

2050, rendez-vous énergétique

La prospective énergétique est un exercice délicat et controversé. Le passé trace la tendance, l'avenir pose la question des ressources et des choix technologiques, économiques et environnementaux.

Adolphe Nicolas,
professeur émérite
(laboratoire de
tectonophysique,
université de
Montpellier-II) est
physicien et géologue.
adolphe.
nicolas@gm.
univ-montp2.fr

Dans la mythologie grecque, Prométhée volait le Feu de Zeus pour le donner aux hommes. La première « révolution prométhéenne » avait sonné. Puis est arrivée la deuxième, celle où l'homme a appris à transformer la chaleur en travail mécanique. Il a utilisé le bois, puis les combustibles fossiles : charbon, pétrole et gaz naturel. Le charbon a été l'un des acteurs majeurs de la révolution industrielle du XIX^e siècle. Quant au pétrole et au gaz naturel, ils sont les supports de l'extraordinaire croissance depuis le début du XX^e siècle. La troisième révolution prométhéenne sera-t-elle celle du déclin annoncé des combustibles fossiles d'ici à 2050 (fig. 1)?

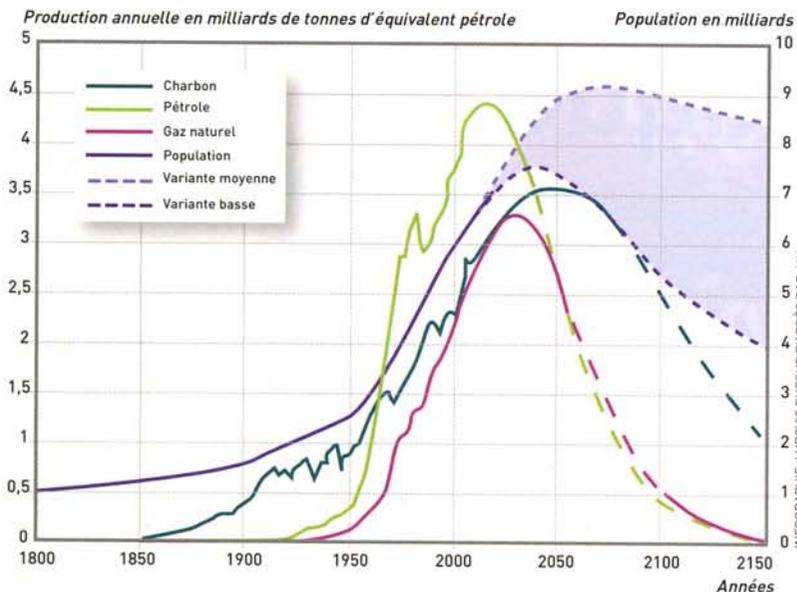
D'après nos estimations, notre planète, au fil des temps géologiques, aurait accumulé la masse, énorme, d'environ 10 000 gigatonnes de carbone (GtC ou milliards de tonnes de carbone) sous forme de charbon, de pétrole et de gaz naturel. Environ 3 000 à 5 000 GtC pourraient être exploités au cours des deux cents à trois cents prochaines années (1, 2).

Autrement dit, la ressource ne manque pas. Certes, mais pour combien de temps encore ? L'extraordinaire croissance que nous connaissons, depuis le début de l'ère industrielle, résulte d'une débauche énergétique. En cent cinquante ans, nous avons ainsi multiplié par un facteur 100 voire 1 000 la quantité d'énergie ►

EXTRAIRE TOUJOURS PLUS DE PÉTROLE. MAIS À QUEL PRIX ? L'EXPLOITATION DES SABLES BITUMINEUX D'ALBERTA (CANADA) EST UNE CATASTROPHE ÉCOLOGIQUE.



FIG. 1 Ressources fossiles : des productions bientôt en chute libre



Les pics de production sont prévus vers 2010 pour le pétrole, 2030 pour le gaz, 2050 pour le charbon, en même temps que l'amorce de la décroissance démographique.

- (1) A. Nicolas, *2050-Rendez-vous à risques*, Belin, 2004.
- (2) H. Prévot, *Trop de pétrole*, Seuil, 2007.
- (3) J. Laherrère, *Uncertainty of Data and Forecasts for Fossil Fuels*, Univ. Castille-Manche, 2007.

