

---

||| Le M 

---

ents.

---

Célia-Violaine Bouchard Revue  
Recherche alternative en physique  
et mathématiques  
Histoires connexes

N° 4 Mai - Juillet 2025

**Demain :**  
**Energie ou chaos ?**

**Tomorrow:**  
**Energy or Chaos ?**



Copyright Célia-Violaine Bouchard avril 2025

# Demain, énergie ou chaos ?

Apologie du projet 2EHDPM - INDOÏNE

Par Célia-Violaine Bouchard

Chercheure senior

28 avril 2025



## 1. Avant-propos

Selon les projections récentes, notre monde pourrait être à court d'énergie d'ici 2040, notamment par l'arrivée en masse des data-center voraces en demande énergétique. Les chiffres montrent que ces derniers ont consommé environ 3 % de la production mondiale d'énergie ; les projections qu'ils pourraient représenter au moins 13 % en 2030 et 35 % en 2040.

En parallèle, la demande des autres consommateurs pourrait suivre la même courbe de croissance ; pour les principaux et par ordre de décroissance : industrie 30 %, transports 28 %, résidentiel 20 %, usages divers 10 %, tertiaire 8 %, agriculture et pêche 2 %.

Quant à la production d'énergie, elle ne pourrait tout simplement pas satisfaire la demande. En admettant que la consommation se stabilise autour des valeurs de 2020, ce qui est improbable, la plupart des sources énergétiques ne dépasseront pas 100 ans de disponibilité, excepté le charbon, qui pourrait tenir 130 ans.

## 2. Les solutions envisagées jusqu'à présent

### 2.1 La fusion nucléaire contrôlée : ITER

Actuellement, beaucoup de partenaires et acteurs de l'énergétique mondiale mettent leurs espoirs en misant sur la fusion nucléaire contrôlée, mais est-ce réaliste ?

Contrôler la fusion nucléaire n'est pas une mince affaire ; le but est de recréer, dans un cœur de réacteur, les conditions qui règnent au centre d'une étoile. Une fois ces conditions établies, une réaction de fusion entre deux isotopes d'hydrogène peut s'enclencher. Toutefois, à la différence d'une étoile qui, par sa masse très importante, rend propice le maintien et le contrôle de ces mêmes réactions, un réacteur à fusion, dont la masse interne est faible, doit compenser cette grande différence par un confinement de la réaction afin d'en maintenir la stabilité indéfiniment.

Le réacteur nucléaire à fusion devra entretenir une réaction bistable, c'est-à-dire :

**1/ Rendement** : maintenir au long cours un potentiel d'action énergétique positif, à savoir que l'énergie rentrante nécessaire à la fusion devra être très nettement inférieure à l'énergie sortante.

**2/ Hystérésis** : en tenant compte du point précédent, le système contrôlant le réacteur devra empêcher la réaction de dépasser le seuil critique ou, au contraire, de s'effondrer. Dans le premier cas, la réaction deviendrait incontrôlable ; dans le second, un "bending" subit pourrait créer un collapse réseau important.

La théorie et les expériences de laboratoires valident aisément le premier point, ce qui n'est pas le cas du second. Un bon contrôle de l'hystérésis est délicat ; plusieurs conditions sont nécessaires : maintenir un confinement stable, disposer des matériaux composites adéquats et, point non négligeable, comprendre et appliquer certaines lois régissant la matière que nous ne maîtrisons pas ou connaissons mal.

Voici ce que l'on peut trouver dans la littérature au sujet du réacteur expérimental ITER :

*"Le réacteur à fusion thermonucléaire ITER a été conçu pour produire un plasma de fusion équivalent à 500 MW de puissance thermique pendant 400 à 600 secondes, pour 50 MW injectés dans le plasma, soit une multiplication par dix. La machine vise par ailleurs à démontrer la faisabilité d'une réaction auto-entretenue, ce qui n'a pas encore été réalisé dans un réacteur de fusion. L'électricité totale consommée par le réacteur et les installations se situera entre 110 et 620 MW de pointe pendant trente secondes. Le réacteur est conçu uniquement pour produire un plasma de fusion, et la chaleur émise sera évacuée dans l'atmosphère sans générer d'électricité."*

Ce réacteur, qui, fin 2024, aurait coûté 15 à 17 milliards d'euros (1) et, dans sa mouture finale, s'élèverait entre 30 et 40 milliards d'euros, ne sera, au vu du cahier des charges, qu'un gigantesque dispositif de laboratoire.

