

La Lettre

*Bulletin
d'informations*

**Décembre 2015
Numéro 36**



L'Edito

Le nouveau numéro de La Lettre est arrivé...Peut-être un peu plus tard que le Beaujolais nouveau...mais le voici.

Dans l'édito du précédent numéro , nous faisons appel à candidature pour assurer la rédaction de ce bulletin d'information , F. Coumes désirant "passer la main".Les candidats ne s'étant pas "bousculés" , Francis a continué son travail de rédacteur . Nous le remercions .

Nous renouvelons notre appel car nous souhaitons que La Lettre "continue à vivre".

Nous avons déjà quelques articles pour le prochain numéro . N'hésitez pas à en proposer des nouveaux...

Les internautes trouveront sur notre site une quinzaine de numéros du bulletin ,parus depuis juin 2006 . Je pense que certains reliront avec plaisir certains articles ,qui, en leur temps , les avaient intéressés .

Je vous invite à consulter régulièrement notre site qui développe des sujets plus complets que le Flash Info .

Ce site est en pleine évolution grâce au travail de sa gestionnaire L.Echegut .

Il est en période de test et consultable sur : <http://www.apetra.org>

Il sera présenté lors de l'A.G. 2016 , mais d'ici là, vos suggestions , remarques , en vue de son amélioration sont les bienvenues.

Dans le présent numéro , nous vous présentons des articles techniques mais aussi des articles d'intérêt général .

J.P.Valois nous avait présenté une conférence fort intéressante sur les bastides en

Béarn et il nous a autorisés à la publier pour que tous les adhérents en profitent.

L'article de Ph.Malzac nous présente le supercalculateur PANGEA de TOTAL , le plus puissant de France et l'un des plus puissants au monde.

M.Conturie évoque la montée des eaux due à la fonte des glaces et ses conséquences , sujet on ne peut plus d'actualité.

Et Francis se laisse aller , dans sa dernière Lettre, à quelques réflexions sur le sort de notre planète Terre et a l'empreinte que l'humanité laissera après elle.

Je vous laisse découvrir ces articles et quelques autres aussi intéressants ...Bonne lecture,

J.Lauqué. "

Sommaire

- Page 1: L'édito
- Page 2: Les Bastides et le patrimoine du Béarn.par Jean-Paul Valois
- Page 12: Le calcul haute performance chez TOTAL par Philippe Malzac.
- Page 18: La fonte des glaces polaires fait-elle monter la mer ?par Michel Conturie.
- Page 24: Conférence sur les drones par Jacques Lauque.
- Page 27 : Et si nous en parlions? par Francis Coumes.

Les Bastides et le Patrimoine du Béarn

Notre collègue Jean-Paul Valois est secrétaire de l'Association Bastides 64, qui regroupe 14 villages** des Pyrénées-Atlantiques. A l'occasion de notre Assemblée générale du 5 février dernier, nous lui avons demandé de nous faire partager ses coups de cœur. C'était l'occasion pour les amis d'APETRA de s'ouvrir à un thème nouveau : le patrimoine. Le Béarn réserve de belles surprises, elles peuvent être l'occasion d'intéressantes balades. Encore faut-il avoir quelques fils directeurs. C'est dans cet esprit que Jean-Paul a accepté de répondre à quelques questions, en prolongement de son intervention.

Avant les bastides

* JP, les bastides apparaissent dans le Sud-Ouest au milieu du XIII^e siècle. Arrivent-elles dans une sorte de désert ? Autrement dit qu'y avait-il avant les bastides en Béarn ?

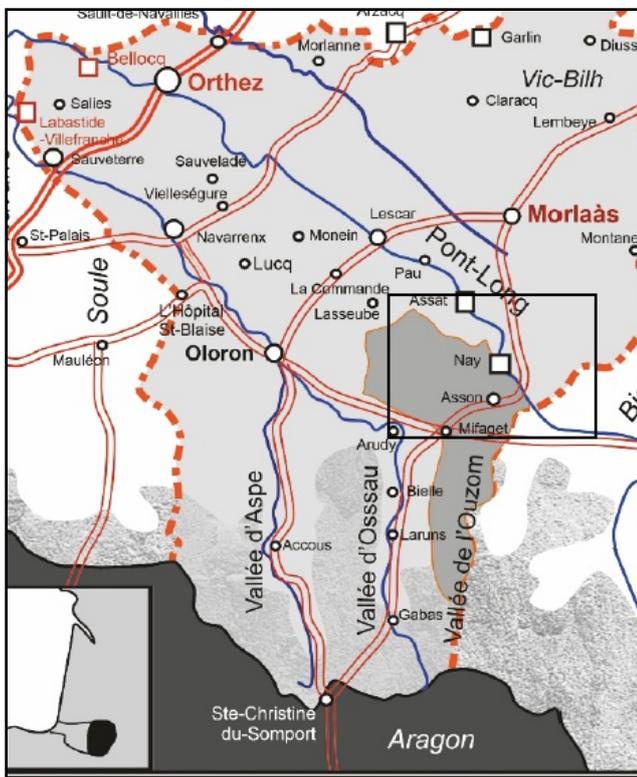
L'aire géographique du Béarn était occupée de longue date ; des cercles de pierre d'origine préhistorique (cromlechs) sont visibles en Ossau au-dessus de Bielle, les traces gallo-romaines ne sont pas rares à Oloron, une borne romaine a été retrouvée sur la voie du Somport ; une magnifique villa gallo-romaine à Lalouquette fait l'objet d'un musée à Claracq. Une autre villa existait à Jurançon, les mosaïques sont à la Cave coopérative de Gan.

Mais il faut attendre en gros l'an 1000 pour avoir des documents écrits conservés. Le Béarn se constitue en regroupant les seigneuries du Vic-Bilh et d'Oloron, et en conquérant un secteur occidental au détriment de Dax. Un réseau de villages, régulièrement espacés, est en place dans les plaines alluviales. Quelques indications rapides : l'œuvre architecturale du vicomte Gaston IV dit le Croisé, qui utilise un trésor ramené des Croisades pour doter le Béarn d'un remarquable ensemble d'églises et de chapelles romanes : impossible de ne pas mentionner les édifices d'Oloron, L'Hôpital-Saint-Blaise, Lescar, Sauveterre, Morlaàs, mais les petites chapelles comme celle de Gabas ou la crypte de Mifaget méritent un arrêt. Ces édifices balisent les trajets de pèlerinage vers St-Jacques de Compostelle.

L'importance prise par le trafic commercial et par les pèlerinages justifie dans les années 1200 l'édification de ponts en pierre pour faciliter ce transit ; un pont en pierre est un équipement de prestige pour l'époque. Certains conservent comme à Orthez ou à Sauveterre le charme inimitable des tours de gué qui contrôlaient l'accès au pont. Les trajets sont modifiés par les ponts nouveaux, et ne passent plus par l'Hôpital-Saint-Blaise qui est délaissé. Au contraire, l'importance de ce trafic en partie occidentale du Béarn a justifié le transfert de la capitale de Morlaàs à Orthez : le Vic-Bilh reste à l'écart de ces axes de transit, il



Sauveterre-de-Béarn : le pont (fortifié sous Gaston VII puis Gaston Fébus), au fond la tour Montréal (XII^e), l'église Saint-André (XII-XIII^e siècles).



Carte du Béarn fin 1302. La nouvelle capitale Orthez, de prestigieux édifices romans ainsi que des ponts en pierre construits autour de 1200 témoignent en partie nord-ouest d'une intense activité de transit, commercial ou pour les pèlerinages vers Saint-Jacques de Compostelle (en double trait rouge, les principales voies de circulation, d'après R. Elisondo). Quelques bastides (carrés) ont été créées pour défendre Orthez ou renforcer la frontière au nord. Mais fin septembre 1302, la fondation de Nay au sud-est témoigne d'un nouveau projet politique : en gris soutenu, la zone placée désormais sous sa dépendance administrative et judiciaire ; le rectangle indique la zone détaillée ci-dessous.

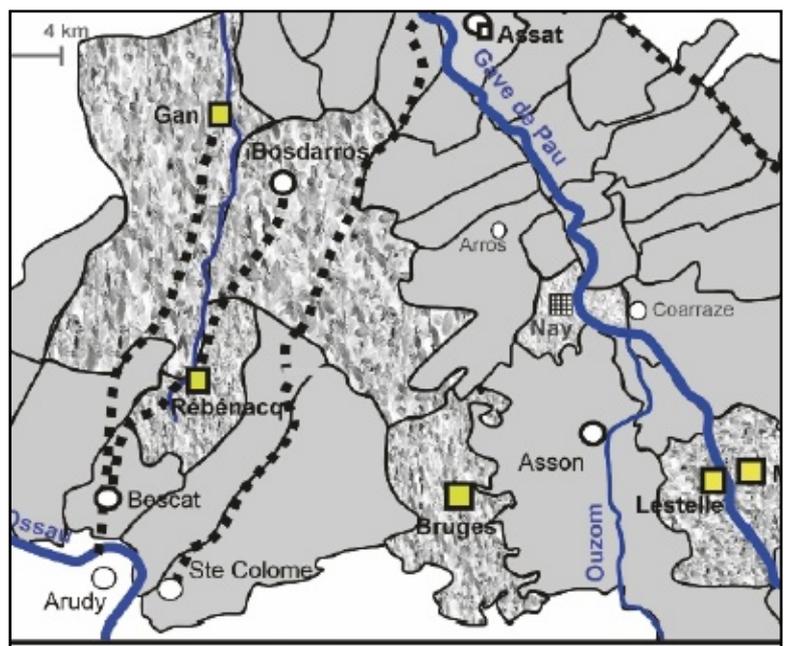
recèle un lot de petites églises rurales anciennes très simples, mais de beau style roman (Diusse). Tous ces développements ou constructions sont antérieurs à l'époque des bastides.

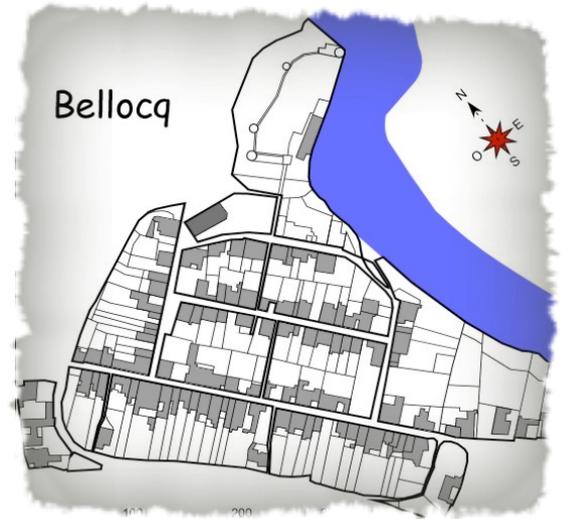
Les édifices militaires ne sont pas en reste, avec les forteresses telles que Bellocq. Elles ont été souvent remaniées au XIV^e siècle par Gaston Fébus, qui en a fait construire d'autres (Morlanne, Montaner...). La cité bastionnée de Navarrenx a été, elle, construite au XVI^e, un siècle avant Vauban, mais nous sommes là après l'époque des bastides et nous écartons de notre sujet du jour.

L'image traditionnelle des bastides : des villes en damier.

** JP, tu habites Rébénacq, c'est une bastide ? Y-a-t-il un monument à voir, une sorte de maison forte perchée comme pour les bastides de Provence ?*

Les villages anciens s'étaient répartis l'espace dans les plaines alluviales le long des gaves (trame grise). A la création de Nay succède la fondation de 5 bastides (carrés jaunes) de 1308 à 1347, qui sont implantées dans des zones restées libres (trame guillochée), réservées jusqu'alors au libre pâturage et à la transhumance (en tireté, les trajets de transhumance connus).

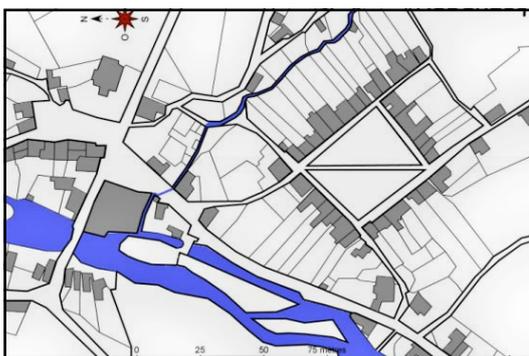




Pour défendre la nouvelle capitale Orthez, des forteresses sont établies le long des gaves, telle celle de Bellocq. Gaston VII en améliore la logistique en y adjoignant une bastide. Les rues orthogonales se greffent sur le pont levis dans l'axe de la tour carrée. Aucune place centrale n'est prévue, le marché se tiendra sur une place (marcadieu) extérieure au village, visible à l'extrême gauche sur la photo.

Rébénacq est un village à 20 km au sud de Pau, il est blotti en fond de vallée. Il appartient en effet à la famille des bastides du Sud-Ouest. N'y cherchez pas toutefois de monument particulier, car dans le Sud-Ouest, on donne le nom de *bastide* à un type de village, une disposition des maisons. Ce mot, d'abord employé en Provence, s'est étendu dans le Sud-Ouest à partir des années 1250/70, peut-être parce que les toutes premières réalisations ressemblaient à ces maisons fortes provençales. Mais dans le Sud-Ouest, les agglomérations ont pris très rapidement des caractères bien spécifiques, de sorte que certains textes anciens ont dû préciser : *bastida sive populatio*, que l'on peut traduire : bastide au sens de lotissement, pour bien marquer ce changement de sens.