à notre disposition. Et la demande continue de croître, portée par une augmentation annuelle de 2% de la production de pétrole (fig. 2). Peut-on continuer ainsi et, à la façon d'Aldous Huxley, récuser la notion de limites et envisager un développement indéfini, sans même tenir compte de l'avis des climatologues qui préconisent de ne pas exploiter plus de 1 000 à 2 000 GtC, sous peine de mettre notre survie en danger. Serait-ce, d'ailleurs, le meilleur des mondes? Imaginons que la croissance économique mondiale se poursuive au rythme actuel (de l'ordre de 4% par an) jusqu'en 2050. Pour une population supposée

d'un tiers supérieure à celle d'aujourd'hui, soit de 9 milliards d'individus, la demande d'énergie serait alors deux à trois fois plus élevée qu'actuellement, soit environ 25 milliards de tonnes d'équivalent pétrole (Gtep) au lieu de 10 Gtep, actuellement. C'est à la fois impossible et inacceptable. Impossible, car les ressources en eau, nourriture, énergie, ont des limites physiques. Inacceptable, parce que c'est une menace réelle pour notre environnement.

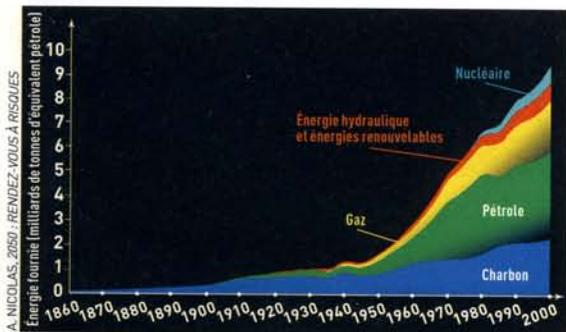
Les scénarios énergétiques ne peuvent donc pas être de simples projections s'infléchissant plus ou moins à partir du présent. Des ruptures, voulues ou subies, devront intervenir. Ces scénarios correspondent à un équilibre dynamique entre une offre plus ou moins flexible et délicate à évaluer, compte tenu du caractère stratégique des ressources énergétiques, et une demande fouettée par la croissance très rapide des pays en développement. Plusieurs organisations scientifiques, des experts ou des groupes d'experts (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, Conseil mondial de l'énergie...) voire des entreprises, comme Shell, se sont essayés à des scénarios énergétiques pour 2050, reflétant diverses compétences et obédiences (fig. 3). Ces scénarios proposent différents panachages d'énergie et privilégient plus ou moins l'efficacité énergétique. Pour la plupart, les combustibles fossiles restent dominants jusqu'en 2050.

Abondance ou maîtrise énergétique

Les scénarios se classent en deux catégories. D'un côté, ceux de l'abondance énergétique, hypothèse optimiste, avec une offre qui suit la demande. De l'autre, ceux de la maîtrise énergétique, librement voulue ou imposée par la pénurie de la ressource. Ces derniers assurent une satisfaction des besoins, mais dans un cadre plus contraignant, celui de la recherche des économies. La maîtrise de l'énergie

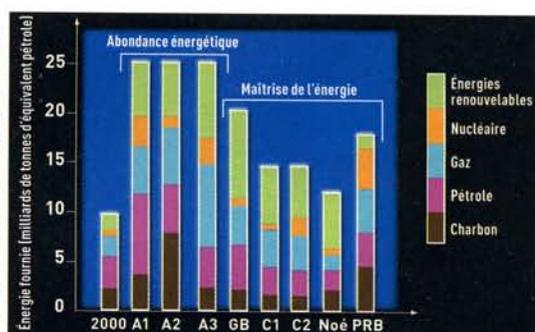
FIG. 2 Sources d'énergie : passé et présent

FIG. 3 Quelques scénarios énergétiques pour 2050



Jusqu'à-là, charbon puis pétrole et gaz ont supporté le développement industriel.

