

de chacun(e). La testostérone n'est d'ailleurs pas la « molécule de l'athlétisme ». En atteste le fait que les femmes dont les tissus musculaires sont peu sensibles à la testostérone sont actuellement surreprésentées chez les athlètes de haut niveau.

Enfin, ce nouveau règlement manque de transparence. Quels types d'expertises et de preuves sont mis en place ? Et quelles seront les concentrations d'androgènes limites à ne pas dépasser pour une femme ? En outre, a-t-on jamais envisagé qu'un homme qui produirait « trop » de testostérone, ou plus que ses concurrents, soit interdit de compétition tant qu'il n'a pas suivi un traitement visant à ramener sa production à un niveau moyen acceptable ? Dès lors, pour quoi la concentration hormonale naturelle de certaines athlètes féminines devrait-elle être artificiellement diminuée ?

Pour légitimer ces nouvelles réglementations, les dirigeants sportifs se cachent depuis longtemps derrière l'argument de la protection de la santé des athlètes féminines. Or les traitements prévus afin de réguler les concentrations hormonales des athlètes féminines peuvent avoir des conséquences néfastes pour la santé des athlètes, tels maux de tête, fatigue et nausées...

Ainsi, au-delà d'un certain seuil, la sécrétion de testostérone des organismes féminins bouscule l'ordre sexué historiquement et médicalement défini. Certes, la prise de testostérone (dopage) par les athlètes menace l'équité essentielle à la logique de la compétition. Mais les athlètes peuvent parfois produire plus de testostérone que la moyenne, et bénéficier en conséquence d'une supériorité physique ; cette « inégalité » n'est-elle pas aussi « naturelle », par exemple, que

le rythme cardiaque plus lent de bien des coureurs d'exception ou que la faible production d'acide lactique de certains nageurs ? Il existe des avantages et des inconvénients innés que le classement par sexe, taille, âge, etc., ne suffit pas à niveler. Au nom de quoi pénaliser une différence « naturelle » et pas l'autre ? Toutes ces interrogations semblent oublier que l'égalité génétique n'existe pas.

Anaïs BOHUON est maître de conférences à l'UFR STAPS de l'Université Paris-Sud 11.

A. Bohuon, *Le test de féminité dans les compétitions sportives : une histoire classée X ?*, Éditions iXe, 2012.
K. Karkazis et al., *Out of bounds ? A critique of the new policies on hyperandrogenism in elite female athletes*, *The Am. J. of Bioethics*, vol. 12, n° 7, pp. 3-16, 2012.



Réagissez en direct à cet article sur www.pourlascience.fr

DÉVELOPPEMENT DURABLE

Barrages : ces petits qui protègent les grands

La construction de petits barrages permet de créer de multiples oasis artificielles dans les régions arides, et limite l'envasement des grands barrages en aval.

Jean ALBERGEL

Barrage des Trois-Gorges, en Chine, sur le fleuve Yangtse : 185 mètres de hauteur, 2,3 kilomètres de longueur, réservoir d'eau de 39,3 milliards de mètres cubes. Barrage d'Itaipu, entre le Brésil et le Paraguay, sur la rivière Paraná : 196 mètres de hauteur, 7,9 kilomètres de longueur, réservoir de 29 milliards de mètres cubes ; sa construction a nécessité une quantité de fer et d'acier 380 fois supérieure à celle de la tour Eiffel. L'heure serait-elle au gigantisme pour les ouvrages hydrauliques ?

En partie seulement. À côté de ces géants se développent de « petits barrages », c'est-à-dire des barrages dont la hauteur de digue est inférieure à 15 mètres, selon la classi-

fication de la Commission internationale des grands barrages. Dotés d'un réservoir de quelques dizaines de milliers à un million de mètres cubes, ils sont un élément clef de l'aménagement des cours d'eau.

Les petits barrages sont utilisés depuis l'Antiquité. Les Égyptiens en auraient construit dès le III^e millénaire avant notre ère. En Syrie, un barrage édifié sous le règne de Sethi 1^{er} (1319-1304 avant notre ère) est toujours en service ; haut de six mètres et long de 2 000 mètres, il est situé près de Homs, sur l'oued Nahr El Asi (les oueds sont des cours d'eau très irréguliers, alternant entre crues et assèchement). Nombre de ces ouvrages ont été bâtis par les civilisations mésopotamienne, chi-

noise, romaine... Plus récemment, ils se sont multipliés en Europe et dans le reste du monde, respectivement au début et dans la seconde moitié du XX^e siècle. On en compte aujourd'hui plus de 700 000.