* *Le mot lotissement a une consonance très actuelle, ne crains-tu pas de simplifier quand même un peu ? Le contexte était sans doute différent alors ?*

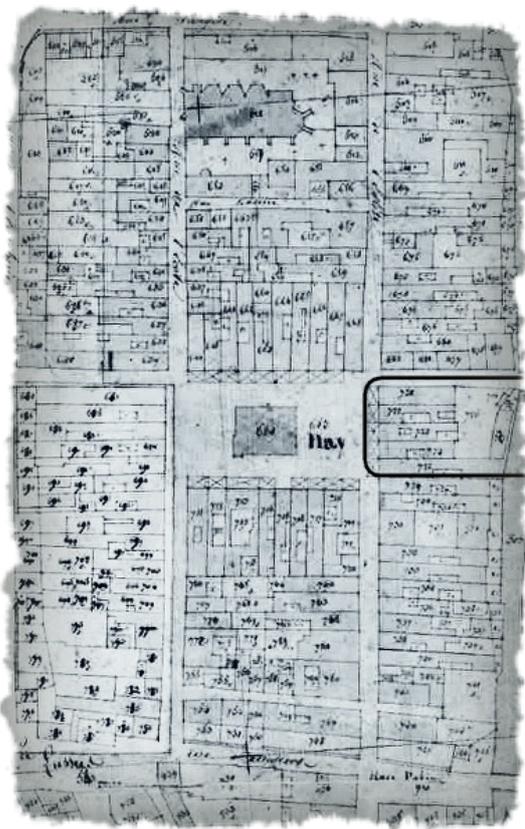


Rébénacq

Le mot lotissement a l'avantage de faire comprendre qu'il s'agissait – dans bon nombre de cas du moins – d'une opération créant un habitat planifié : chacun recevait un emplacement de dimension fixée pour la maison et le jardin, par exemple à Rébénacq 14 arases sur 60 (l'arase est en gros un demi-mètre). Le mot *allotissement* serait plus juste, mais il est plus technique. La principale différence est qu'un lotissement actuel est décidé par une commune ; alors que les bastides du Sud-Ouest sont fondées entre 1250 et 1350 principalement par les rois (et quelques princes ayant une marge suffisante d'autonomie). Le nom de certaines bastides reflète cette origine royale : Montréjeau [31], Montréal [32]. A Lamontjoie [47] les habitants, au lieu de dépendre d'un seigneur local, étaient réputés sujets directs du roi de France ! D'autres noms évoquent le fondateur : par exemple Rébénacq tient son nom de Roger d'Arévénacq, alors lieutenant du vicomte de Béarn, le célèbre Gaston Fébus.

* *N'a-t-on pas voulu, selon le mot d'Alphonse Allais, bâtir des villes à la campagne ?*

Quelque fois oui. Il est clair qu'un projet comme Grenade [31], avec 3 000 maisons prévues (il n'en fut bâti qu'un millier) peut faire penser à cette boutade. Mais toutes les bastides n'étaient pas si ambitieuses.



A Nay, le plan est en damier, une place rectangulaire est au centre du dispositif. Le territoire rural dévolu est exigu et témoigne du rôle surtout administratif imparti à cette fondation. Au XIX^e siècle, un îlot de maisons (cadre noir sur le plan ci-contre) a été abattu pour étendre la place vers le gave. Prévu le mardi dans la charte de fondation, le marché est aujourd'hui l'un des plus actifs du département

En fait, différents cas se présentent : création d'une bourgade nouvelle, mais aussi extension d'un habitat préexistant.

Voire simple remaniement d'une localité antérieure, on trouve à Saint-Aulaye [24] une église romane du XII^e au cœur de la bastide. Dans le cas extrême, le statut administratif de bastide est accordé à une bourgade restée par ailleurs inchangée, c'est le cas pour Lacommande [64]. En bref, toutes les bastides n'ont pas été des créations nouvelles en pleine campagne.

* Combien le Sud-Ouest comporte-t-il de bastides ?

Sans doute au moins 200, certains penchent pour 300. Une telle imprécision peut surprendre. Mais certaines bastides ont disparu ; dans d'autres cas, un village a bien l'aspect d'une bastide, mais aucun texte le nommant *bastide* n'a été retrouvé. On pourrait alors penser qu'il est plus simple de classer les villages d'après leur aspect, mais il y a un piège : par effet de mode, des seigneurs ont construit autour de leur château des villages ressemblant à s'y méprendre à une bastide, mais ce n'en est alors pas une, le statut des habitants est alors très différent, c'est une simple convergence.

* On est dans le vif du sujet : qu'est-ce exactement qu'une bastide ? Comment la reconnaît-on ?

Nous avons évoqué la création par une autorité princière ou royale, mettant les sujets en administration directe, via un bayle nommé par le prince. Une cour de justice locale est accordée pour régler les litiges mineurs, un notaire est mis en place ; cela, c'est pour l'aspect juridique. L'espace pour construire la maison est accordé de façon égalitaire, avec redevance fixe pour chacun, un peu comme une taxe d'habitation : c'est une véritable réforme fiscale. Les bastides sont l'un des outils qui ont accompagné la naissance des États modernes. C'est pourquoi on ne peut les mélanger avec des extensions autour d'un château sous la coupe du seigneur local.

Si l'on considère l'aspect de ces localités, donc le point de vue urbanistique, un point de repère incontournable est la fin de la Croisade des Albigeois. Le comte de Toulouse signe en 1229 sa reddition et doit accepter que les villes reconstruites n'aient pas d'enceintes. Mine de rien, cela change la donne complètement. Non fortifiée, une ville n'a plus besoin d'être sur un site défensif en hauteur ; la voie est ouverte pour des occupations de fond de vallée sur les axes commerciaux, les bourgs deviennent « extensibles » en ajoutant des îlots de maisons. La priorité donnée au commerce - plutôt qu'aux fonctions

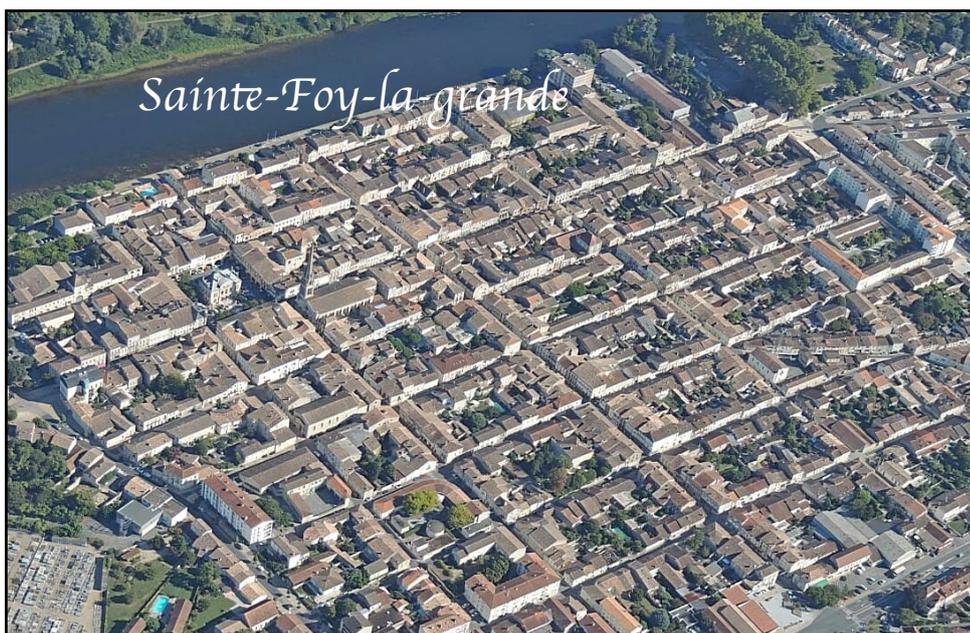
défensives - conduit à prévoir une place carrée au centre du village, une grande place de 50 voire 70 mètres de côté. L'église est volontairement en dehors de la place, de façon à laisser celle-ci libre pour le marché.

** Pratiquement, comment construit-on une bastide ?*

Rois et vicomtes ne disposent pas librement des terres : leur domaine propre est limité, nombre de terres sont « données à fief » à des seigneurs locaux ou des religieux qui en ont ainsi l'usufruit. Nous ne sommes pas à l'époque de la monarchie absolue, il faut un accord juridique pour décider ce nouveau statut d'une portion de territoire, on l'appelle « accord de paréage ». Pour attirer une population, une charte de coutume ou de fondation accorde des avantages en matière de vie collective et définit les terres attribuées ainsi que les taxes à payer. Après les notaires, viennent les arpenteurs qui délimitent les lots à la perche. La corde à 13 nœuds utilise la règle de Pythagore, en répartissant les 12 intervalles en côtés (3, 4, 5), on forme un triangle rectangle ce qui permet de tracer des rues orthogonales.

** Des maisons en îlots formant un plan en damier autour d'une place de marché : est-ce à cela que l'on reconnaît une bastide ?*

Au nord de l'Aquitaine, les bastides apparaissent liées à la mise en culture de vignes. Sainte-Foy-la-Grande appartient à la toute première génération des bastides (1255) mais présente déjà de façon 'parfaite' le plan en damier, avec place centrale carrée : elle n'est pas au milieu de la cité mais ici déportée vers le bord de la Dordogne ; la ville a en effet été conçue comme un port, voulu par les capétiens (Alphonse de Poitiers); ce qui explique sans doute la qualité d'exécution du plan. (photo Michel Bousquet).



Ce « plan-type » de village maintes fois rencontré dans le Sud-Ouest a attiré l'attention avec des bastides exemplaires telles que Monpazier [24], Monflanquin [47], mais aussi Nay dans notre département : la place rectangulaire y est d'une géométrie parfaite, entourée d'arcades qui facilitaient le commerce (au Moyen Âge et dans les siècles qui ont suivi, le commerce se faisait sur la rue par les fenêtres, on ne rentrait pas dans les boutiques). Les arcades sont fréquentes dans les bastides, elles ne sont pas systématiques et sont à l'occasion postérieures à la fondation.

Mais les historiens ont ensuite remarqué que les textes nommaient également bastides des localités au plan moins régulier ou dépourvus de place centrale : tous comptes faits, la place centrale n'est présente au mieux que dans la moitié, peut être le tiers des bastides du Sud-Ouest.

** La place centrale s'est peut-être imposée suite à une évolution ?*

En effet, les places semblent plus nombreuses et plus grandes au fil du temps, c'est le cas dans le Béarn. Toutefois il n'y a pas d'évolution simple : dès le début, par exemple à Sainte-Foy-la-Grande [33] en 1255, le modèle avec plan en damier avec place centrale est présent. La ville fondée par Alphonse, un frère du roi de France - crée ainsi un port sur les bords de la Dordogne. Disons que la place s'est imposée peu à peu, mais elle était présente dès les premières fondations. Dans les zones de conflit avec le roi d'Angleterre, le modèle défensif – sur un piton - a perduré davantage, comme à Puymirol [47] – le mot occitan puy ou pech désigne une butte.



Un développement commercial qui anticipe notre monde actuel

** Tu mentionnes que Sainte-Foy-la-Grande est un port, est-ce significatif ?*

Oui, une partie importante du commerce se fait alors par voie fluviale, notamment l'exportation des vins vers les pays nordiques et l'Angleterre. En partie nord de l'Aquitaine, il a été montré que l'implantation des bastides suit assez fidèlement le volume des vins transitant dans les ports de Libourne et Bordeaux pour être expédié par mer. Les bastides drainaient la production agricole de l'arrière-pays ou constituaient des ports de chargement le long des principales rivières. Cette vocation fluviale est encore visible par exemple à Lalinde [24]. Comme évoqué les bastides sont le fait des rois et princes qui renforcent leur pouvoir au XIII^e siècle, en surfant sur la vague du développement commercial.

Les rivières permettaient le transport du vin vers Libourne ou Bordeaux. La situation ancienne de port fluvial est également perceptible à Lalinde [24] créée en 1267 .

**** Les fameuses foires du Moyen Âge ?***

Oui, ces foires sont l'une des expressions d'un commerce international qui prend alors un essor qui ne s'affaiblira plus - et dont est issu notre monde actuel -. C'est en quelque sorte la naissance de l'économie de marché. Les places de marché des bastides en sont l'une des ramifications ; chacun peut y avoir accès à ces biens mis en circulation, et qui, pour les places commerciales les plus importantes, peuvent provenir de très loin. Le luxe se développe et Philippe le Bel doit prendre des édits pour éviter son affichage trop ostentatoire, car il génère des révoltes. Luxe et coût croissant des opérations militaires expliquent les besoins de la noblesse en liquidités. Une taxation traditionnelle en nature sur la production (du genre 'un cochon à la Noël') ne répond pas à ces besoins, encore une fois les bastides sont un élément de mise en place des moyens d'administration des États modernes.

**** Les marchés existent-ils toujours ?***

Certains oui. Citons par exemple Navarrenx, mais plus particulièrement celui de Nay, incontestablement l'un des plus gros si ce n'est le plus gros du département. Il a lieu chaque mardi, comme spécifié dans la charte signée en 1302 !