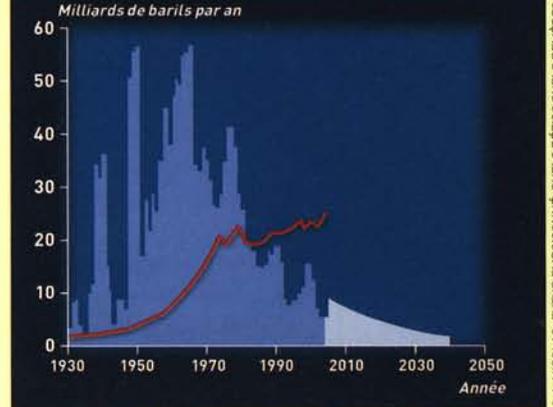
Les scénarios A1, A2, et A3 tablent sur l'abondance énergétique ; les scénarios GB, C1, C2 et Noé, sur la sobriété et la maîtrise énergétique. Seuls ces quatre derniers scénarios et le scénario PRB, limité à la France, semblent compatibles avec le développement durable.



Ressources, réserves et pénurie

Les ressources désignent la masse totale de la substance recherchée (pétrole, gaz, charbon...), estimée et, éventuellement, exploitable. Les réserves désignent la masse, quant à elle, bien identifiée techniquement et économiquement exploitable. À cette aune, un gisement riche ou pauvre est d'abord une entité financière, la question concernant son exploitation étant : « *Quel prix êtes-vous disposé à payer pour cette substance ?* » Ainsi, en cas de pénurie, une part de la ressource devient valorisable et se transforme en réserve. Dans certaines limites toutefois. Le charbon, par exemple, est jugé non productible à plus de 1 500 mètres de profondeur ou en *offshore*, quel que soit le prix. Autrement dit, la pénurie n'exprime pas le tarissement du combustible. Mais, elle se traduit par une augmentation substantielle de son prix, qui peut aller jusqu'à une crise. Il convient aussi de bien distinguer le pic des réserves de celui de la production. La production peut continuer à croître alors qu'on a dépassé le pic des réserves. Mais cela ne peut pas durer longtemps. La production chute ensuite rapidement, à moins que la demande ne diminue.

Découvertes et production de pétrole



La production (courbe rouge) continue de croître. Les puits découverts (en bleu) sont de plus en plus petits.

© A. NICOLAS, FUTUR EMPISONNÉ, QUELS DÉFIS? QUELS REMÈDES?

apparaît donc comme une nécessité, tant du point de vue énergétique, les ressources allant manquer, que climatique.

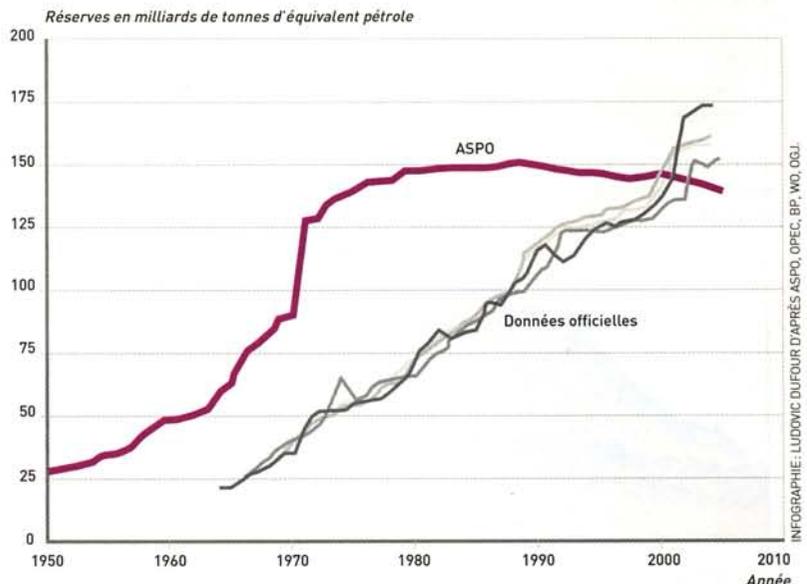
Les contraintes de la maîtrise de l'énergie étant acceptées, l'essentiel réside dans le panachage des énergies. Mais comment évaluer aussi correctement que possible l'offre énergétique globale (lire « Ressources, réserves et pénurie », ci-dessus)? Quel est l'état des réserves, d'abord des combustibles fossiles? Pour le pétrole, tout le monde s'accorde sur le déclin prochain de la production. Reste à savoir quand ce fameux *Peak Oil*, pic de production de pétrole, aura lieu. Dans trente ans et plus, comme l'annoncent régulièrement les sociétés pétrolières, ou dans cinq ans (lire « L'or noir manque déjà? », p 34)? Il est difficile de répondre, car aucun audit international sur les réserves pétrolières n'a eu lieu. Une expertise pourtant réclamée par les organismes internationaux concernés, comme l'Agence internationale de l'énergie. Or c'est un point essentiel, car, sans période d'adaptation, la crise consécutive au *Peak Oil* pourrait être très sévère.

