

Les Tortues marines face au changement climatique

Marc GIRONDOT

Laboratoire d'Écologie, Systématique et Évolution
Université Paris-Sud – CNRS & AgroParisTech
91405 ORSAY Cedex (France)
Courriel : marc.girondot@u-psud.fr

Résumé. Le changement climatique qui a une composante naturelle et anthropique, constitue une menace potentielle pour la biodiversité. Le cas particulier des tortues marines est étudié ici. Les modifications de température en mer et sur terre, du niveau de la mer, des courants marins et de la disponibilité alimentaire sont passés en revue pour discuter de leur impact possible sur les populations de tortues marines. Nous en concluons que les tortues marines ne sont probablement pas des espèces très sensibles à ces facteurs.

Introduction

Le changement climatique correspond à une modification durable (de la décennie au million d'années) des paramètres du climat de la Terre ou de ses divers climats régionaux. Ces changements peuvent être dus à des processus intrinsèques à la Terre, à des influences extérieures ou aux activités humaines. Il est important de différencier météorologie et climat afin de bien cerner les enjeux du changement climatique pour la biodiversité.

La météorologie est l'étude des phénomènes atmosphériques tels que les nuages, les dépressions et les précipitations pour comprendre comment ils se forment et évoluent. Le mot vient du grec antique où *meteor* désigne les particules en suspension dans l'atmosphère et *logos* veut dire discours ou connaissance. La climatologie, branche de la géographie physique, est l'étude du climat, c'est-à-dire la succession des conditions météorologiques sur de longues périodes dans le temps. L'étude du temps à court terme est le domaine de la météorologie.

De très nombreux facteurs naturels affectent le climat ; on citera par exemple :

- La quantité d'énergie d'origine solaire reçue sur la terre qui diffère selon la position du soleil par rapport à la terre et qui est décrite initialement par l'astronome Milutin MILANKOVICH en prenant en compte la variation de l'excentricité de l'orbite terrestre autour du Soleil, la variation de l'inclinaison de l'axe de rotation terrestre par rapport au plan de l'écliptique et la précession des équinoxes. Les cycles astronomiques correspondants sont de 22 000 ans, 41 000 ans et 100 000 ans et contrôlent le climat terrestre à l'échelle des temps géologiques (MILANKOVITCH, 1920). On notera que l'activité solaire est aussi variable et influence le climat ;

- Des phénomènes géologiques tels que la dérive des continents en modifiant la circulation océanique, l'émergence de chaînes de montagnes en changeant les cycles de précipitation ou bien le volcanisme, peuvent aussi modifier le climat ;
- Les interactions entre l'atmosphère et l'océan ont des rôles primordiaux pour expliquer les variations climatiques.

Le changement climatique anthropique est l'évolution du climat venant s'ajouter à ses variations naturelles. Il est attribué aux émissions de gaz à effet de serre engendrées par les activités humaines et altérant la composition de l'atmosphère de la planète.

La paléoclimatologie est l'étude du climat ancien. Elle se fonde sur des indicateurs du climat comme la répartition d'espèces indicatrices ou bien en utilisant le thermomètre isotopique à oxygène. Le principe de ce thermomètre est relativement simple. Les précipitations successives issues d'une masse de vapeur d'eau appauvrissent cette vapeur plus en isotope lourd (H_2^{18}O) qu'en isotope léger (H_2^{16}O) par différence gravitationnelle. Les précipitations sont d'autant plus importantes que la température diminue. Le H_2^{18}O de la vapeur des nuages diminue donc avec l'augmentation de latitude et le H_2^{18}O des précipitations formées à partir de cette vapeur diminue. Ceci explique que les glaces polaires soient formées d'eau très appauvrie en isotope lourd (H_2^{18}O très négatif). En période plus froide, l'appauvrissement isotopique de la vapeur est plus prononcé et le H_2^{18}O des précipitations pour un site donné diminue. La paléoclimatologie a clairement montré que le climat est variable et est passé par des périodes plus chaudes ou plus froides qu'actuellement. Le changement climatique anthropique aurait cependant comme caractéristique d'être plus rapide que le changement climatique naturel.