**** Les vignobles méridionaux que nous apprécions, Jurançon et Madiran, étaient-ils concernés ?***

Quelques écrits médiévaux mentionnent ces vignobles et le fait qu'une exportation ait eu lieu est possible. Mais lorsqu'on regarde les chartes des bastides du Béarn, les vignes y jouent un rôle tout à fait mineur. Les bastides se sont implantées en un siècle, mais sur un territoire suffisamment étendu pour que les enjeux, les motivations, le rôle des acteurs, les plans adoptés varient d'un bord à l'autre du territoire couvert.

Les bastides au pays de la transhumance

En Béarn, ces chartes nous mettent en présence d'une société se consacrant à l'agriculture extensive. Des clauses autorisant de faire paître « jusqu'au troisième village selon la



Rébénacq a été fondé en 1347 sur des chemins de transhumance ; des troupeaux y passent encore de nos jours au printemps ou ici à l'automne.

coutume » sont sans équivoque et n'ont rien à voir avec le monde viticole. Le côté le plus spectaculaire pour le public est évidemment la transhumance.

** Ces transhumances que l'on peut voir encore de nos jours début juillet à Laruns par exemple ?*

Oui, les troupeaux vont alors en montagne, ce système est très ancien, probablement antérieur au Moyen Âge. Le nombre de bêtes a diminué au XIX^e siècle ; et surtout, à cette transhumance d'été vers les montagnes, s'ajoutait une transhumance d'hiver, que l'on dit encore plus importante, elle menait les troupeaux assez loin en plaine, au nord de Pau (zone dite du Pont-Long) voire jusqu'aux confins de Bordeaux. Le principe est le même : les exploitations accueillent un nombre de bêtes important qu'il était impossible de nourrir avec le fourrage produit sur place dans le village. Et les communautés distinguaient soigneusement les propriétés individuelles et les espaces indivis mis en commun, réservés aux parcours et aux pâturages ; ils étaient indispensables pour l'économie de cette société. Regardez un troupeau de moutons en vallée l'hiver : le berger reste avec lui car le troupeau doit se déplacer d'heure en heure pour trouver de l'herbe fraîche : il ne peut rester dans un champ confiné comme les ânes.

** Quel rapport les bastides ont-elles avec ce système agricole traditionnel ?*

Aucun et c'est là le problème. Les bastides sont un mécanisme de distribution égalitaire de terres à chaque famille avec comme nous l'avons dit, une redevance fixe payée en Béarn directement au vicomte. La communauté traditionnelle, c'est au contraire l'inégalité, avec des maisons dominantes aux mains d'une aristocratie rurale : elle perçoit les rentes et en reverse une partie au vicomte. En Béarn, les bastides apparaissent comme un moyen de contrer l'emprise de cette société rurale traditionnelle.

** Un véritable conflit de société ?*

Oui, et cela peut expliquer que les bastides soient apparues en Béarn plus tard qu'ailleurs, à partir de 1280 seulement (au lieu de 1250). Les vicomtes de Béarn, et particulièrement Gaston VII,



jouent au départ le compromis avec la société traditionnelle. Sa fille Marguerite va à l'affrontement, en implantant Nay, ses descendants Gaston II puis III (Fébus) poursuivent cette action, cinq bastides assez similaires sont au total implantées : Montaut, Gan, Lestelle, Bruges et Rébénacq. Elles ont en commun une grande place de marché (70 m. de côté). Les chartes conservées montrent que les habitants reçoivent des terres à labourer, 14 ha chacun à Rébénacq, soit 500 ha mis en culture dans l'hypothèse plausible d'une quarantaine de maisons. Une véritable reconversion pour des terres initialement incultes, c'est donc une réforme agraire.

D'autres études récentes en Bigorre montrent également la liaison forte des bastides avec la problématique agricole : dans certains cas, il n'y avait même pas de village, uniquement une répartition des terres pour les mettre en culture ; d'autres études – plus au nord en Gascogne–

montrent des chemins ruraux et des directions de parcelles prolongeant la voirie du bourg. On s'écarte donc bien de la vision monolithique qui prévalait dans les années 1990 et qui voyait les bastides uniquement sous l'angle de villes nouvelles. Mais revenons au Béarn : la perte d'espaces indivis ne pouvait que provoquer le tollé dans les communautés traditionnelles et les vicomtes se sont bien gardés d'implanter des bastides là où

ces communautés étaient les plus puissantes, dans les hautes vallées montagnardes telles que l'Ossau, Ouzom ou Aspe.

Le Moyen Âge est parmi nous

** C'est donc un autre type de village que l'on rencontre dans les montagnes ?*

Tout à fait, il se remarque de suite à ses rues sinueuses, contournant l'espace dévolu à chaque exploitation. Ces villages aux rues courbes sont nombreux dans les hautes vallées (Arudy), mais aussi en plaine comme à Assat qui a résisté à la tentative d'implantation d'une bastide : le quartier bastide s'identifie de suite par sa place carrée et ses rues droites. Les rues rectilignes sont bien sûr encore mieux visibles à Nay ou Lestelle.

** Y-a-t-il eu d'autres tentatives de créations de village que les bastides ?*

Vers l'an 1000, le grand triangle Bayonne-Bordeaux-Toulouse était dépourvu de villes majeures. Un premier mouvement de créations à partir de l'an 1000 a été celui des Sauvetés (Sauveterre-de-Béarn). La bastide de Sauveterre-de-Guyenne [33] hérite son nom d'un prieuré ancien ; ces prieurés étaient créés pour protéger les populations sur initiative de l'Église ou des ordres monastiques. Puis aux XI-XII^e siècles, les seigneurs ont eux-mêmes créé des bourgs, protégés par un château, ces bourgs castraux ont à l'occasion des noms bien reconnaissables : Castelnau ou Castetnaou ou simplement Castet. Pau était au départ un castelnau, ramassé autour du quartier du château, et s'est très progressivement étendu vers l'est. Les bastides sont une troisième génération de bourgs implantés à partir de 1250 comme nous l'avons vu.

** Hormis le marché, quelles traces le Moyen Âge nous a-t-il laissées ?*

Quand le grand public pense Moyen Âge, il pense cathédrales et châteaux forts. Le Moyen Âge comme nous venons de le voir a laissé d'autres traces : une grande partie des villages du Sud-Ouest nous vient du Moyen Âge, et, là où le bourg ancien est le mieux préservé, la proximité église-cimetière témoigne de la foi bien spécifique des chrétiens médiévaux. Nous avons mentionné les ponts en introduction. Près des églises, des maisons de petits nobles locaux sont également une spécificité du Béarn et de la Bigorre, elles portent un nom curieux (abbayes laïques), sur lequel je ne peux m'étendre.

Les maisons de nos villages

** Les maisons qui sont en place aujourd'hui dans les bastides ont été reconstruites ?*



La tradition médiévale utilisait un mur pignon comme façade principale. L'organisation des ouvertures ne tient alors pas compte d'une possible symétrie : la porte est sur le côté, les baies de l'étage et celles du rez-de-chaussée ne sont pas à l'aplomb. Cette mode se prolonge assez tard dans le Béarn (à gauche : maison Gervine, XVI^e siècle, à Lestelle).

Si le Sud-Ouest comporte nombre d'églises remontant au moins partiellement aux époques dites romanes ou gothiques, les constructions civiles de cette époque sont rares en France. En Béarn en particulier, les maisons ont été reconstruites au fil des siècles. Dans les bastides, les reconstructions ont pour l'essentiel – sauf quelques rachats de lots – respecté les emplacements anciens et c'est pourquoi on peut parler de ces structures anciennes de village, avec pour les bastides les différentes variantes que nous avons évoquées et qui en font le charme et l'intérêt.

Jusqu'à l'aube du XIX^e siècle, on peut trouver des reconstructions qui respectent certaines traditions médiévales : maison à pignon sur rue, encadrement en larges pierres bordées

par un chanfrein : un motif en « accolade » termine élégamment un contour dit en anse de panier. Ce style d'encadrement reflète et simplifie le style gothique, qui reste en usage



Les encadrements sont en pierre massive, l'arête est travaillée en chanfrein, avec une pointe en accolade au milieu de la porte (à gauche : Rébénacq, la fenêtre avait probablement servi d'échoppe)..De très nombreuses granges ou portes charretières montrent ces dispositions en vallées d'Aspe ou d'Ossau (au centre : Bielle, à droite : Lasseube).

en Béarn très tard, jusque dans les années 1600 (églises de Lasseube, Sainte-Colome, Bruges...). Pour les granges et maisons, les plus anciens modèles conservés en vallée d'Ossau remontent aux années 1550, on en produit encore au XVIII^e. Dans les bastides et bien évidemment dans les autres villages également, c'était la façon de construire traditionnelle.

** Un nouveau style s'est ensuite imposé ?*

Un style néo-classique s'est en effet imposé. C'est le style Renaissance des châteaux de la Loire, pour simplifier : belle façade parfaitement symétrique, l'arête du toit est parallèle à la façade, le toit « à la française » se développe en hauteur ; les encadrements sont faits de pierres strictement appareillées et dont l'arête est laissée vive (nécessitant un chasse-roue pour les granges). La travée centrale qui inclut la porte d'entrée est mise en valeur, par exemple elle dépasse de l'alignement de la façade ou bien est particulièrement décorée. Transmis par la noblesse, ce modèle se répand d'abord dans l'aristocratie locale, on en trouve des exemples au XVIII^e ; il se généralise au XIX^e pour les maisons populaires du Béarn. La qualité de l'habitat rural dans le moindre des villages est l'un des charmes du patrimoine béarnais.



Initiée à la Renaissance dans les résidences nobles, une mode néoclassique se répand et devient la règle au XIX^e en milieu rural dans le Béarn. L'entrée est disposée sur la façade parallèle à l'arête du toit, ce qui autorise une symétrie parfaite des ouvertures. A Pardies- Piétat, cette maison simple montre un encadrement formant travée, comme il est courant en plaine de Nay .

** Le XIX^e se traduit donc par un habitat standardisé ?*

Les constructions ou reconstructions en milieu rural au XIX^e suivent en effet un modèle standardisé. Cela donne aux villages de campagne une cohérence du plus heureux effet. Toutefois l'examen plus attentif révèle des variantes, car deux révolutions vont au XIX^e bouleverser l'aspect des portes. D'une part la baisse du coût de production du verre à vitre, qui va conquérir la porte d'entrée : simple imposte en haut jusqu'en gros vers les années 1850/70 puis porte à cadre avec surface vitrée. Cette porte à cadre remplace la porte traditionnelle en planches croisées, sa réalisation est facilitée par les machines outils que diffuse la Révolution industrielle. Le heurtoir en anneau ou gibecière laisse alors la place aux heurtoirs en forme de main, de tête de cygne, produits par des fonderies, tandis qu'apparaît la serrure moderne avec pêne dit « bec de cane », qui remplace le traditionnel loquet. Pour l'encadrement en pierre, ce sont plutôt des modes stylistiques qui se succèdent, au



gré des ateliers ou tailleurs de pierre locaux : apparition de moulures, de motifs évoquant les chapiteaux, de sculptures décoratives au-dessus de la porte. Dans quelques maisons fortunées, l'encadrement de porte des années 1850-70 peut être décrit en ayant sous les yeux un dictionnaire ouvert à la page des temples grecs ! Des modèles circulaient, sans compter que ce vocabulaire architectural était utilisé dans les églises à partir de la contre-réforme.

Vantaux à planches croisées (à gauche) puis à cadre de bois surmontés d'une imposte (au milieu). La maison Navarre à Montaut (à droite) décline les dispositions classiques : piédroits avec piédestal et chapiteaux, frise, corniche...

* *Merci, Jean-Paul Valois, de nous avoir donné envie de circuler dans les villages, bastides ou non, de s'y arrêter pour observer une architecture qui a décidément beaucoup à nous dire.*

**Les villages adhérents à l'association sont : Arzacq-Arraziguet, Assat, Bellocq, Bruges, Gan, Garlin, Labastide-Villefranche, La Bastide Clairence, Lestelle, Montaut, Navarrenx, Nay, Rébénacq, Vielleségure.



Heurtoir en fer forgé

Bibliographie.

« *Les Bastides des Pyrénées-Atlantiques, hier et aujourd'hui* », dir. J.-P. Valois, éd. Monhélios, 2010, disponible en librairie ou sur commande au site www.monhelios.com

"*Bastides, Villes nouvelles médiévales*", Michel Coste et Antoine de Roux (2007), collection Patrimoine Vivant, Desclée de Brouwer.

Le propos tient compte ici de travaux récents, notamment des apports de l'historien Benoît Cursente, mais dont le livre phare « *Des maisons et des hommes. La Gascogne médiévale* », Toulouse, PUM, 1998 est actuellement épuisé. L'intervenant a produit différents articles, publiés ou en préparation, dans des revues spécialisées (pour les bastides ainsi que sur le thème des portes des maisons) et peut envoyer une version pdf sur demande par mail.

La carte générale du Béarn est en grande partie reprise du livre de Robert Elisondo « *L'Hôpital-Saint-Blaise* »,

Le calcul haute performance chez TOTAL Exploration-Production



Philippe MALZAC

1. Introduction

L'histoire du HPC (Calcul Haute Performance) est intimement lié à celle de l'informatique, d'autant que l'informatique a toujours été tirée par la performance pour calculer plus vite de plus gros volumes de données. La performance est le sujet clé lorsque l'on parle de HPC. Non seulement pour la puissance de calcul déployée mais parce que le HPC sert aussi de laboratoire aux constructeurs pour développer de nouvelles technologies, pour améliorer les processeurs, le stockage de donnée et les réseaux.