Un peu, beaucoup, pas du tout ?

D'autant que le déclin des réserves de gaz naturel devrait suivre de près celui du pétrole. C'est en tout cas ce qu'affirme Jean Laherrère (3), ancien directeur des techniques d'exploitation du groupe Total : les estimations confidentielles des opérateurs montrent que les réserves diminuent depuis la fin des années 1980 (fig. 4), à l'inverse des estimations officielles qui, comme pour le pétrole, annoncent des réserves continûment croissantes. Il estime un « plateau des réserves » étalé entre 1980 et 2000, et

un pic de production du gaz vers 2030 (fig. 1). Et côté charbon, qu'en est-il des réserves? Cette ressource fossile se distingue à plus d'un titre des hydrocarbures : sa technique d'exploitation en mine est plus coûteuse que les forages pétroliers ou gaziers, son rendement énergétique est moindre, ses émissions en gaz carbonique supérieures et il est moins souple d'emploi. On comprend que les hydrocarbures l'aient progressivement supplanté dans le bouquet des différentes formes d'énergie (fig. 2). Néanmoins, ►

FIG. 4 Réserves de gaz naturel



Selon les données officielles (OPEC, BP, WO, OGJ), les réserves de gaz naturel continuent d'augmenter, pas selon l'Association for Study of Peak Oil (ASPO).

INFOGRAPHIE : LUDOVIC DUFOUR D'APRÈS ASPO, OPEC, BP, WO, OGJ

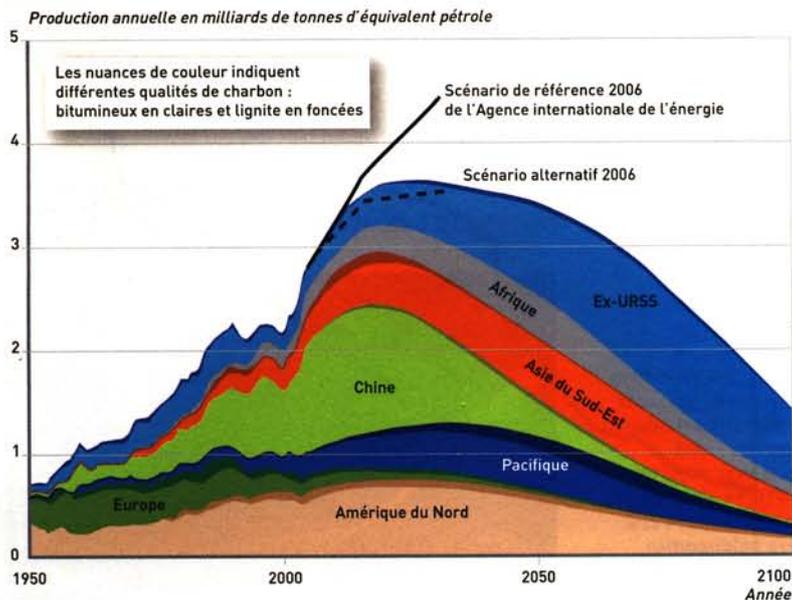
L'or noir manque déjà ?

Dans la mesure où les informations officielles ne sont absolument pas fiables (1, 7, 9), seules les analyses des experts indépendants, fondées sur des données objectives et traitées avec rigueur, présentent, dans le brouillard actuel, une certaine crédibilité. Ainsi, les prévisions de l'Association for Study of Peak Oil – basées sur des modèles comme celui qui avait permis à King Hubbert, géologue américain, de prévoir le déclin de la production de pétrole des États-Unis dans les années 1970 – sont bien pessimistes : la plupart des grands gisements et plus de 60 pays auraient déjà dépassé leur pic de production ou vont bientôt l'atteindre. Ce serait, depuis 2005-2006, le cas de l'Arabie saoudite, premier producteur et qui détient les principales réserves mondiales. Ces experts anticipent le pic de production mondiale vers 2010, estimation confortée par les fortes hausses du prix du baril depuis cinq ans. Ils rappellent que les découvertes des grands champs pétroliers remontent toutes aux années 1960-1970 et que, depuis vingt ans, le volume d'huile nouvellement découvert est inférieur à celui que nous consommons. Selon l'Institut français du pétrole, pour 2 à 3 barils de pétrole consommés, 1 est découvert aujourd'hui. Autrement dit, nos réserves s'épuisent. La compagnie Shell, qui fit scandale en 2004 pour avoir volontairement surestimé le volume de ses réserves, continue de les revoir à la baisse. Même des découvertes majeures dans les derniers refuges encore insondés, par exemple l'Arctique, ne retarderaient l'échéance que de quelques années.