Les petits barrages créent de multiples oasis artificielles, réparties sur le territoire et précieuses sous des climats arides ou semi-arides. Depuis les années 1970, les pays d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient se sont lancés dans de grands programmes de construction de ces barrages. En Tunisie, par exemple, plus d'un millier d'entre eux ont été réalisés dans les années 1990. Leur construction est relativement bon marché : de l'ordre de 500 000 euros, parfois moins (en comparaison, le barrage des Trois-Gorges



UNE COLLECTION D'ENTRETIENS AUDIO ORIGINAUX À TÉLÉCHARGER



EINSTEIN ET LES RÉVOLUTIONS QUANTIQUES
La révolution quantique du début du 20^e siècle se prolonge de nos jours avec une deuxième révolution qui repose sur le concept étrange d'entrelacement.
Alain Aspect, Professeur à l'Institut d'Optique et membre de l'Académie des sciences.
MP3 - 75 minutes **9,90€**



LE CERVEAU
Une exploration détaillée et fascinante de l'organe le plus complexe du corps humain par un des plus grands neurologues français.
Yves Agid, Neurologue, membre de l'Académie des sciences.
MP3 - 57 minutes **9,90€**

TÉLÉCHARGEZ LES NOUVEAUTÉS DE LA RUBRIQUE SCIENCES SUR DEVIVEVOIX.FR

SCIENCES & MUSIQUES D'AVANT-GARDE



QUADRIVUM RADIO

Découvrez le programme de podcasts de la webradio Quadrivum en partenariat avec le magazine Pour la Science. Pénétrez dans les plus grands laboratoires pour écouter la parole des chercheurs.

- Biologie**
Nicolas Gompel
Institut de biologie au développement de Marseille Luminy
L'expression des gènes dans le cadre de l'évolution
- Physique**
Stéphane Mazouffre
Laboratoire laser à Orléans
Au cœur d'un propulseur à plasma
- Physique**
Simone Speziale
Centre de physique théorique de Luminy
Gravité quantique
- Biologie**
Jonathan Ewbank
Centre d'immunologie de Marseille-Luminy
Immunologie

www.quadrivumradio.com

a coûté près de 20 milliards d'euros). Cela s'explique par leur petite taille et par leur conception simple : en terre ou en béton, ils sont équipés d'un déversoir rustique, parfois d'une vanne de fond.

Leurs réserves d'eau servent à l'irrigation, la pêche, la recharge des nappes phréatiques (l'eau s'infiltre en partie dans le sol) et au bétail. Elles constituent aussi des refuges pour de nombreuses espèces végétales et animales, notamment d'oiseaux. Des centres de loisir se développent parfois autour des lacs créés. En revanche, les petits barrages sont souvent peu adaptés à la production d'électricité, qui nécessite une forte pente en raison du faible volume d'eau s'écoulant par le déversoir.

Certains d'entre eux sont utilisés pour l'approvisionnement en eau potable. L'eau doit être traitée et sa qualité contrôlée. En effet, la pollution et la prolifération de cyanobactéries, communes dans ce type d'environnement, sont nocives : au Brésil, une telle prolifération a entraîné la mort de 75 personnes en 1996. En outre, les réservoirs favorisent parfois la transmission de maladies, en abritant de nombreux insectes vecteurs.

Les impacts négatifs des petits barrages, sur les plans environnemental et social, sont bien inférieurs à ceux des grands, qui nécessitent le déplacement de populations. Leur principal inconvénient est le risque d'inondation qu'ils font courir aux territoires situés en aval. En effet, les digues se rompent bien plus souvent que celles des grands barrages, car les contraintes maximales imposées par les normes de sécurité sont moins exigeantes : par exemple, les petits barrages sont dimensionnés pour résister aux crues décennales ou cinquantennales, tandis qu'un grand supporte les plus grandes crues décamillénaires (survenant en moyenne tous les dix mille ans). En moyenne, quelques dizaines de petits barrages s'effondrent dans le monde chaque année. Des inondations importantes peuvent en résulter, notamment si une série de petits barrages subit des ruptures de digue en cascade.

Notons que même si les impacts et le coût des petits barrages sont limités,

nombre d'experts dénoncent un manque de rigueur fréquent dans leur construction. Les coûts sont ainsi sous-évalués, les impacts environnementaux et sociaux mal cernés, les paramètres hydrologiques calculés avec une précision insuffisante...