Dans les faits, si le projet ITER tient ses promesses, il constituerait une étape technologique vers un futur réacteur expérimental, baptisé Demo, visant la production industrielle de 1 500 MW d'électricité par fusion nucléaire. Ces capacités seraient à peu près égales à celles des réacteurs à fission nucléaire en service, ce qui ne réglerait pas la demande quasi exponentielle d'énergie. De plus, il est peu probable qu'une réaction de fusion bistable puisse être réalisée (2). Outre cela, construire une centrale à fusion entretenue, fût-elle possible, engendrerait des coûts exorbitants et des délais de livraison très longs.

## 2.2 La fission nucléaire "améliorée" : l'EPR

L'EPR ("European Pressurised Reactor") est la dernière évolution des réacteurs à eau pressurisée de Framatome et EDF. Pensé dans les années 1990 pour tirer les leçons de Three Mile Island et Tchernobyl, il vise une sûreté "génération III+" : double enceinte de confinement, quatre trains de secours indépendants, core catcher, alimentation autonome de 72 h sans intervention humaine. Avec 1 600 MWe, l'EPR produit environ 15 % de courant en plus qu'un réacteur classique, tout en promettant 60 ans de service et un meilleur rendement thermique.

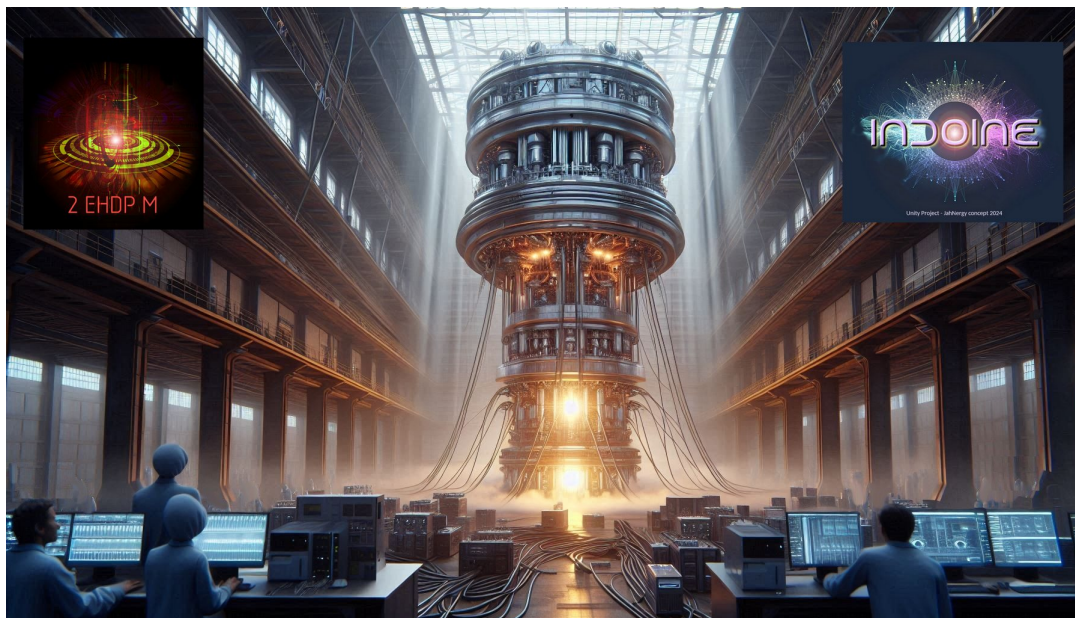
Cependant, l'EPR présente des points de faiblesse :

Dérapages budgétaires massifs, retards chroniques de mise en œuvre, ingénierie complexe nécessitant de fréquentes retouches — exemple : un seul défaut, même mineur, impose l'arrêt complet de l'infrastructure —, chaîne d'approvisionnement fragile, incidents de démarrage récurrents, déchets radioactifs identiques aux systèmes conventionnels.