► il avait toutes les chances de redevenir l'ultime recours fossile, après la fin de l'ère des hydrocarbures. Ses réserves étaient estimées à une centaine d'années voire plus. La réalité pourrait être moins optimiste. Car les estimations actuelles sont basées sur des données souvent anciennes, livrées par les pays producteurs sans aucune analyse critique, ni tentative d'harmonisation. Parfois, elles ne distinguent même pas les différentes variétés de charbon : du plus noble énergétiquement, l'anhracite, au plus pauvre, le lignite. Le contexte géologique du char-

bon est également plus complexe et moins connu que celui des hydrocarbures, ce qui rend encore plus incertaine la distinction entre ressources et réserves. Ces dernières sont en cours de réévaluation. Déjà, le Bureau allemand pour les géosciences et les ressources et le Conseil mondial de l'énergie ont récemment divisé par deux le niveau des réserves, estimé il y a vingt-cinq ans (4), pour les évaluer aujourd'hui à 300 Gtep. Comme l'Agence internationale de l'énergie dans son scénario alternatif 2006, ces deux instances estiment le pic de production vers 2025-2030, culminant à 30 % seulement au-dessus de la production actuelle qui est de 3 Gtep par an (fig. 5).

FIG. 5 Production mondiale de charbon



De plus en plus d'instances (BGR, WEC, AIE) revoient les prévisions à la baisse et estiment désormais le pic de production entre 2025 et 2030.

Concentré d'énergie...

Et l'uranium 235, le combustible nucléaire des centrales actuelles? Abstraction faite des surgénérateurs, qui devraient multiplier au moins par 40 le rendement du minerai (lire « L'heure de la relance atomique », p. 56), actuellement, le prix du combustible n'intervient que marginalement dans le coût du kilowattheure (kWh) nucléaire. Pour preuve, le prix de l'uranium a quintuplé, passant de 20 à 100 dollars par kilogramme entre 2000 et 2007, anticipant ainsi le redémarrage du nucléaire sans que cela ne décourage les projets de nouvelles centrales. Ainsi, la Chine envisage de doubler, d'ici à 2020, son parc de 10 centrales en activité et de 5 en construction. En cas de pénurie et au prix d'un modeste surcoût du kilowattheure, les réserves augmenteront. Des gisements, jusqu'ici négligés, car plus pauvres en minerai, seront rentabilisés. Aujourd'hui, l'ensemble des ressources est évalué entre quatre-vingt-cinq ans et plusieurs siècles. Une évaluation basée sur le

parc actuel mondial de 440 réacteurs et la technologie d'aujourd'hui (5). Elle suppose, faute de mieux, que le progrès technologique compensera la croissance du parc.

Connaître la disponibilité de ces différentes sources d'énergie (y compris renouvelables) est, bien sûr, indispensable pour établir un scénario énergétique, mais il faut également prendre en compte leurs performances respectives ainsi que les risques environnementaux qu'elles peuvent engendrer. En particulier, la notion de concentration de l'énergie est fondamentale. À ce titre, les énergies renouvelables (solaire, géothermie, hydraulique ou éolien) ainsi que la biomasse sont placées loin derrière les combustibles fossiles, car ce sont des énergies diffuses. Par exemple, il faut 250 éoliennes pour produire autant d'énergie qu'une centrale au gaz de 500 mégawatts. Sans compter que certaines applications, comme les transports, requièrent, de fait, une énergie concentrée. Enfin, dans le cas de l'éolien et du solaire, la production est intermittente. Le rendement vrai est alors réduit à 30 % de la puissance théorique. Une dilution supplémentaire qui impose de développer des dispositifs de stockage de l'énergie. De son côté, le chauffage solaire ou géothermique, qui nécessite une concentration moindre, est moins pénalisé. Un autre exemple peut illustrer les différences de concentration entre énergies fossiles et renouvelables : l'avion. Si, en 1904, les frères Wright ont fait voler le premier avion, c'est qu'ils ont disposé de la puissance et de la légèreté du moteur à essence. Aujourd'hui, nous commençons tout juste à faire voler des drones : leurs ailes, couvertes de panneaux solaires, sont démesurées pour capter et concentrer suffisamment d'énergie.