Dans les années 70, l'arrivée des supercalculateurs a été accompagnée par l'émergence d'une nouvelle spécialité mélangeant informatique, modélisation physique et mathématiques : la simulation numérique par le calcul haute performance. TOTAL a profité de l'évolution de ces technologies, et a été précurseur dans l'utilisation de la simulation numérique dans le monde des géosciences notamment en traitement et imagerie Sismique pendant les années 80. Ensuite, de nouveaux domaines d'application pour le HPC ont été développés avec la simulation de réservoir, et l'histoire se poursuit toujours. Aujourd'hui, TOTAL est toujours un acteur reconnu dans le monde pour sa vision sur les applications du HPC aux domaines Géosciences que ce soit pour la simulation numérique à l'échelle des blocs et des assets, ou à l'échelle microscopique avec les sujets DRP (Digital Rock Physics), PNM (Pore network modeling).

Si le HPC est synonyme de succès chez TOTAL, c'est notamment grâce à l'écosystème qui a été mis en place, et grâce aux nombreux acteurs qui y contribuent :

- les équipes de R&D à Pau et à Houston qui envisagent et testent les nouvelles technologies de demain, et développent les nouveaux algorithmes,
- les informaticiens développeurs et responsables des infrastructures, qui développent, optimisent les codes et font tourner les machines, et
- les utilisateurs géophysiciens de l'imagerie sismique, les ingénieurs réservoir en charge de simulation.

2. Apports pour la Géophysique

L'imagerie profondeur est utilisée dans des contextes géologiques complexes où les techniques habituelles (« imagerie temps ») ne produisent pas de bons résultats. La tendance de fond est vers une utilisation quasi-systématique de l'imagerie profondeur, alors que c'était le cas pour seulement 10% des projets il y a 10 ans.

Les apports du traitement en profondeur sont multiples, mais se composent principalement d'une meilleure vision des pièges pétroliers, d'une meilleure restitution de leur position dans le sous-sol avec l'objectif d'obtenir une meilleure résolution. Ces effets ont pour but d'améliorer la compréhension du sous sol, pour mieux apprécier les risques en exploration et déterminer plus précisément les ressources.

La décision de traiter en interne une étude réside dans le souhait d'obtenir un avantage compétitif, illustré ci-après avec des réalisations rendues possible grâce à PANGEA. Les études sont réalisées en externe, quand il n'y a pas de plus value à traiter les données en interne. Ces plus-values sont de trois ordres :

- ♣ utilisation d'une technologie non disponible à coûts compétitifs et que nous maîtrisons en interne pour obtenir un meilleur résultat,
- ♣ garantie d'un planning,
- ♣ et flexibilité.

L'utilisation de technologies développées par la R&D de TOTAL permet d'améliorer les images lors de retraitement ponctuels. Plusieurs technologies sont actuellement utilisées et n'ont pas d'équivalent en production chez les contracteurs, ou alors à un coût souvent prohibitif.

De plus, les techniques d'imagerie profondeur se généralisent pour mieux caractériser la vitesse de la proche surface, en particulier en présence d'accumulations de gaz peu profondes qui peuvent constituer un danger pour le forage (figure A). La détection de ces accumulations de gaz peu enfouis ainsi que la prédiction de surpression en profondeur sont réalisées par une étude fine des vitesses de propagation des ondes. Cela permet de diminuer les risques HSE et les coûts des programmes de forage, en adaptant l'architecture des puits à ces risques potentiels.

Enfin, la puissance de calcul de PANGEA a permis de mieux voir les réservoirs (figure B et C), permettant d'avoir plus d'information sur l'importance des réservoirs pour implanter les forages de développement.

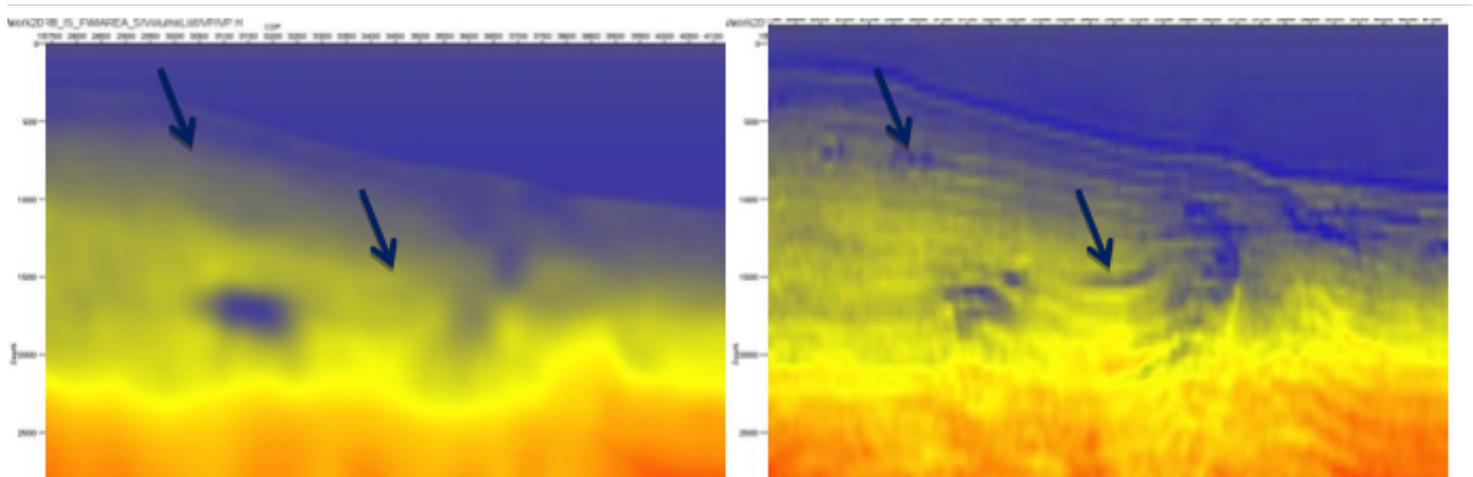


Figure A : exemple de modèle de vitesse obtenu par une méthode classique (gauche) et par une méthode haute résolution. Cette dernière image donne une meilleure résolution et met en évidence les anomalies liées au gaz de manière plus précise.

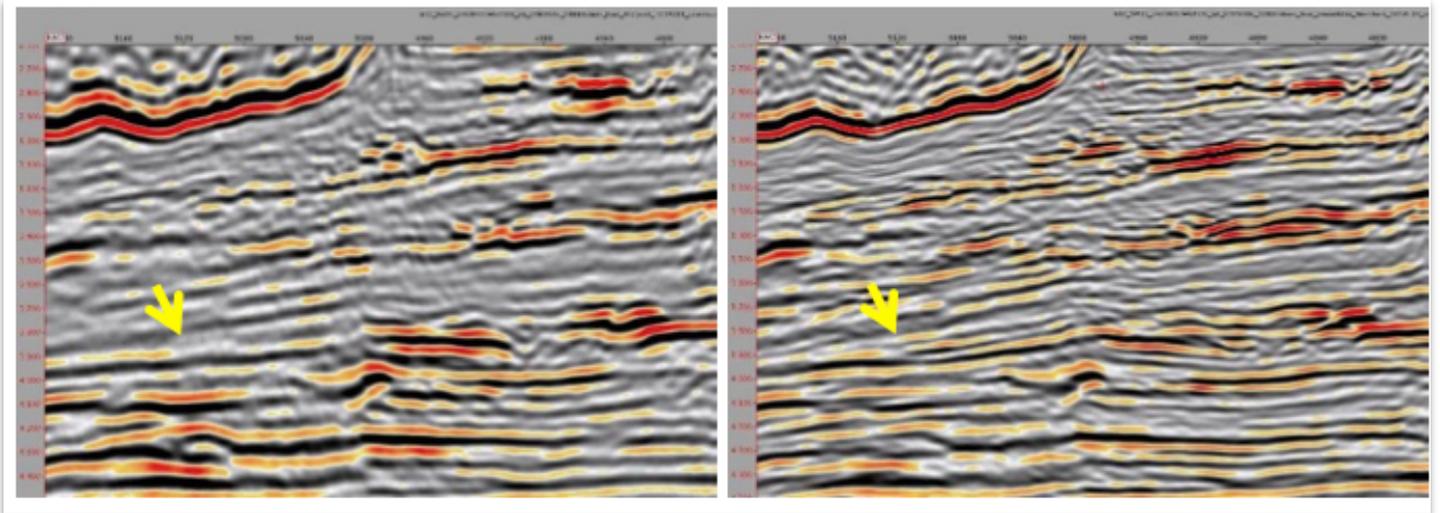


Figure B : Comparaison entre une migration profondeur à fréquence maximale 35 Hz réalisée en 30 jours en 2012 (gauche) et 50 Hz réalisée en 9 jours sur PANGEA (droite). La plus grande bande passante utilisée permet de voir le détail d'un réservoir auparavant difficile à cartographier pour bâtir un modèle réservoir. L'image de droite nécessite quatre fois plus d'opérations pour être calculée.

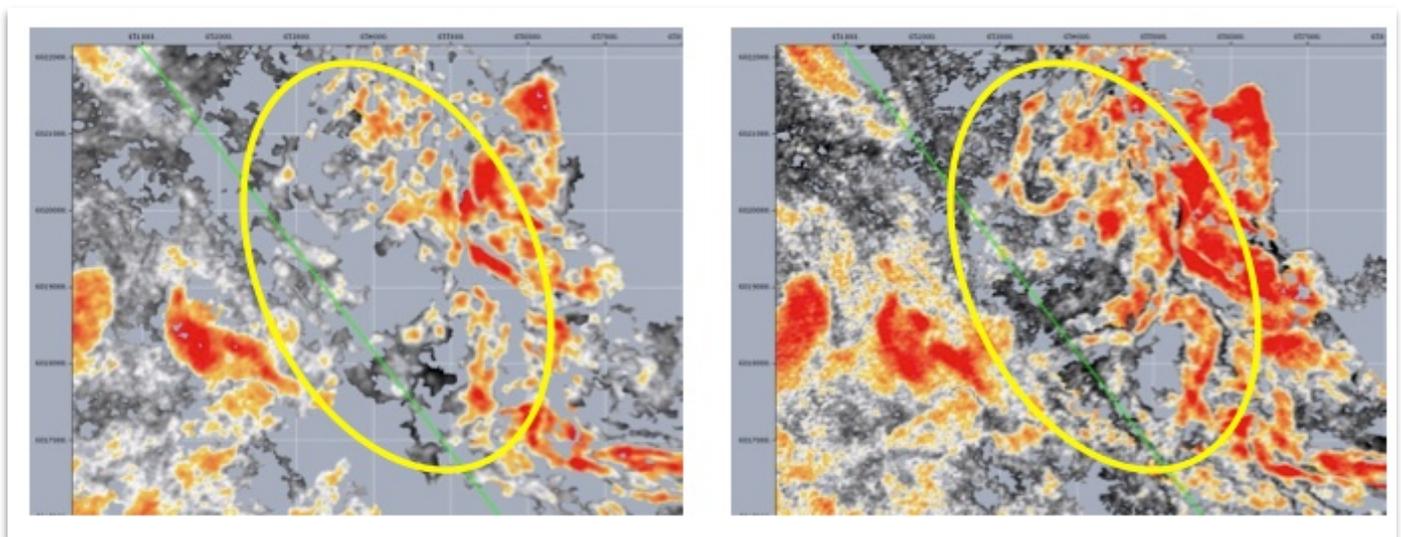


Figure C : comparaison d'extraction d'amplitude d'un intervalle réservoir sur l'image temps (gauche) et l'image profondeur (droite). Le fairway turbiditique méandriforme est mieux visible sur le traitement profondeur.

Un traitement interne permet également de gérer en interne les priorités à donner sur les études et de garantir des livraisons sur des études critiques.

Le dernier avantage apporté par les retraitements internes est qu'il est possible de modifier le workflow de ce traitement sans coût additionnel, alors qu'un prestataire fait la plupart du temps payer les changements de séquence en cours de traitement. C'est souvent le cas pour des études sur des domaines géologiques nouveaux ou complexes (subsalt, shallow gas principalement).

3. Apport pour le Réservoir

L'apport du HPC permet une utilisation optimisée du simulateur réservoir nouvelle génération, dont les performances en temps de simulation sont jusqu'à 50 fois supérieures aux simulateurs d'ancienne génération, par une utilisation appropriée des capacités de calcul parallèle.

Les ressources HPC sont donc clefs pour permettre la réduction des coûts et des durées des études de développement.

En outre, l'utilisation du HPC permet de raffiner les maillages et d'augmenter la fiabilité des modèles par les actions suivantes :

Limiter, voire supprimer l'étape d'upscaling entre modèle géologique et modèle réservoir : cette action permet par la même occasion de réduire de quelques semaines à quelques mois les durées d'études (en 2009-2010, cette étape pouvait durer environ 6 mois sur une étude).

Dé-risquer les développements complémentaires en tirant au maximum parti de la sismique 4D ; comme le montrent les images ci-dessous (figure D).