Face à ces problèmes, il sera très difficile, voire impossible, de couvrir la future demande électrique.

## 2.3 Les énergies renouvelables

Selon les études techniques récentes, l'hydrogène, le solaire et l'éolien pourraient, d'ici 2050, compenser la demande énergétique, mais au prix d'un "big bang" d'infrastructures : outre de fabriquer et poser des térawatts de panneaux solaires, ce seront des kilomètres de lignes, câbles et pipelines à hydrogène reliant les différents points de livraison de la planète ; autrement dit, transformer la Terre en vaste parc industriel. Mais qui en voudra ? (3)



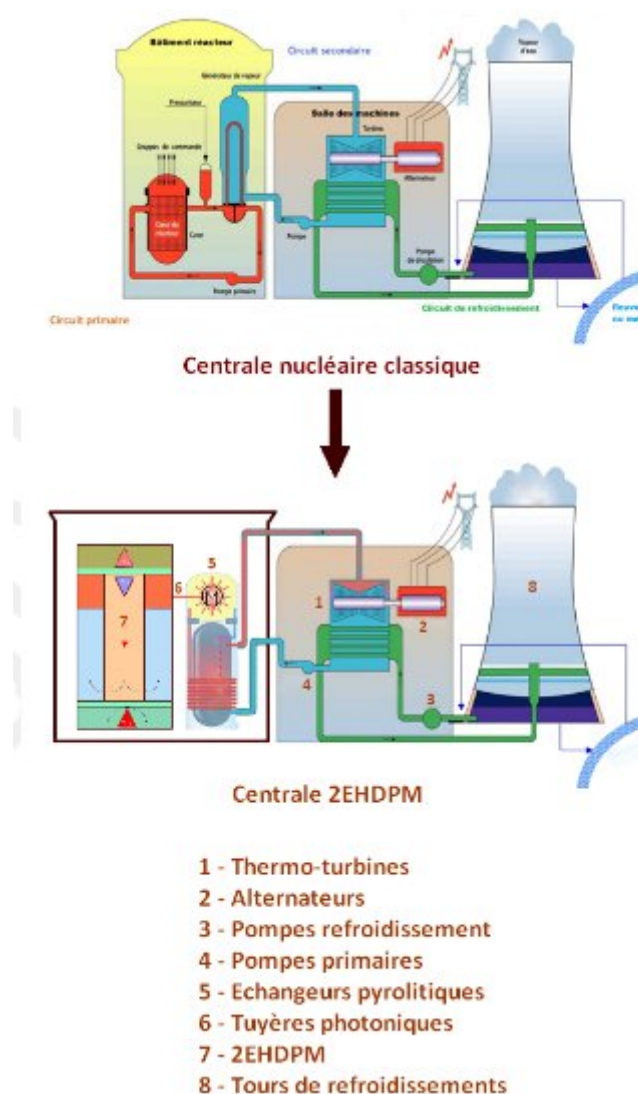
La 2EHDP M simulée dans son contexte d'exploitation