Les principales modifications de l'environnement, conséquences de ce réchauffement climatique pour les tortues marines, tiennent à des modifications de température en mer et sur terre, de niveau de la mer, de courants marins et de disponibilité alimentaire. Nous passerons en revue ces différents facteurs pour discuter de leur impact possible sur les populations de tortues marines.

La hauteur du niveau de la mer et la disponibilité des sites de ponte

Chez toutes les espèces de tortues marines, la reproduction dépend en premier lieu de la disponibilité d'un habitat terrestre. Les tortues femelles doivent sortir sur les plages pour déposer plusieurs nids au cours d'une saison de nidification (MILLER, 1997). L'augmentation prévue du niveau des mers d'une moyenne de 4,2 mm par an jusqu'en 2080 (IPCC, 2001) a le potentiel de compromettre la disponibilité des plages de nidification, notamment sur les basses terres côtières étroites, sur les plages insulaires et les zones où le développement du littoral empêche la migration des plages vers l'intérieur. Une étude menée dans le nord-ouest des îles Hawaï (BAKER *et al.*, 2006) prédit que jusqu'à 40% des plages de nidification de la tortue verte *Chelonia mydas* pourraient être inondées par 0,9 m d'élévation du niveau de la mer, tandis que des études à la Barbade (FISH *et al.*, 2008) et à Bonaire (FISH *et al.*, 2005) suggèrent des pertes analogues pour la tortue imbriquée *Eretmochelys imbricata* (50% et 51% de baisse, respectivement). Cependant, ces études utilisent comme hypothèse que les tortues marines pondront toujours sur les mêmes sites qu'actuellement et ce dans une logique de fidélité extrême des femelles à un site de ponte. Les données obtenues depuis 40 ans en Guyane française montrent qu'au contraire ces animaux présentent une forte plasticité de choix de site de ponte et savent très bien s'adapter à des modifications

de leur environnement (GIRONDOT *et al.*, 2007 ; KELLE *et al.*, 2007). De nouvelles plages se créeront plus dans les terres par déplacement des matériaux actuels des plages et ces nouvelles plages pourront être colonisées.

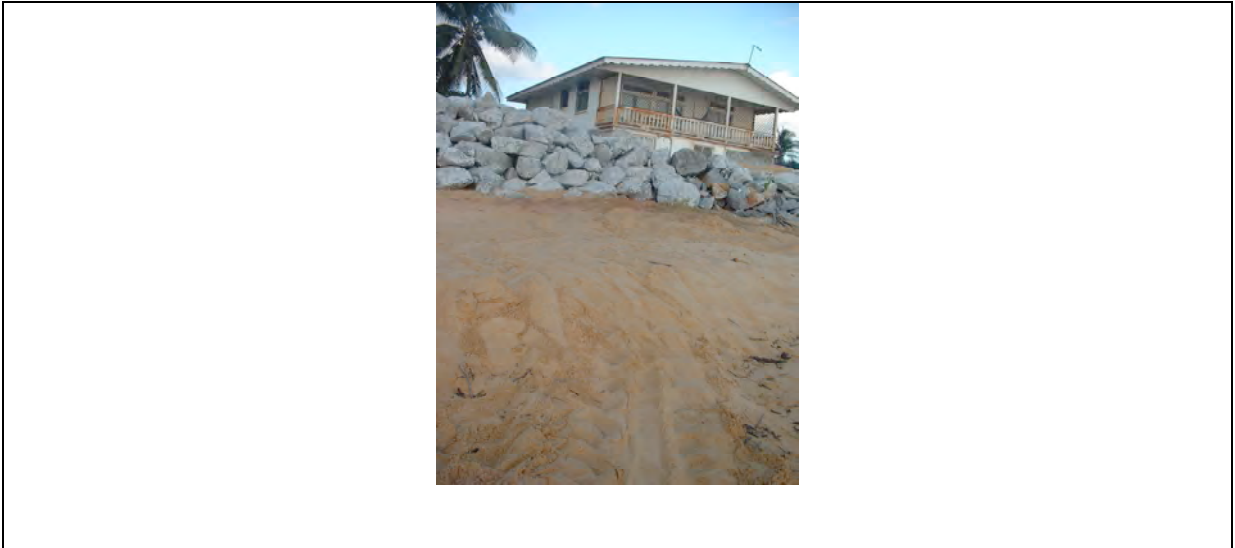


Fig. 1. - Enrochement, probablement illégal, sur la plage de Montjoly (Guyane française) pour protéger une habitation (juillet 2009), (phot. Marc Girondot).