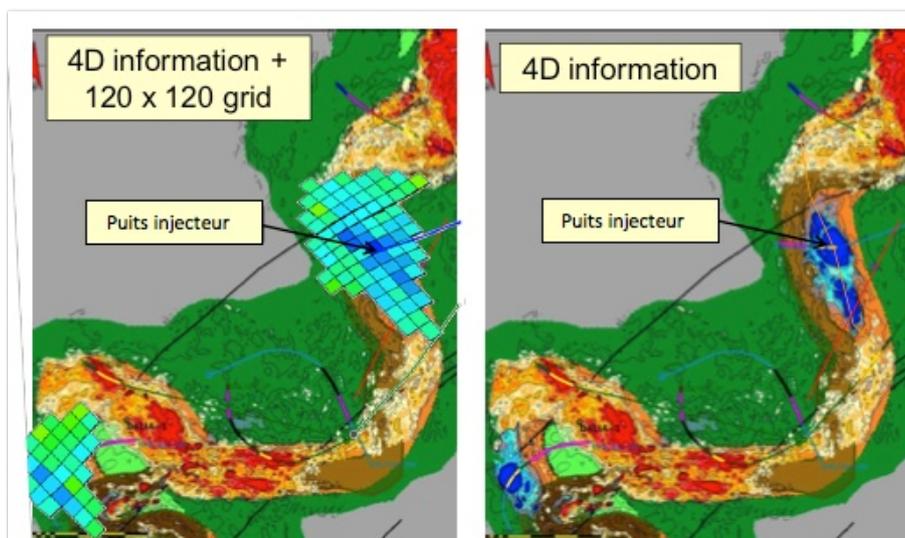


Figure D le modèle dynamique historiquement utilisé (modèle avec des mailles de 120 m x 120 m) ne permet pas de capturer l'information fournie par la 4D.

Pouvoir faire tourner de très gros modèles, adaptés aux champs géants sans dégrader les données géologiques et sismiques afin de mieux prévoir le comportement de ces réservoirs et d'optimiser les développements complémentaires futurs ; sur ce point, l'impact est également important en termes d'image technique. En 2013, les premiers Giga modèles ont pu tourner de manière satisfaisante sur PANGEA et confirmer les potentiels entrevus.

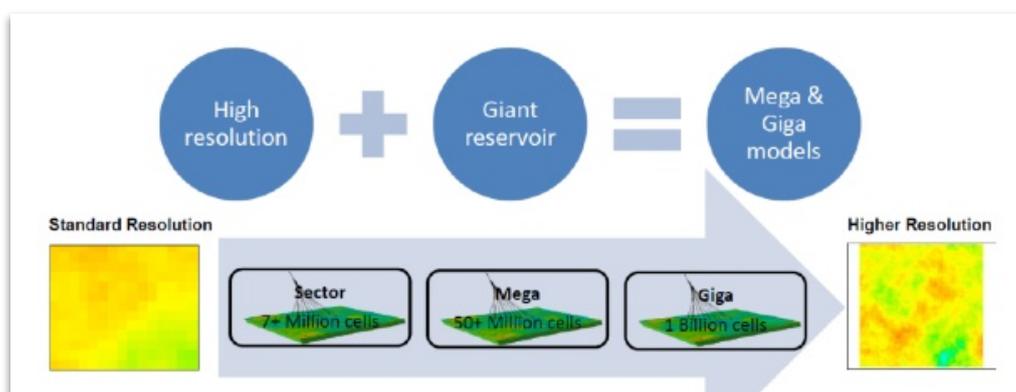


Figure E Bénéfice des Giga-modèles

Rendre opérationnel, robuste et fiable le lien entre modélisation de réservoir et modélisation des réseaux et des installations de surface ; une première étape a été franchie en 2013, où l'équipe projet a pu effectuer rapidement des simulations couplant modélisation subsurface et surface, ce qui a contribué à l'exercice de minimisation des CAPEX.

4. Evolution des calculateurs

4.1 Evolution des processeurs

Le cœur des machines de calcul est constitué de processeurs. Ces derniers déterminent la puissance de calcul en termes de nombre d'opérations à la seconde (Flops) ainsi qu'une partie importante de la consommation électrique (80%) des supercalculateurs.

Jusqu'à présent, il existait 2 types d'architectures :

- ♣ Les processeurs (CPU) en eux-mêmes, composés d'une douzaine de cœurs de calcul
- ♣ Les accélérateurs (comme les cartes graphiques) composés d'une cinquantaine d'unités de calcul qui venaient en complément des CPU

Ces accélérateurs offrent une puissance de calcul théorique bien supérieure (x10) à celle des CPU, le tout dans une enveloppe de consommation électrique similaire. La problématique de l'utilisation des accélérateurs, vient du fait qu'il faut gérer de façon explicite au niveau logiciel, les échanges de données entre le CPU et l'accélérateur. Cela se traduit dans les faits par une meilleure efficacité des architectures CPU.

Dans les années à venir, il semble que ces 2 types d'architectures soient amenés à fusionner avec l'avènement des processeurs many cœurs tels que l'Intel Knight Landing, Nvidia Maxwell et AMD SM20K.

4.2 Evolution du marché des calculateurs

La courbe d'évolution de la puissance de calcul de nos différents supercalculateurs à toujours suivi la courbe de l'évolution des machines les plus puissantes au monde. Chaque machine dont nous nous sommes équipés dans le passé avait une puissance équivalente à 10% de la machine la plus puissante au monde (ligne jaune)



5. Mise en service de PANGEA

En Janvier 2013, le nouveau supercalculateur PANGEA a été mis en service au CSTJF, avec un double objectif:

- permettre aux géophysiciens de traiter des campagnes sismiques de plus grand volume en utilisant les algorithmes d'imagerie sismiques les plus récents,
- ouvrir les capacités de calcul parallèle aux ingénieurs réservoir pour simuler les écoulements à l'aide de giga modèles.

Le constructeur, SGI, a été sélectionné suite à un appel d'offre, qui prenait en compte des critères, tel que la performance et l'efficacité des codes internes, l'efficacité énergétique, et bien évidemment les coûts. La machine dispose de 110,592 cœurs de calcul Intel SANDYBRIDGE et produit une puissance de calcul de 2.3 PFlops/s (million de milliards opérations par seconde), d'un stockage de calcul performant de 16 PB avec un débit de 300 Gb/s, et consomme une puissance électrique 2.8 MW. Le système de refroidissement est innovant et permet une bonne efficacité énergétique, grâce à une circulation d'eau à 25°C directement sur les lames de calcul ce qui permet une grande compacité puisque la machine tient sur une surface de 220m².

En juin 2013, les 2.3 PFlops/s de PANGEA la plaçaient 11^{ème} machine la plus puissante du monde dans le classement du TOP500, et première machine à vocation industrielle.

Peu après sa mise en service, les deux objectifs ont été atteints. Les images sismiques obtenues avec l'aide de PANGEA ont permis d'obtenir une précision et une résolution inconnues jusqu'alors et le logiciel de simulation des écoulements de fluides dans les réservoirs a montré son efficacité tant en termes de résultats métier qu'en temps calcul.

6. L'évolution de PANGEA

Fin 2014, le COMEX de TOTAL a validé l'extension de la puissance de calcul et de stockage du calculateur PANGEA. Elle va permettre de satisfaire aux besoins des géosciences de disposer des algorithmes de nouvelle génération mis au point par la R&D pour imager des zones de plus en plus complexes et à terme multiplier les scénarios géologiques du sous-sol. Elle est également attendue par les ingénieurs réservoir pour simuler des modèles de tailles et de complexité plus importantes, pour intégrer les données de sismique 4D * et aussi pour systématiser les approches multi-scénarios.

Cette évolution se compose d'une nouvelle tranche de 110 592 cœurs de calcul avec des processeurs HASWELL et de l'ajout 9,2PB (Pétabytes) de stockage, portant la puissance de calcul de PANGEA de 2.3 à 6.7 Pétaflops ** et sa capacité de stockage de 16 à 25 Pétabytes pour une consommation électrique de 4.5 MW.

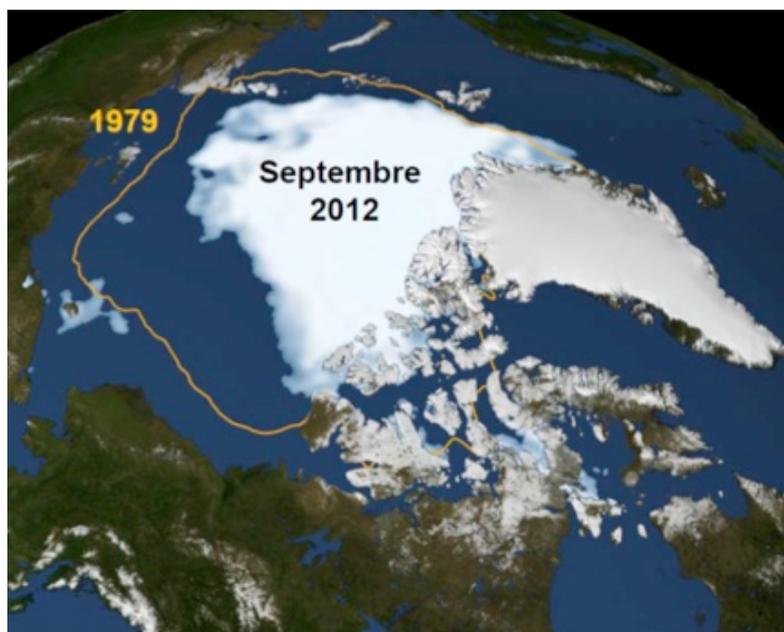
Les travaux d'hébergement sont en cours sur le site du CSTJF à Pau. La livraison puis la configuration de l'extension de PANGEA commencera en septembre 2015 pour une mise en service opérationnel en janvier 2016.

Les progrès continus enregistrés dans l'imagerie des données sismiques sont un facteur clé dans la recherche de pièges pétroliers complexes et ils apporteront une contribution positive à l'amélioration des résultats de l'exploration. L'utilisation généralisée de la dernière génération de logiciels de simulation réservoir sur PANGEA fiabilisera nos développements, nos estimations de réserves et réduira la durée des études réservoir.

* La sismique 4D correspond à la répétition dans le temps de sismiques 3D sur la même zone

**1 Pétaflops = 10¹⁵ opérations flottantes par seconde

LA FONTE DES CALOTTES POLAIRES FAIT-ELLE MONTER LA MER ?



La fonte des glaciers polaires est un effet visible – et très médiatisé – du réchauffement climatique, comme le montre ci-dessous l'image satellite de la banquise arctique qui a diminué de près de 50% entre l'été 1979 et l'été 2012. Mais la réduction de cette banquise de mer, flottante, est sans incidence sur le niveau de l'océan. (comme un glaçon dans un verre d'eau).

On ne distingue pas, par contre, sur l'image la fonte côtière de la calotte polaire qui recouvre le Groenland, ni les icebergs qui s'en détachent.

Cette fonte côtière est de fait compensée par un enneigement plus important dans les régions centrales et le

bilan global est longtemps resté incertain.

Les calottes polaires sont de très grands glaciers posés sur les terres polaires. La structure et l'évolution de ces calottes sont observées par satellites et analysées depuis 1992. La connaissance de ces glaciers a beaucoup progressé, mais leur dynamique est encore mal comprise.

On sait maintenant, après des années d'observation spatiales, que les calottes polaires commencent à diminuer et à grossir l'océan.

Ce « suintement », sur leur bordure, encore très modeste au regard de la masse énorme des glaciers polaires (plus de 10 m en hauteur de mer : 7 m pour le Groenland ; 3 à 4 m pour le pôle antarctique ouest), peut-il s'accélérer, voire amorcer le décrochage d'icebergs géants, c'est une question majeure à laquelle il est encore bien difficile de répondre.

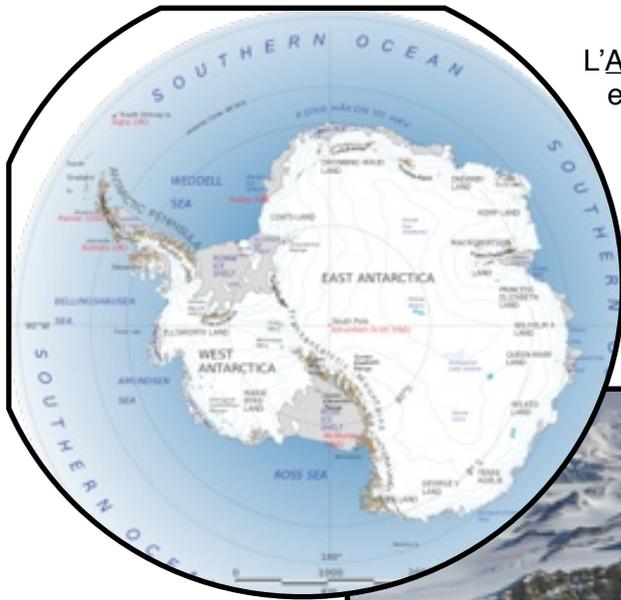
Une fonte plus globale, par contre, si elle se confirmait, pourrait avoir un impact considérable sur le niveau des océans et la configuration des rivages côtiers, au vu de la masse énorme de glace qu'elles contiennent.

La communauté scientifique s'est montrée très réservée jusque récemment, mais commence à revoir sa position au vu des acquis récents : le Groupe d'experts du Giec a fourni une première estimation dans son dernier rapport (2013) et s'en est expliqué.