... Et complément renouvelable

Une preuve supplémentaire, s'il en faut, que le pétrole est une substance miraculeuse. Et cela, malgré les pollutions qu'il entraîne. En effet, il concentre le plus d'énergie par unité de masse et brûle aux plus hautes températures, assurant ainsi le meilleur rendement. Son transport est facile et sans risques. Et il était, jusqu'ici, assez simple à extraire du sol à un prix, jusque-là, insignifiant (quelques dollars par baril, 1 baril = 159 litres). Voilà pourquoi plus de 40 % de l'énergie consommée actuellement dans le monde est dérivée du pétrole. On lui doit l'expansion économique du XX^e siècle, unique dans l'histoire de l'humanité (6, 7). L'épuisement du pétrole sera donc un choc, et l'addition sera d'autant plus salée que la transition n'aura pas été anticipée. Le prix de sa substitution par les énergies renouvelables sera très élevé tant énergétiquement qu'économiquement.



© SOLAR IMPULSE/EPFL CLAUDIO LEONARDI

Néanmoins, nous devons nous engager dans une politique volontariste en faveur des énergies renouvelables et, si possible, tout de suite. Car à moins de 100 dollars le baril de pétrole, les énergies renouvelables ne sont guère rentables. Au prix d'énormes investissements, elles le deviendront quand le baril d'or noir flirtera avec les 200 dollars (8).

Ce sevrage énergétique imposé milite aussi en faveur d'un engagement accéléré vers le nucléaire, en raison de son extraordinaire concentration énergétique et en dépit de son manque de flexibilité. Certains caressent l'espoir d'un avenir énergétique à nouveau serein, si la fusion nucléaire était maîtrisée. Néanmoins, la réalité est tout autre. En Chine, par exemple, en dépit d'efforts en faveur du nucléaire, en 2020, 75 % des centrales seront encore au charbon ! Sans compter qu'ailleurs on annonce le retour de « King Coal », le roi charbon. Un recours inacceptable s'il ne s'accompagne pas de la séquestration du gaz carbonique émis (lire « Objectif : zéro émission », p. 60). La combustion du charbon émet près de deux fois plus de gaz carbonique que celle du pétrole ou du gaz !

Centrales au charbon, pourvu qu'elles séquestrent leur CO₂, et centrales nucléaires, nous devrions aller vers des sources d'énergies très concentrées. À travers les réseaux de distribution, le principal vecteur de l'énergie serait l'électricité ; les énergies renouvelables assurant un complément, plus à portée de l'utilisateur. Sous couvert d'une réorganisation industrielle et sociétale majeure, la troisième révolution prométhéenne est peut-être pour bientôt. ● A. N.

FAIRE VOLER UN AVION SOLAIRE, JOUR ET NUIT, SANS CARBURANT : TEL EST LE DÉFI QUE LE SUISSE FRANCK PICARD TENTERA DE RELEVER EN 2011.

(4) W. Zittel et al., *Coal : Resources and Future Production*, EWG-series n°1, 2007.

(5) AEN/OCDE et AIEA, *Uranium 2005 : ressources, production, demande*, 2006.

(6) A. Nicolas, *Futur empoisonné, quels défis ? Quels remèdes ?*, Belin, 2007.

(7) Y. Cochet, *Pétrole apocalypse*, Fayard, 2006 (sur site, 2005).

(8) M. D. Savinar, *The Oil Age is Over*, Morris, 2004.

(9) J.-L. Wingert, *La Vie après le pétrole*, Autrement, 2005.

➔ POUR EN SAVOIR PLUS

Association for Study of Peak Oil (Aspo) : www.aspoFrance.org/