Il est vraisemblable cependant que pour faire face à la montée des eaux, des ouvrages d'art de grande envergure (digues, enrochement) soient utilisés (Fig. 1). Ces ouvrages pourraient réellement limiter la disponibilité des sites de reproduction car ils empêcheraient une nouvelle plage de se créer plus en arrière. Cependant, notre expérience sur ce sujet montre, qu'en dehors de travaux à très grande échelle qui eux peuvent effectivement tenir dans le temps, les travaux à petite échelle menés par quelques particuliers sont souvent sans effet sur le moyen terme et lors d'une grande marée, les édifices sont emportés. Ces ouvrages, en laissant des populations exposées à des aléas qu'elles croient maîtriser, augmentent les risques et doivent être proscrits, pour le bien même des populations humaines côtières (Fig. 2).



Fig. 2. - Habitation effondrée par l'action d'une houle de marée importante à Pointe Pongara (Gabon, septembre 2008), (phot. Marc Girondot).

La phénologie de la ponte

La phénologie est l'étude de l'apparition d'événements périodiques dans le monde vivant, déterminée par les variations saisonnières de facteurs climatiques. L'étude de la phénologie de la ponte a connu un regain d'intérêt ces dernières années notamment grâce à la mise de point d'outils statistiques permettant la quantification de ce phénomène. La phénologie peut être décrite à l'échelle d'une cohorte par des dates moyennes d'arrivée, de départ ou de milieu de la saison de pontes (GIRONDOT *et al.*, 2006 ; GIRONDOT *et al.*, 2007; GODGENGER *et al.*, 2009). Elle peut être décrite aussi au niveau individuel et alors dans ce cas, l'individu est suivi pour retracer son histoire personnelle (BRIANE *et al.*, 2007 ; RIVALAN *et al.*, 2006 ; RUSSO, 2009).

Il a pu être montré une relation entre différents indicateurs climatiques et la phénologie de la ponte :

- La température à proximité du site de ponte (WEISHAMPEL *et al.*, 2004) ;
- Un indice climatique sur les sites d'alimentation (RIVALAN, 2004) ;
- La température sur les sites d'hivernage (BEN HASSINE *et al.*, 2009).

Ces différentes relations nous prouvent que les tortues marines ajustent leur retour sur les sites de ponte en fonction des facteurs climatiques et non d'un calendrier qu'elles pourraient connaître grâce à la photopériode comme cela a été montré chez une tortue palustre (BURGER, 1937).

Cette conclusion est particulièrement intéressante car dans l'hypothèse d'un réchauffement climatique, il est probable que les tortues marines décalent leur date de ponte dont le signal est donné par un facteur influencé directement ou indirectement par le climat. Cependant il peut subsister des décalages en ce qui concerne les températures ressenties à terre.

La température du nid

La température du nid est un élément crucial pour comprendre la dynamique des populations des tortues marines. Celle-ci peut avoir un impact direct sur la survie des embryons (ACKERMAN, 1997 ; CARTHY *et al.*, 2003) mais aussi sur le sex ratio des jeunes. En effet, toutes les tortues marines présentent toutes une détermination du sexe sensible à la température d'incubation (GIRONDOT, 2009). Chez ces espèces, la détermination du sexe est de type IA ou MF dans lequel des mâles sont obtenus à basses températures et des femelles à hautes températures. Un décalage important de la température d'incubation au cours du développement pourrait produire des nids unisexués mâles ou femelles et donc potentiellement conduire à la disparition d'une espèce.

Lorsque le caractère « sensibilité de la détermination du sexe à la température » est étudié sur une base phylogénétique, deux résultats majeurs apparaissent : D'abord, ce caractère a évolué de nombreuses fois sur la phylogénie, ensuite il serait plutôt l'état ancestral chez les chéloniens (avec un doute à la base des cryptodires) alors qu'il serait un état dérivé chez les squamates. Ce caractère serait donc présent depuis au moins 160 millions d'années chez les chéloniens et des espèces le possédant auraient donc passé les grandes crises climatiques à la fin du crétacé et à l'éocène tardif (RAGE, 1998).