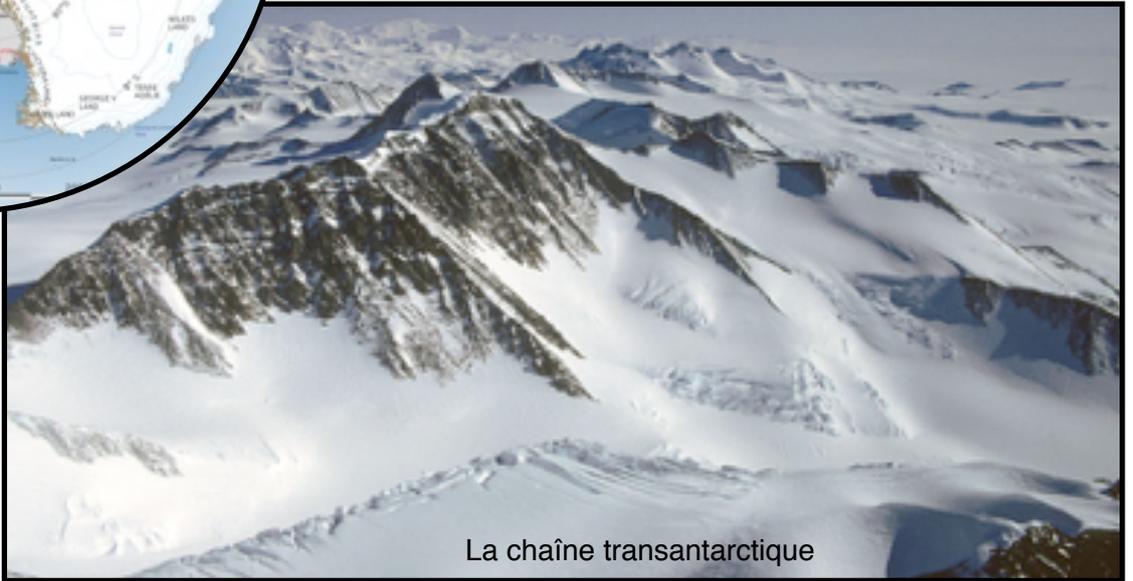
Notre connaissance actuelle des pôles

L'Arctique est un océan bordé de continents. Ses fonds marins plongent à 1200m en moyenne et localement jusqu'à 5520m.

L'océan arctique est en grande partie recouvert d'une banquise dérivante d'épaisseur moyenne de 1 à 3 m, réfléchissante à plus de 80% (albedo > 0.8). La banquise arctique et la calotte du Groenland occupent des superficies égales à 7 et 1,7 millions de km².



L'Antarctique est un continent entouré d'océans. Il est presque entièrement recouvert par une imposante calotte polaire ou "inlandsis" qui occupe une superficie totale de 14 millions de km² et est composée de deux calottes bien distinctes, à la fois en taille et en épaisseur : la "calotte occidentale", la plus petite et la moins élevée (3 millions de km² avec une altitude moyenne de 1300m) et la "calotte orientale", plus vaste et plus épaisse (11 millions de km² pour une altitude moyenne de 2200m). Ces deux calottes sont séparées par la chaîne



La chaîne transantarctique

transantarctique

Dans l'ouest de l'Antarctique, la topographie du terrain est très particulière, car le socle rocheux sur lequel reposent les glaciers est en dessous du niveau de la mer. De plus, sa pente va de la mer vers l'intérieur de l'Antarctique.

Phénomènes observés

Dans les régions côtières du Groenland, c'est la fonte qui prédomine avec l'écoulement des glaciers vers l'Océan.

Dans l'Antarctique, plus froid, le bilan de masse est conditionné par le vêlage (ou décrochement) d'icebergs par rupture mécanique, au débouché des fleuves de glace ou des plates-formes de glace flottantes sur l'océan.

La calotte de l'Antarctique de l'Ouest est en outre potentiellement instable du fait de la position de sa base sous le niveau marin actuel et de la morphologie de la pente du substratum, généralement dirigée vers l'intérieur de la calotte (son volume représentant environ 3 m de niveau marin mondial). Des courants sous-marins, plus chauds, viennent grignoter par en dessous les glaciers qui, de ce fait, s'affinent. En conséquence, des icebergs se décrochent et s'éloignent de la zone.

Surveillance des océans

_____ Cette surveillance depuis l'espace et in situ porte sur les multiples caractéristiques de l'océan, de sa circulation et des variabilités observées.

Expansion et mobilité de l'océan

Il a fallu attendre la mission spatiale d'altimétrie franco-américaine Topex-Poséidon, lancée en août 1992, pour atteindre le niveau de performance requis pour l'étude de la dynamique océanique et la mesure des variations du niveau global moyen de la mer.

Les satellites altimétriques de très haute précision Topex/Poseidon (1993-2006), Jason-1 (2001), Jason-2 (2008), Jason-3 (2015) mesurent ainsi, avec une précision remarquable, l'élévation actuelle du niveau de la mer qui se poursuit inexorablement au rythme de 3,5 millimètres par an en moyenne, mais pas de

manière uniforme. Au fil des différentes missions altimétriques, la précision de la détermination du niveau instantané de la surface de la mer est passée de quelques décimètres à 1-2 centimètres.

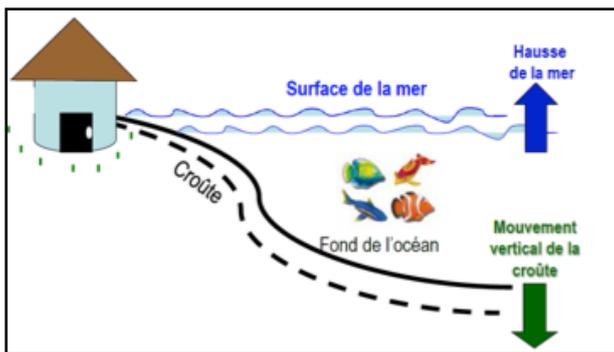
Le projet Argo, initié en 2000 avec un réseau de 3000 flotteurs profilants in situ fournit des données de température et de salinité de l'océan jusqu'à -2000 m de profondeur, des paramètres-clés pour comprendre la dynamique de l'océan, sa circulation et son expansion. Pour évaluer aussi l'incidence sur ces paramètres de l'apport en eau douce et glacée provenant de la fonte des glaciers.

Variabilité régionale, gravité terrestre et subsidence du sol

Les observations par satellite révèlent une importante variabilité régionale de l'évolution du niveau de la mer, due en particulier aux effets de la gravité terrestre : Le champ de gravité terrestre n'est pas uniforme, mais varie subtilement par endroit en raison de la rotation de la planète et de la répartition inégale des masses (montagnes, fosses océaniques), principalement. C'est ainsi que l'on a observé que certaines zones du monde sont beaucoup plus vulnérables que d'autres, notamment la partie ouest du Pacifique où la mer a monté dix fois plus vite qu'en moyenne, d'environ 15 à 20 centimètres en dix ans. De même on prévoit une montée du niveau des mers inférieure à la moyenne dans l'hémisphère Sud et supérieure dans l'hémisphère Nord.

La mission spatiale GRACE, lancée en mars 2002, vise à mesurer les variations spatio-temporelles de la gravité terrestre.

La fonte des glaces affecte la gravité terrestre : la perte de masse des calottes glaciaires a déjà entraîné une diminution locale de la gravité (suffisante pour être relevée par GOCE, le satellite européen lancé en 2009).



La croûte terrestre, et donc le fond de la mer, réagit localement aux variations de charge qu'elle supporte et localement, ce qui compte c'est la variation TOTALE du niveau de la mer relativement à la côte. Cette variation est donc l'addition de la hausse moyenne globale, de la variabilité régionale ... et des mouvements verticaux de la croûte terrestre.

Même sur une échelle de temps de quelques décennies, les phénomènes à l'origine des mouvements verticaux sont nombreux : déformations sismiques dans les régions situées au frontières des plaques tectoniques, déformations associées aux éruptions volcaniques, subsidence des bassins sédimentaires, déformations du sol causées par des variations de charge de l'atmosphère, de la couverture neigeuse, de l'humidité des sols, subsidences d'origine anthropique causées par l'extraction de l'eau souterraine, du gaz et du pétrole, et, si la perte de masse des calottes glaciaires se poursuit, une lente remise en forme de la croûte terrestre sous les pôles devrait avoir lieu.

Variabilité temporelle et spatiale

L'interprétation des données mesurées tient compte aussi des variations saisonnières, des perturbations climatiques à grande échelle de l'océan et de phénomènes cycliques comme l'activité solaire.

La variabilité décennale naturelle est principalement liée à l'oscillation australe du bassin pacifique tropical avec des hausses de niveau pendant les événements **EI-Niño** et des baisses pendant les phases **La Niña**.

L'activité solaire et sa variabilité sont encore mal connus et sujets à controverse.

Jean Jouzel, académicien et vice-président du groupe scientifique du Giec, soulignait récemment (dans la revue Ciel&Espace de mai 2015), l'effet limité de cette variabilité sur le réchauffement climatique. Il est sans doute prudent d'attendre les conclusions du projet Cloud pour y voir plus clair.

Evolution du niveau de la mer

Il n'y a plus guère de doute que la hausse actuelle du niveau de la mer résulte du réchauffement de la planète. Ce phénomène explique environ 1/3 de la hausse du niveau de la mer mesurée par les satellites altimétriques depuis 20 ans. Les 2/3 restants résultent de la fonte des glaces continentales.

Evolution observée

Les calottes polaires de l'Antarctique et du Groenland ont un bilan total de masse négatif depuis une dizaine d'années. Si quelques régions élevées de l'intérieur des calottes, en particulier Antarctique, s'épaississent un peu par suite de précipitations neigeuses accrues, la perte de masse domine.

Celle-ci s'effectue dans les zones côtières du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest par écoulement très rapide de certains glaciers vers l'océan et décharge d'icebergs.

Projections dans le futur

Comme le soulignait **Hervé Le Treut** (directeur de l'Institut Pierre-Simon-Laplace) en 2007 « la recherche faite durant ces dernières décennies nous a révélé la complexité, encore largement incomprise, de la machine climatique. » Il en avait débattu publiquement au colloque de mars 2007 à l'Institut de France avec **Vincent Courtillot**, qui estimait prématurées les projections du Giec, car « on est encore loin d'avoir identifié avec assez de sûreté les moteurs des changements climatiques pour en prédire le devenir. »

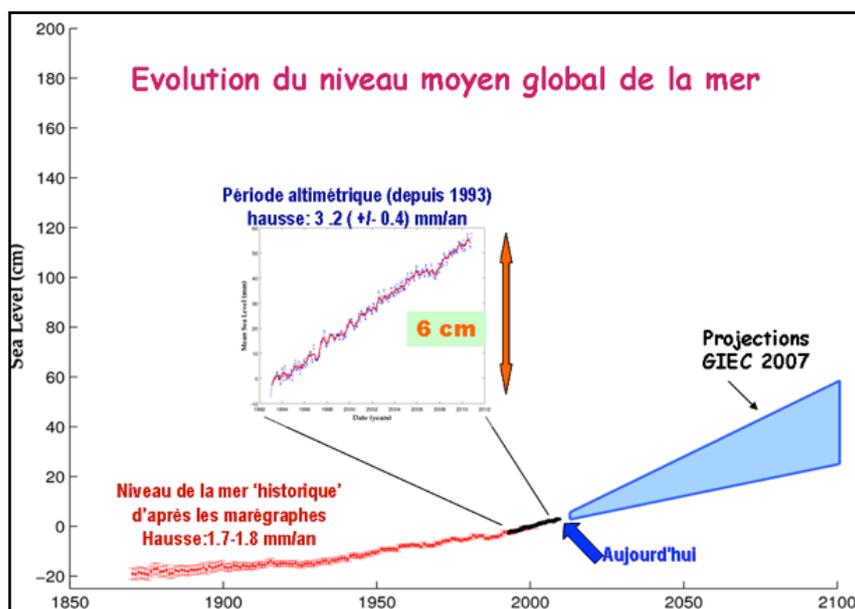
H. Le Treut, membre du Giec, avait tenu à préciser que « l'idée répandue que les modèles qui simulent le climat à l'échelle du XXI^e siècle ne font qu'étendre vers le futur les tendances climatiques du passé récent est fautive et a entraîné des discussions sur le rôle possible du Soleil dans l'évolution récente du climat, présenté comme une alternative au rôle du gaz à effet de serre. Ces débats sont « hors sujet » par rapport aux enjeux de l'évolution future du climat. Les « modèles » sont de fait des algorithmes informatiques destinés à recréer la complexité du monde réel. Ils reposent, non pas sur des outils statistiques extrapolant les données climatiques des dernières décennies, mais sur des lois fondamentales de la physique et de la mécanique. (pour plus d'informations voir références en annexe)

Impact de la fonte polaire sur le niveau des océans

Jusqu'au début des années 90, le bilan de masse des calottes polaires du Groenland et de l'Antarctique était resté quasiment inconnu. Depuis, diverses observations spatiales ont mesuré les variations de masse des deux calottes: l'interférométrie radar, la gravimétrie spatiale avec GRACE et bien sûr, l'altimétrie avec Topex-Poseidon puis Jason 1 et 2.

Une meilleure compréhension des phénomènes en cause et une forte réduction des incertitudes ont conduit à de premières interprétations significatives.

Le GIEC s'est longtemps abstenu de prendre position et jusqu'au 4^{ème} rapport (en 2007), cet effet probable n'était pas pris en compte.