Techniquement, ce sont les sites de construction et le débit du cours d'eau qui imposent les dimensions d'un barrage, mais

L'ENVASEMENT DES RÉSERVOIRS des barrages causerait la perte de un pour cent du volume d'eau disponible dans le monde par an.

on peut choisir entre plusieurs petits et un plus grand en choisissant correctement les sites. En bref, faut-il privilégier les grands ou les petits barrages ? Ils sont complémentaires. Les petits barrages préservent de l'envasement les réservoirs des grands, en retenant les sédiments. Les sites où un grand barrage est protégé par plusieurs petits en amont sont assez fréquents. C'est le cas par exemple pour le plus grand barrage du Maroc, celui d'Al Wahda, d'une hauteur de 88 mètres.

Toutes catégories de barrages confondues, l'envasement des réservoirs causerait la perte de un pour cent du volume d'eau disponible dans le monde chaque année. Récupérer cette quantité d'eau d'une autre façon – par exemple en dessalant de l'eau de mer et en l'acheminant par des camions citernes – coûterait quelque 130 milliards d'euros. Bien sûr, les petits barrages sont aussi victimes de l'envasement, mais lorsque leur réservoir est comblé, il suffit de les abandonner et d'en construire d'autres un peu plus loin – une méthode difficilement envisageable pour un barrage géant tel celui des Trois-Gorges !

Jean ALBERGEL est chercheur à l'Institut pour la recherche et le développement (IRD). Collectif, *L'eau au cœur de la science*, IRD éditions, 2012.

J. Albergel et al., *Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval*, Science et changements planétaires / Sécheresse, vol. 15, n° 1, pp. 78-86, 2004.

Solidarité

Engagement

Proximité

Confiance



casden



BANQUE POPULAIRE

Humaine et contemporaine
notre identité reflète
nos valeurs

VRAI OU FAUX

Un événement cosmique survenu il y a 10 milliards d'années est-il à 10 milliards d'années-lumière ?

Non. Entre le moment où l'événement cosmique s'est produit et le moment où sa lumière arrive sur Terre, les longueurs ont augmenté du fait de l'expansion de l'Univers. Le lieu d'émission s'est donc éloigné.

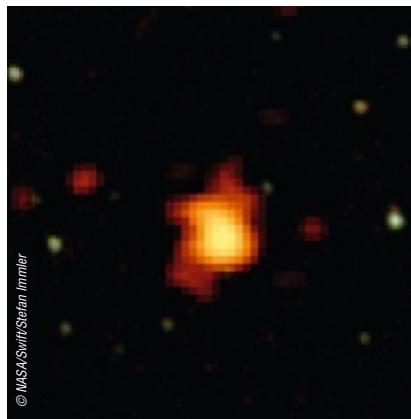
Alain RIAZUELO

Regarder loin, c'est regarder dans le passé : cette phrase, bien connue des astronomes, signifie que le rayonnement d'un objet lointain ne nous parvient pas instantanément. Dès lors, la lumière que l'on reçoit a été émise il y a un certain temps et nous renseigne sur l'état passé de l'objet observé. Examinons le lien entre l'ancienneté d'un événement, en années, et son éloignement, en années-lumière (rapelons qu'une année-lumière est la distance parcourue par la lumière en une année, à raison de 300 000 kilomètres par seconde).

Dans un Univers en expansion, toutes les distances augmentent, à l'instar des distances séparant des taches sur un ballon que l'on gonfle. C'est aussi vrai pour les longueurs d'onde. Depuis les années 1990, on sait que l'expansion accélère. Pour l'expliquer, on a postulé l'existence d'une « énergie sombre », dont on ignore la nature et qui emplirait l'Univers.

Comment estime-t-on l'âge et l'éloignement d'un événement cosmologique observé aujourd'hui ? Prenons l'exemple du sursaut gamma GRB 080916C (les sursauts gamma sont de soudaines bouffées de rayons gamma, causées par exemple par la mort violente d'une étoile massive, et qui durent d'une fraction de seconde à quelques minutes). On connaît les longueurs d'onde du rayonnement émis. On mesure alors le décalage vers le rouge de la lumière reçue (le *redshift*, noté *z*),

c'est-à-dire l'allongement de la longueur d'onde. On en déduit dans quelle mesure les distances se sont étirées entre l'époque du sursaut gamma et son observation. Au moment du sursaut GRB 080916C, par



LE SURSAUT GAMMA GRB 080916C est survenu il y a 12,2 milliards d'années. Aujourd'hui, l'endroit où il s'est produit est éloigné de 24,37 milliards d'années-lumière.

exemple, les distances étaient 5,25 fois plus petites qu'aujourd'hui.