Pour comprendre comment des espèces ayant une thermosensibilité de la détermination du sexe ont pu passer des périodes de changement important de climat, un modèle mécaniste de la détermination du sexe a été construit (DELMAS *et*

al., 2008 ; GIRONDOT *et al.*, 2009). Grâce à la simulation de différentes conditions de température, nous avons montré que les fluctuations nyctémérales de température étaient un élément stabilisant pour le sex ratio (HULIN *et al.*, 2009).

En couplant une adaptation de la période de ponte ainsi que des fluctuations de température au sein du nid, les tortues marines seraient relativement résistantes à un changement de la température moyenne sur les sites de ponte. Il est évident cependant que cette résistance a ses limites et qu'il subsiste un risque.

Modification des courants marins

Les tortues marines utilisent un ensemble de critères pour se repérer et se déplacer dans l'océan (LOHMANN *et al.*, 2008). Parmi ceux-ci, le champ magnétique constitue un élément primordial (LUSCHI *et al.*, 2007), mais les courants pourraient être aussi importants (LUSCHI *et al.*, 2003) de même que l'odorat (HAYS *et al.*, 2003 ; LUSCHI *et al.*, 2001).

La perturbation expérimentale des tortues marines n'a pas permis de les désorienter définitivement (LUSCHI *et al.*, 2007), elles ont fini par retrouver leur chemin. On peut donc imaginer qu'en cas de modification des courants, éléments qu'elles peuvent et doivent utiliser pour se déplacer (GASPAR *et al.*, 2006), elles utiliseront d'autres *proxis* pour se retrouver et se reconstruire de nouveaux référentiels.

Modification de la disponibilité alimentaire

Le régime des tortues marines peut être herbivore ou carnivore et benthique ou pélagique (BJORN DAL, 1996). Il est donc extrêmement difficile de généraliser des conclusions sur un impact lié au changement climatique. On notera de plus que l'impact de ce dernier est le plus souvent inconnu et dépend du type de contrôle, par le haut ou par le bas, du réseau trophique.

La seule certitude est qu'on ne peut généraliser et que certaines populations pourront profiter du réchauffement climatique alors que d'autres en pâtiront (HAWKES *et al.*, 2007).

Une des conséquences probable sera une modification de l'intervalle entre les saisons de pontes puisque les tortues marines sont des reproducteurs sur capital (BONNET *et al.*, 1998). Il a été en effet montré que l'intervalle entre les saisons de pontes est en relation avec la disponibilité alimentaire (SABA *et al.* 2007). Par ailleurs, le nombre de pontes d'une année donnée pourrait aussi être en relation avec l'intervalle entre les saisons de ponte (RIVALAN *et al.*, 2005) par un mécanisme de compensation. Finalement ces différents facteurs s'équilibreraient à l'échelle de la vie de l'animal (RIVALAN *et al.*, 2005).

Conclusions

Nous avons passé en revue différents facteurs dépendant du changement climatique et de leurs conséquences possibles sur les tortues marines.

Le fait que ces animaux soient ectothermes (stricts ou en partie comme les tortues luths), leur permet d'avoir un comportement directement dépendant des conditions environnementales. Aussi, leur capacité migratrice les met à l'abri de changements néfastes localement puisqu'ils sont susceptibles de se déplacer facilement.

En conclusion, les tortues marines ne seraient pas particulièrement sensibles au changement global du climat d'origine anthropique ou naturelle.

Remerciements

Je remercie Guy OLIVER de m'avoir proposé d'effectuer cette conférence et de m'avoir poussé à mettre ces informations par écrit afin qu'elles puissent servir au plus grand nombre.