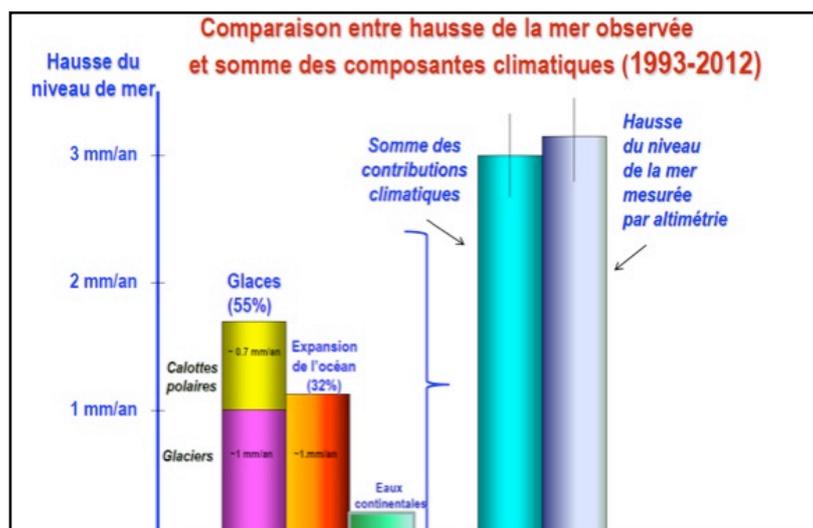
Le président du GIEC, Rajendra Pachaury, s'en était expliqué en mars 2008 dans les Dossiers de la Recherche et Jean-François Minster, directeur scientifique de Total et ancien président de l'IFREMER, avait confirmé son plein accord sur ces propos (*voir extrait en annexe*).

Une incertitude partiellement levée en 2013

C'est finalement en 2013, à l'occasion de son 5ème rapport, que le GIEC prend position, sous la plume d'**Anny Cazenave**, experte du LEGOS (Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiale) et mondialement reconnue. Ce rapport annonce une augmentation du niveau de la mer d'environ 0.7 mm/an (au rythme actuel) du seul fait de la fonte des calottes polaires, comme suit, dans le résumé à l'intention des décideurs :

« Depuis le début des années 1970, la somme de la perte de masse des glaciers et de l'expansion thermique des océans due au réchauffement expliquent environ 75 % de l'élévation du niveau moyen des mers (degré de confiance élevé). Sur la période 1993-2010, l'élévation du niveau moyen des mers est, avec un degré de confiance élevé, en accord avec la somme des contributions observées de l'expansion thermique océanique due au réchauffement (1,1 [0,8 à 1,4] mm an-1) et des changements affectant les glaciers (0,76 [0,39 à 1,13] mm an-1), la calotte du Groenland (0,33 [0,25 à 0,41] mm an-1), la calotte de l'Antarctique (0,27 [0,16 à 0,38] mm an-1) et le stockage d'eaux continentales (0,38 [0,26 à 0,49] mm an-1). La somme de ces contributions est de 2,8 [2,3 à 3,4] mm an-1; {13.3} »

Anny Cazenave s'en est expliquée lors de sa leçon inaugurale, le 21 mars 2013 au Collège de France, sur « La Terre et l'environnement observés depuis l'espace », puis plus en détail dans son cours n°4, intitulé « Océans, glaces, niveau de la mer et climat ».



Il est maintenant possible de distinguer dans la hausse globale observée du niveau de la mer, depuis le début des années 1990, les différents phénomènes contributifs, comme le montre le schéma ci-contre, où les contributions du Groenland et de l'Antarctique sont estimées ensemble comme suit :

(1993-2010) -> 0.7 +/- 0.2 mm/an
 (2003-2012) -> 0.8 +/- 0.15 mm/an

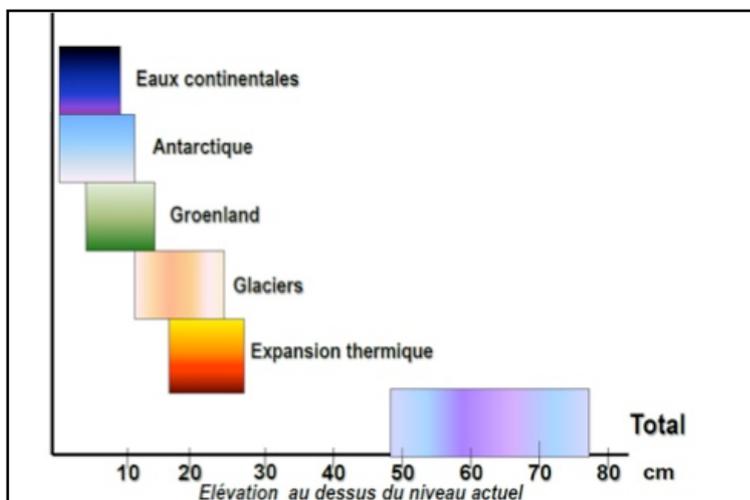
Pour le futur, les projections de hausse moyenne globale du niveau de la mer à l'horizon 2100, sont synthétisées sur le graphique suivant, avec les 5 principaux

facteurs contributifs.

Perspectives

L'exploration des calottes polaires en profondeur depuis l'espace a beaucoup progressé en quelques années, mais leur dynamique est encore mal comprise et on ne sait pas encore si les phénomènes observés vont s'atténuer ou au contraire s'emballer.

Cette énigme reste à résoudre dans les prochaines années. On saura mieux alors si le niveau des océans s'accroît et c'est peut-être le géologue qui, en scrutant la réaction des fonds marins, aura le dernier mot.



Références :

Débats académiques : <http://www.academie-sciences.fr/activite/conf/conf2007.htm>

H. Le Treut, Certitudes et incertitudes des modèles, revue Pour la Science, janvier 2007
Nouveau climat sur la terre, Flammarion, N.B.S., novembre 2009

V. Courtillot, Nouveau voyage au centre de la terre, Odile Jacob, septembre 2009

A. Cazenave, La Terre et l'environnement observés depuis l'espace :

- publication Collège de France/Fayard, coll. « Leçons inaugurales du Collège de France », 2013
(<http://www.college-de-france.fr/site/anny-cazenave/inaugural-lecture-2013-03-21-18h00.htm>)

- « Cours n°4_Glaces continentales, niveau de la mer et climat », Collège de France, 2013

CNES : <http://www.cnes.fr/web/CNES-fr/9468-st-missions-scientifiques.php>

Rapport 2013 du GIEC : résumé à l'intention des décideurs

(http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf)

Revue Ciel&Espace, n°540 (p. 22 à 29), mai 2015 : « Climat : la véritable part des astres »

(<http://magazines-gratuits.com/ciel-espace-540-mai-2015.html>)

Annexe : Entretien avec Rajendra Pachaury « Il faut changer notre mode de vie »

Les Dossiers de la Recherche, n°31 – mai 2008 (extrait)

« LA RECHERCHE. *Certains chercheurs jugent les rapports du GIEC trop conservateurs. La volonté d'atteindre un consensus ne conduit-elle pas à minimiser les risques ?*

RAJENDRA PACHAURY. *Soyons précis : la recherche d'un consensus ne concerne que le "résumé pour décideurs". Le reste du rapport détaille, quand il y a lieu, les points de vue contradictoires. Cela étant dit, nos procédures d'évaluation sont très encadrées : nous ne prenons en compte que la littérature revue par les pairs et nous portons la plus grande attention à l'équilibre des preuves.*

Nous ne changeons pas l'ensemble de nos analyses sur la foi de deux ou trois articles, fussent-ils excellents ! En ce qui concerne le niveau marin, il faut reconnaître que les résultats disponibles ne permettent pas de se faire une idée claire : des chercheurs annoncent l'effondrement des calottes glaciaires du Groenland ou de la péninsule Antarctique d'ici à quarante ou cinquante ans, alors que d'autres sont plus réservés. Sur ce point, nous avons clairement exprimé dans le rapport de synthèse que nous ne pouvions pas conclure. Certains regrettent que nous n'annoncions pas une hausse du niveau de la mer de 5 mètres d'ici à la fin du siècle. Je comprends qu'ils soient déçus, voire qu'ils nous trouvent conservateurs, mais nous avons la crédibilité du GIEC et un capital de respect à préserver. Il est possible que, sur la base de nouvelles preuves publiées dans la littérature scientifique, le cinquième rapport du GIEC dise des choses très différentes. Le quatrième rapport est déjà plus affirmatif que le précédent ; cette tendance risque de se poursuivre. »

Jean-François Minster, directeur scientifique de Total et ancien président de l'IFREMER, avait confirmé (en 2008) son plein accord sur ces propos :

« *Le commentaire de Pachaury traite bien de l'amplitude. Le réchauffement climatique était très probable, celui de l'océan également ; la dilatation thermique est donc très probable et c'est le calcul dilatation qui va de 20 à 60 cm (environ) selon les scénarios d'émission et l'incertitude des modèles. Pachaury parle d'un effet totalement différent, qui est celui de la fonte éventuelle des calottes polaires dont celle du Groenland. Il dit bien qu'on ne dispose que de peu de publications sur ce sujet, et que celles-ci sont plus récentes que le support bibliographique qui a servi de base au 4ème rapport. En outre, il faudrait préciser que, pour voir une tendance sur l'évolution des calottes polaires, il faudrait des données sur plusieurs décennies, ce que nous n'avons pas. De plus, les outils de simulation numérique nécessaires à la prévision d'évolution des calottes sont peu nombreux et encore assez schématiques. Vu l'importance du sujet, on peut imaginer que la connaissance sur ce sujet progresse au cours des prochaines années. Ayant travaillé plusieurs années sur ce point avec des élèves (Frédérique Rémy, par exemple, qui a écrit un titre appelé "histoire de la glaciologie" chez Vuibert). J'ai personnellement un doute quant à la possibilité que le sujet soit clarifié d'ici le prochain rapport du GIEC. »*

CONFERENCE SUR LES DRONES

Organisée par l'URISBA le 10 septembre 2015

« Les Drones par Fly Events Production et la Direction Générale de l'Aviation (DGAC) »
Quel enjeu pour les drones civils et de loisir ? Par Fabien BENEDE
(Fly Events Production et Bernard OBSER (DGAC).

1/ PREAMBULE

. Définition : le mot « drone » vient de l'anglais et signifie « faux bourdon ».

Le drone ou UAV en anglais (Unmanned Aerial Vehicle) est un aéronef sans passager et est télécommandé depuis le sol.

. Encore inconnus il y a quelques années, les drones sont désormais utilisés pour de multiples applications dans tous les secteurs de l'industrie, du bâtiment, de l'agriculture, des médias, etc. ... et ouvrent des perspectives inédites.

. Le grand public connaît surtout l'utilisation des drones dans le domaine militaire. Les principaux constructeurs sont aux Etats-Unis et en Israël.

L'un des drones militaires le plus connu est le « Predator » américain utilisé dans de nombreux conflits (longueur = 13.5 m – envergure = 22 m – altitude maxi = 15.000 m – vitesse maxi = 740 km/h – poids = 2,25 – rayon d'action = 1850 km – autonomie = 42 heures) c'est un drone de reconnaissance et de combat.

La France a acheté 12 drones américains pour 670 millions d'euros.

Dans le cadre d'un projet européen, un prototype, actuellement en cours d'essai, est développé par Dassault Aviation.

Mais les drones trouvent de plus en plus d'applications dans les domaines civil et loisir.



2/ FLY EVENTS PRODUCTION ET LES DRONES

F. BENEDE présente la société « Fly Events Production (FEP) » qui opère dans trois domaines d'activités : loisir, civil, professionnel. FEP n'est pas constructeur de drones mais exploitant. C'est un opérateur qui réalise essentiellement des prises de vue par drone (photos, films). Les appareils de prise de vue sont fixés sur des nacelles gyroscopiques stabilisées sur 3 axes.

2.1 Drones civils :

- . 1622 opérateurs pour 2850 drones utilisés (5% de constructeurs et 95% d'exploitants).
- . 2 principaux constructeurs allemands Quelques fabricants en Aquitaine (région de Pau et Bordeaux).
- . Coût d'un drone civil : entre 3.000 et 25.000 euros.

. Principales applications des drones civils :

- 83% des drones utilisés dans l'audio-visuel (médias, communications) = gros consommateurs : la télé (exemple de l'émission « des Racines et des Ailes », le cinéma, la presse).
- 17% des drones sont utilisés dans les domaines de l'industrie, l'énergie, les carrières, expertises, construction et bâtiment, architecture, archéologie.

Dans ces 17% d'utilisation, environ 200 applications dont les principales :

- Evènementiel,
- Mise en valeur du patrimoine,

Audits et diagnostics,
Agriculture, traitements (par exemple palmiers malades en Méditerranée),
Elimination de frelons asiatiques,
Surveillance des feux de forêts,
Surveillance des voies ferrées (30.000 kms de la SNCF),
Surveillance des lignes électriques (EDF),
Photogrammétrie (permet de faire une restitution en 3D avec assistance d'un géomètre :
ex. de l'analyse d'une parcelle de terrain destinée à la construction d'un lotissement).

2.2 Quelques applications « originales » dans le monde :

- Etats-Unis

. Utilisation par la police du Dakota du Nord de drones équipés de tasers (pistolets à impulsion électrique) lors de manifestations.

. Livraison de colis par drones : en projet, mais problème du trafic aérien très important (danger de collisions = 650 collisions évitées depuis le 1^{er} janvier 2015 aux Etats-Unis).

Nécessité de personnel important = 1 pilote par drone.

- Mexique

Livraison de drogue par drone par-dessus les frontières (!!! ..)