On connaît par ailleurs l'histoire de l'expansion de l'Univers, principalement grâce à l'étude du fond diffus cosmologique (un rayonnement micro-onde observé dans toutes les directions). On dispose ainsi de deux données : l'allongement des distances depuis le sursaut gamma (grâce au décalage vers le rouge) et la fonction décrivant l'allongement des distances au cours du

temps. On en déduit l'époque d'émission du rayonnement observé. Ainsi, le sursaut gamma GRB 080916C s'est produit il y a 12,2 milliards d'années, quand l'Univers était âgé de 1,45 milliard d'années. À cette époque, notre Galaxie n'existait pas encore.

Or l'« éloignement temporel » est souvent converti de façon abusive en distance, par simple multiplication de cette valeur par celle de la vitesse de la lumière. En d'autres termes, l'ancienneté, exprimée en milliards d'années, est transformée en distance, exprimée en milliards d'années-lumière, soit 12,2 milliards d'années-lumière dans notre exemple...

Pourtant, du fait de l'expansion de l'Univers, les distances ont considérablement augmenté entre l'époque du sursaut gamma et aujourd'hui. Si la lumière a effectivement parcouru 12,2 milliards d'années-lumière depuis son émission, ce chiffre ne correspond ni à la distance (inférieure) qui séparerait alors le lieu du sursaut de celui où naîtrait plus tard notre Galaxie, ni à la distance (supérieure) qui sépare aujourd'hui le lieu du sursaut de notre Galaxie. Les calculs indiquent que ces deux distances sont respectivement de 4,65 et 24,37 milliards d'années-lumière. Chacune de ces trois distances (4,65, 12,2 et 24,37 milliards d'années-lumière) est exacte, pourvu que l'on précise ce qu'elle représente. ■

Alain RIAZUELO est astrophysicien à l'Institut d'astrophysique de Paris.

Chercheurs d'histoires englouties

Les flûtes de l'Empereur par Pierre Villié, page 20 • **La pinque provençale redécouverte** par Pierre Villié, page 26
• **L'énigmatique Carron Wreck** par François Gendron, Simon Spooner et Florence Prudhomme, page 34



L'ère moderne, c'est-à-dire la période allant de 1492 à 1789, a eu sa marine, qui était à voile. L'archéologie subaquatique de cette marine commence sans doute en 1836, quand deux Britanniques, les frères Deane, explorent l'épave du *Mary Rose*, naufragé en 1545. Ils la dessinent et exposent quelques canons. Leur objectif est cependant avant tout de démontrer l'efficacité de leur technique de récupération du matériel perdu en mer. Quatre ans plus tard, Augustin Sale fait paraître le premier ouvrage traitant d'archéologie navale, mais en se fondant sur l'iconographie et les textes anciens. Cette démarche suscite l'intérêt des érudits et des chercheurs, qui vont ensuite rechercher en situation des éléments archéologiques. Puis, avec l'invention du scaphandre autonome, les fouilles se multiplient, mais se résument souvent à une destructive chasse au trésor : on ne plonge pas encore pour le bois, c'est-à-dire pour restituer les architectures et les techniques navales du passé !

Tout a changé aujourd'hui, puisque les plongeurs sont devenus de véritables archéologues ou les archéologues des plongeurs. Ainsi, Pierre Villié et ses col-

lègues plongent depuis 30 ans pour découvrir des épaves anciennes et restituer ensuite leur forme originelle. Loin de s'intéresser seulement aux fortes-resses flottantes, ils se sont aussi penchés sur les chasse-marée et autres navires de transport sans prestige, mais qui assuraient le commerce et l'intendance. Humbles navires, ces pinques méditerranéennes et autres flûtes militaires françaises ont été très peu représentées, alors qu'elles ont sillonné de très nombreuses mers. Après avoir retrouvé et fouillé certains de ces navires, P. Villié a patiemment établi leurs plans, et pu ainsi restituer les savoir-faire que se transmettaient les charpentiers de marine de génération en génération.

Quant à François Gendron, Simon Spooner et Florence Prudhomme, ils cherchent avant tout à restituer la vocation des navires. Malgré leur expérience, l'identité d'un navire retrouvé près d'une plage de la République dominicaine les a longtemps déconcertés : dotée d'une coque américaine et de canons écossais, il était équipé de matériel militaire français... La fouille des archives leur a heureusement livré son histoire, achevée par le combat mené par un équipage français qui, plutôt que de livrer des secrets à l'ennemi anglais, a détruit son navire.