Références bibliographiques

- ACKERMAN R.A., 1997. - The nest environment and the embryonic development of sea turtles, *In* : The Biology of Sea Turtles. (P.L. Lutz. & J.A. Musick eds) : 83-106. - CRC Press, New York, USA.
- BAKER, J.D., LITTNAN, C.L. & JOHNSTON D.W., 2006. - Potential effects of sea level rise on the terrestrial habitats of endangered and endemic megafauna in the Northwestern Hawaiian Islands. - *Endangered Species Research*, 2 : 21-30.
- BEN HASSINE S., JRIBI I., BOUAIN A., BRADAI M.N. & GIRONDOT M., 2009. - Quelle est l'origine de la variabilité de la période de nidification de la tortue caouanne *Caretta caretta* sur les îles Kuriat en Méditerranée (Tunisie)? *In* : Congrès de la Société Française d'Herpétologie, Montpellier (France), 8-11 octobre 2009.
- BJORNDAL K.A., 1996. - Foraging ecology and nutrition of sea turtles. *In* : The Biology of Sea Turtles. (P.L. Lutz. & J.A. Musick eds) : 199-231. - Boca Raton (Florida), CRC Press.
- BONNET X., BRADSHAW D. & SHINE R., 1998. - Capital versus income breeding : an ectothermic perspective. - *Oikos*, 83 : 333-342.
- BRIANE J.-P., RIVALAN P. & GIRONDOT M., 2007. - The inverse problem applied to the Observed Clutch Frequency of Leatherbacks from Yalimapo beach, French Guiana. - *Chelonian Conservation and Biology*, 6 : 63-69.
- BURGER J.W., 1937. - Experimental sexual photoperiodicity in the male turtle, *Pseudemys elegans* (Wied). - *American Naturalist*, 71 : 481-487.
- CARTHY R.R., FOLEY A.M. & MATSUZAWA Y., 2003. - Incubation environment of loggerhead turtle nests : effects on hatching success and hatchling characteristics. *In* : Loggerhead sea turtles. eds A.B. Bolten, B.E. Witherington : 144-153. - Washington, DC, Smithsonian Books.
- DELMAS V., PREVOT-JULLIARD A.-C., PIEAU C. & GIRONDOT M., 2008. - A mechanistic model of temperature-dependent sex determination in a Chelonian, the European pond turtle. - *Functional Ecology*, 22 : 84-93.
- FISH M.R., COTE I.M., GILL J.A., JONES A.P., RENSHOFF S. & WATKINSON A.R., 2005. - Predicting the impact of sea-level rise on Caribbean sea turtle nesting habitat. - *Conservation Biology*, 19 : 482-491.
- FISH M.R., COTE I.M., HORROCKS J.A., MULLIGAN B., WATKINSON A.R. & JONES A.P., 2008. - Construction setback regulations and sea level rise : mitigating sea turtle nesting beach loss. - *Ocean & Coastal Management*, 51 : 330-341.
- GASPAR P., GEORGES J.-Y., FOSSETTE S., LENOBLE A., FERRAROLI S. & MAHO Y.L., 2006. - Marine animal behaviour : neglecting ocean currents can lead us up the wrong track. - *Proceedings of the Royal Society of Biological Sciences*, 273 : 2697-2702.
- GIRONDOT M., 2009. - La détermination du sexe sensible à la température chez les Reptiles. *In* : Aux origines de la sexualité. (P.H. Gouyon, éditeur) : 238-249. - Paris, Fayard, France.