- Brésil

Drones de surveillance pour la Sécurité pendant la Coupe du Monde de football en 2014 et pour les Jeux Olympiques 2016 (par drones militaires = altitude 9.000 m pendant 80 heures).

- Suisse

Utilisation de drones « secouristes » pour secourir les victimes dans les endroits difficiles (incendies, montagne ...)

- Afrique

Surveillance et livraisons par drones, notamment livraisons de produits alimentaires dans des zones d'accès difficile (problèmes d'infrastructures routières).

- Chine

Utilisation de drone « anti-triche » lors d'un examen rassemblant des milliers de candidats dans un même lieu.

- Australie

. Surveillance d'animaux sauvages dans des zones inaccessibles,

. Utilisation de drones « bouées » par les maîtres-nageurs sur les plages (forts courants, fortes houles). Le drone lâche une bouée sur un baigneur en train de se noyer.

2.3 Drones de loisir

100.000 drones de loisir vendus en 2014.



Drones dérivés de l'aéromodélisme

Plusieurs types de drones :

. Mini drones (coût de 50 à 100 euros) : 8 à 12 mn d'autonomie, pas d'équipements caméra

. AR drones (coût de 300 à 350 euros) : 12 à 18 mn d'autonomie, équipé d'une caméra HD 720p.

. **Phantom** (coût de 400 à 1000 euros) : 12 à 20 mn d'autonomie, équipé d'une camera FHD et d'un appareil photos

. **HEX+** et **IRIS+** (coût de 600 à 1400 euros) : 14 à 20 mn d'autonomie. Drones synchronisés avec

logiciel de smartphone ou iPhone et qui, par ex. suit et filme un skieur lors de sa descente.

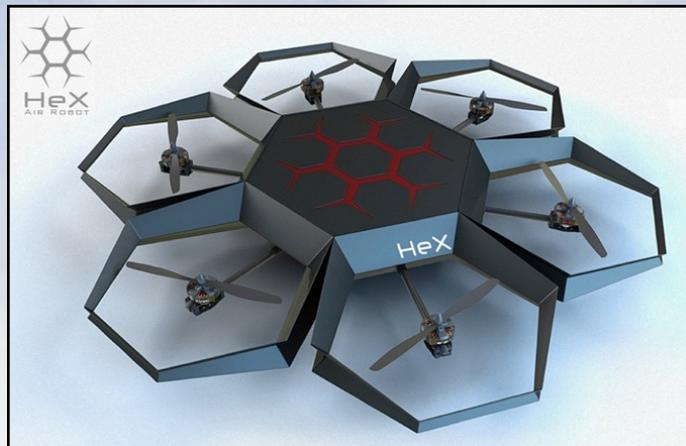
2.4 Marché du drone en France

. 100 millions d'euros en 2013 – 288 millions d'euros en 2015.

Prévision de 350 à 400 millions d'euros pour 2016.

Augmentation d'environ 70% par an.

Augmentation importante du nombre d'exploitants depuis 2102.



3/ DIRECTION GENERALE DE L'AVIATION CIVILE (DGAC) et LEGISLATION

B. OBSER présente la DGAC et spécialement la DSAC (Direction de la Sécurité de l'Aviation Civile). La DGAC est rattachée au Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie (MEDDE), chargé des Transports de la Mer et de la Pêche. La DSAC est garante de la sécurité et de la sûreté des transports aériens.

Avant avril 2012, pas de cadre réglementaire concernant l'utilisation des drones. Les autorisations étaient données « au cas par cas ». La réglementation française des aéronefs circulant sans personne à bord date du 11 avril 2012.

- Deux décrets :
 - une condition d'insertion dans l'espace aérien,
 - conception, conditions d'utilisation et capacité requises par les télépilotes.
- . Distinction entre vol de loisir et vol professionnel. Trois types d'activités :
- Aéromodélisme
 - Expérimentation (prototypes)
 - Activités particulières (telles agriculture, remorquage de banderoles ou publicités, relevés photographiques, opérations d'épandage, etc.).

. Drones de loisir (aéromodèles) : pas d'autorisation spéciale mais respect des règles de bonne conduite (pas de vol en zone urbaine, au-dessus d'une foule, dans la rue, éviter les zones sensibles de l'espace aérien = aéroports, aérodromes. Vols à moins de 150 m d'altitude, toujours dans le champ de vue du pilote).

. Utilisation à titre professionnel :

- La réglementation définit 4 types de scénarii (S1, S2, S3 et S4) : distance maxi de 100 m, rayon d'action de 1 kilomètre, hauteur inférieure à 50 m, hors vue directe, activités particulières = photos, surveillance aérienne, poids maxi).

Exigences pour les opérateurs de drones par type de scénario : dépôt manuel d'activité particulière (MAP), formation théorique (PPL, ULM), déclaration de niveau de compétence (DNC), prises de vues (respect de la vie privée).

. Evolution de la réglementation :

La modification de la réglementation en cours est prévue pour tenir compte de la réglementation européenne et de celles d'autres pays.

Cette réglementation précisera notamment la formation des télépilotes pour les drones civils et celle pour les drones de loisir. Un projet de loi 2015 est en cours d'élaboration.

J LAUQUE

Et si nous en parlions ... ?

Il n'est de jour qui ne s'écoule sans que la fièvre des médias de tous ordres ne s'épanche en propos alarmistes où les sceptiques ne trouvent plus leur place.

La COP21 est proche et l'échauffement des esprits rivalise avec celui du climat.

Point n'est question ici de polémiquer sur un sujet brûlant d'actualité, mais peut être faut-il nous remettre en mémoire quelques observations simples et faire preuve de bon sens .

Le problème est très complexe. Les données et mesures issues des observations sont multiples, sans doute incomplètes, variables dans le temps, difficiles à observer, à comparer, à en évaluer le rôle exact et en apprécier l'importance. Leur modélisation relève de l'imagination fertile des chercheurs soucieux de trouver la bonne martingale qui réponde au mieux des observations disponibles.

Mais quel phénomène désigne t'on en parlant d'effet de serre ?

Le soleil inonde notre planète bleue de sa belle lumière dont nos yeux ne distinguent qu'une partie, les ultra violets et infrarouges se dissimulant à nos regards. L'œil humain n'est sensible qu'aux rayonnements électromagnétiques de longueur d'onde comprise entre 0,4 et 0,7 microns environ, ce qui constitue précisément la lumière visible au maximum d'intensité du rayonnement solaire. Le spectre d'émission du Soleil est lié à la température qui règne à sa surface, proche de 5 900 K.

Et, ce soleil est inconstant, tantôt agité ,en proie a des secousses magnétiques qui s'expriment avec intensité tous les onze ans faisant barrage aux rayons cosmiques agressifs , tantôt calme et serein dispensant sa lumière jaune sur l'ensemble des planètes qui tournent autour de lui et dont la Terre fait partie .

Mais telle une danseuse, notre planète est capricieuse , modifiant son parcours (excentricité de son orbite), vrillant autour de son axe de rotation (précession) et s'inclinant plus ou moins (obliquité) comme l'ont montré les travaux de l'astrophysicien **Milankovitch** (voir Lettre N° 31). Il en résulte que des périodes chaudes alternent avec des périodes glaciaires et que le niveau des mers joue au yoyo tout au long de l'histoire de la Terre.

Mais le soleil est toujours là et nous inonde de sa lumière.

Une partie de cette lumière est réfléchiée par la couverture nuageuse de la haute atmosphère. C'est ce que l'on nomme le phénomène d'albédo. Il prend parfois tant d'importance que la lumière du soleil a du mal a toucher la Terre.

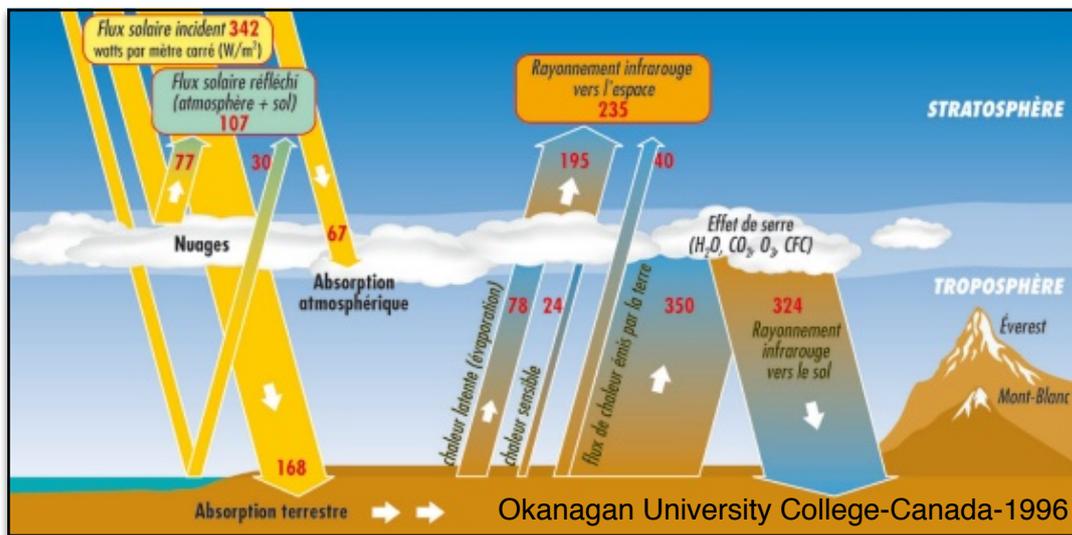
Une petite partie augmente la température de cette même atmosphère, une partie est réfléchiée par les glaciers et la neige des régions polaires,mais la plus grande part de cette lumière (près de la moitié) atteint la Terre et la réchauffe. Et c'est fort heureux pour le monde du vivant car la température globale, moyenne , annuelle, voisine les +15 °C.

Et notre Terre s'échauffe.

En physique on sait qu'un objet chauffé commence à émettre un rayonnement visible qu'au-dessus d'une certaine température. Tous les corps rayonnent et la Terre en fait de même. Et la composition du rayonnement émis varie avec la température .On observe que la couleur de la lumière émise passe du rouge au jaune à mesure que la température de l'objet s'élève. Cette observation permet aux forgerons de façonner le fer.

À l'inverse, quand un objet se refroidit, l'émission lumineuse cesse mais le rayonnement persiste dans l'infrarouge, invisible pour nos yeux.

Chaque nuit, la Terre renvoie donc sa chaleur vers le ciel mais , hélas, plusieurs substances dont la vapeur d'eau, le gaz carbonique, le méthane ...etc.. présents dans l'atmosphère constituent autant de barrières infranchissables pour ces infrarouges, lesquels ne trouvent d'autre solution que de rebrousser chemin , réchauffant le sol, les mers , les océans ...et... l'atmosphère.



Ce phénomène est bien connu des jardiniers qui utilisent comme barrière aux infrarouges un film plastique ou une vitre formant un abri transparent que l'on nomme serre. La chaleur est ainsi piégée par ces vitrages qui, comme l'atmosphère, laissent passer la lumière visible mais empêchent la sortie du rayonnement infrarouge émis de l'intérieur de la serre. **C'est « l'effet de serre. »**

Examinons de plus près l'importance de ces substances capables d'arrêter les infrarouges.

L'atmosphère est formée à 78 % d'Azote (N₂) et 21% d'Oxygène (O₂). Ces molécules diatomiques n'absorbent pas le rayonnement infrarouge. Par contre les « gaz à effet de serre », sont dotés de trois atomes ou plus, qui absorbent le rayonnement infrarouge.

Ils comprennent : la vapeur d'eau (H₂O), le gaz carbonique ou dioxyde de carbone (CO₂), l'ozone (O₃), le méthane (CH₄) et quelques autres gaz (oxydes d'azote, CFC, etc.). Les gaz à effet de serre sont présents en quantité infime et représentent moins de 1 % des gaz dans l'atmosphère terrestre.

La vapeur d'eau fournit la plus grande contribution à l'effet de serre. Elle est près de 27 fois plus abondante que son suivant immédiat, le dioxyde de carbone avec un pouvoir d'adsorption des infrarouges 8 fois supérieur. Mais l'augmentation du CO₂ perturbe l'équilibre radiatif de la Terre et entraîne une augmentation de la température renforcée par la rétroaction positive de la vapeur d'eau.

En résumé, l'activité de l'homme ne « crée » pas l'effet de serre qui existe déjà naturellement, mais elle l'augmente en concentrant plus de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Et le CO₂ a un temps de résidence très long, de l'ordre de deux cents ans.

Certes, ce CO₂ rejeté par les activités humaines va donc amplifier l'effet de serre mais les dégâts induits seront, sans commune mesure, moindres que ceux engendrés par les pollutions de tous ordres: pollution de l'air par les aérosols, les suspensions de microparticules nocives, pollution des mers et des océans par les plastiques et leurs dérivés, pollution chimique de l'eau et des nappes phréatiques, rejets en mer de produits toxiques, déforestation outrancière, déchets nucléaires, enfouissement de nos poubelles, pollution des sols...

La croissance de ces problèmes est exponentielle et leur résolution demande la volonté et l'unité d'action de toutes les nations de la Terre. Y parviendrons-nous ?

Sans cela, **l'Anthropocène** marquera, sans nul doute, dans les sédiments actuels, son passage dans l'histoire de la Terre, comme la couche à iridium a marqué la collision d'une météorite sur la cote du Yucatan (Mexique) au passage Crétacé -Tertiaire il y a 65 millions d'années entraînant une grande extinction de masse du vivant et la disparition des Dinosaures.

