10 relative à une surface doucie bombardée sous un angle de  $45^\circ$ . Le fait que la silice pure dont le point de fusion dépasse  $1600^\circ$  se comporte de la même façon que le verre, permet d'exclure les explications des figures d'attaque par une fusion superficielle, ou encore dans le cas du verre par un départ sélectif d'ions alcalins, départ très probable mais non déterminant.

(<sup>1</sup>) SPIVAK, KROKHINA et LAZAREVA, *Dokl. Akad. Nauk. S. S. S. R.*, 104, 1955, p. 579.

(<sup>2</sup>) M. AZAM, *Rev. Metallurg.*, 57, 1960, p. 41.

(<sup>3</sup>) F. KEYWELL, *Phys. Rev.*, 97, 1955, p. 1611.

(Laboratoire de Recherches de la Compagnie Saint-Gobain, Paris  
et Laboratoire de Rayons X du C. N. R. S.,  
Bellevue, Seine-et-Oise.)