- GIRONDOT M., BEN HASSINE S., SELLOS C., GODFREY M. & GUILLON J.-M., 2009. - Modeling thermal influence on animal growth and sex determination in Reptiles : being closer of the target gives new views. - *Sexual Development*, 15 (Sous presse).
- GIRONDOT M., GODFREY M.H., PONGE L. & RIVALAN P., 2007. - Modeling approaches to quantify leatherback nesting trends in French Guiana and Suriname. - *Chelonian Conservation and Biology*, 6 : 37-46.
- GIRONDOT M., RIVALAN P., WONGSOPAWIRO R., BRIANE J.-P., HULIN V., CAUT S., GUIRLET E. & GODFREY M.H., 2006. - Phenology of marine turtle nesting revealed by a statistical model of the nesting season. - *BMC Ecology*, 6 : 11.
- GODGENDER M.-C., BREHERET N., BAL G., N'DAMITE K., GIRARD A. & GIRONDOT M., 2009. - Nesting estimation and analysis of threats for critically endangered leatherback *Dermochelys coriacea* and endangered olive ridley *Lepidochelys olivacea* marine turtles nesting in Congo. - *Oryx*, 43 : 556-563.
- HAWKES L.A., BRODERICK A.C., GODFREY M.H. & GODLEY B.J., 2007. - Investigating the potential impacts of climate change on a marine turtle population. - *Global Change Biology*, 13 : 923-932.
- HAYS G.C., ÅKESSON S., BRODERICK A.C., GLEN F., GODLEY B.J., PAPI F. & LUSCHI P., 2003. - Island-finding ability of marine turtles. - *Proc. R. Soc. B*, 270 (Suppl. 1) : 5-7.
- HULIN V., DELMAS V., GIRONDOT M., GODFREY M.H. & GUILLON J.-M., 2009. - Temperature-dependent sex determination and global change : are some species at greater risk ? - *Oecologia*, 160 : 493-506.
- IPCC, 2001. - Climate Change 2001. Working Group II : impacts, adaptation and vulnerability. - Geneva, Switzerland, ed. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- KELLE L., GRATIOT N., NOLIBOS I., THERESE J., WONGSOPAWIRO R. & THOISY B.D., 2007. - Monitoring of nesting leatherback turtles (*Dermochelys coriacea*): contribution of remote sensing for real-time assessment of beach coverage in French Guiana. - *Chelonian Conservation and Biology*, 6 : 143-147.
- LOHMANN K.J., LUSCHI P. & HAYS G.C., 2008. - Goal navigation and island-finding in sea turtles. - *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 356 : 83-95.
- LUSCHI P., ÅKESSON S., BRODERICK A.C., GLEN F., GODLEY B.J., PAPI F. & HAYS G.C., 2001. - Testing the navigational abilities of ocean migrants : displacement experiments on green sea turtles (*Chelonia mydas*). - *Behaviour Ecology and Sociobiology*, 50 : 528-534.
- LUSCHI P., BENHAMOU S., GIRARD C., CICCIONE S., ROOS D., SUDRE J. & BENVENUTI S., 2007. - Marine turtles use geomagnetic cues during open-sea homing. - *Current Biology*, 12 : 126-133.
- LUSCHI P., HAYS G.C. & PAPI F., 2003. - A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. - *Oikos*, 103 : 293-302.
- MILANKOVITCH M., 1920. - Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire. - Paris (France), Gauthier-Villars.
- MILLER J.D., 1997. - Reproduction in sea turtles. In : The Biology of Sea Turtles (P.L. Lutz & J.A. Musick, eds) : 51-81. - New York (USA), CRC Press.
- RAGE J.C., 1998. - Latest Cretaceous extinctions and environmental sex determination in reptiles. - *Bulletin de la Société Géologique de France*, 169 : 479-483.
- RIVALAN P., 2004. - La dynamique des populations de tortues luths de Guyane française : recherche des facteurs impliqués et application à la mise en place de stratégies de conservation. In : Laboratoire Écologie, Systématique et Évolution, Université Paris Sud, CNRS et AgroParisTech : 248 pp. - Orsay (France), Université Paris Sud.
- RIVALAN P., PRADEL R., CHOQUET R., GIRONDOT M. & PREVOT-JULLIARD A.-C., 2006. - Estimating clutch frequency in the sea turtle *Dermochelys coriacea* using stopover duration. - *Marine Ecology Progress Series*, 317 : 285-295.

- RIVALAN P., PREVOT-JULLIARD A.-C., CHOQUET R., PRADEL R., JACQUEMIN B., BRIANE J.-P. & GIRONDOT M., 2005. - Trade-off between current reproduction investment and delay until next reproduction in the leatherback sea turtle. - *Oecologia*, 145 : 564-574.
- RUSO M., 2009. - L'investissement reproductif chez les tortues luths : nouvelles méthodes d'analyse. Master Environnement, Spécialité Ecologie, Biodiversité et Evolution. Laboratoire Écologie, Systématique et Évolution, Université Paris Sud, CNRS et AgroParisTech : 52 pp. - Orsay (France), Université Paris Sud.
- SABA V.S., SANTIDRIAN-TOMILLO P., REINA R.D., SPOTILA J.R., MUSICK J.A., EVANS D.A., PALADINO F.V., 2007. - The effect of the El Niño Southern Oscillation on the reproductive frequency of eastern Pacific leatherback turtles. - *Journal of Applied Ecology*, 44 : 395-404.
- WEISHAMPEL J.F., BAGLEY D.A., EHRHART L.M., 2004. - Earlier nesting by loggerhead sea turtles following sea surface warming. - *Global Change Biology*, 10 : 1424-1427.