### 3. Une alternative - La 2EHDPM - Energie Extraktor Hoher mit Dichte Polymorpher Maschine

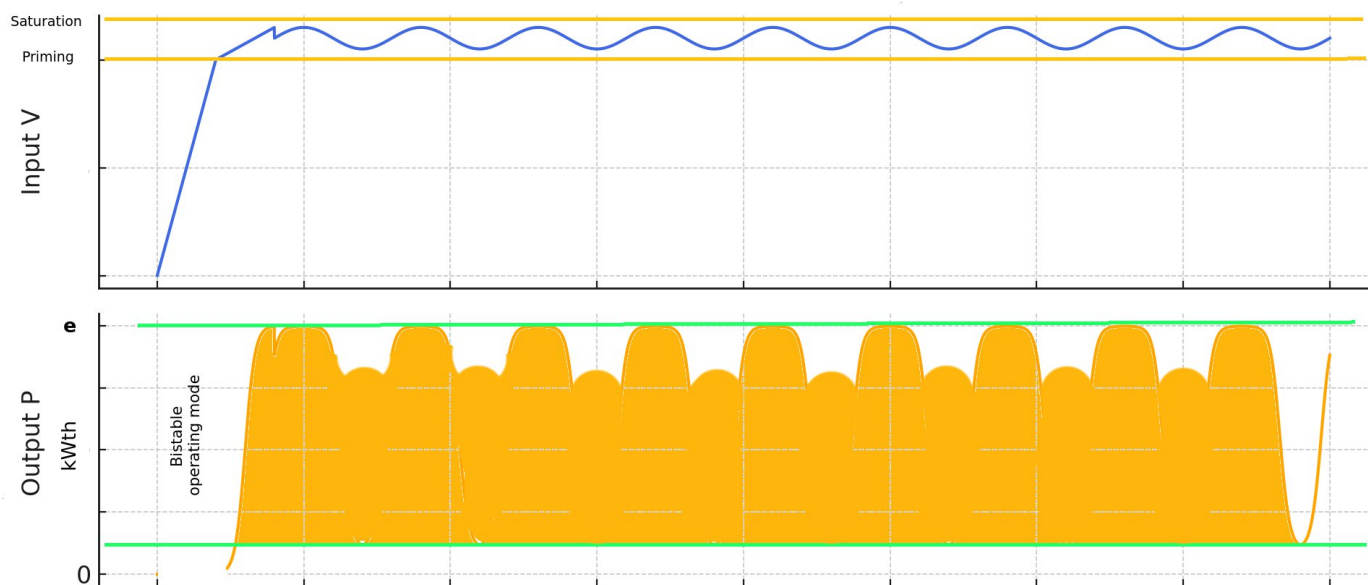
La **2EHDPM** est un projet de production électrique issu de plusieurs années de recherches propulsées en physique fondamentale par Célia-Violaine Bouchard, chercheuse senior en 2025, selon une approche totalement nouvelle et indépendante du modèle standard.

Si la réalisation de la 2EHDPM devient possible et son fonctionnement est démontré, chaque unité d'extraction pourrait produire 20 à 60 fois plus d'énergie que les réacteurs à fission atomique conventionnels, soit 30 à 90 GW en nominal (4), par le fait qu'elle pourra répartir sa production de chaleur sur un ensemble important de turbines. Ces capacités pourront répondre aux besoins énergétiques de l'ensemble de la planète et illimitées dans le temps.

Le schéma suivant montre le principe de fonctionnement d'une centrale 2EHDPM à unité unique, comparé à celui d'une centrale nucléaire à fission à un réacteur.



Au niveau de son fonctionnement la 2EHDPM devrait être facilement conduite par un régime bistable. L'hystérésis sera de faible amplitude, c'est-à-dire qu'après avoir atteint le seuil d'amorçage de la réaction au cœur du système, il suffira d'une faible amplitude de seuil de saturation pour que le système s'auto-entretienne. Pour contrôler le potentiel en équivalents thermiques de sorties de manière à ce qu'il soit stable et le rendement élevé, les opérateurs auront à faire simplement varier le potentiel électrique d'entrée entre les deux seuils, comme le montre le schéma de principe ci-dessous. Cette propriété permettra de pallier aux fluctuations des réseaux électriques entre l'offre et la demande en temps réel avec un temps de réponse de l'ordre de la milliseconde et de la seconde aux niveaux des couplages des générateurs, garantissant avec une certitude proche de 100/100, qu'aucun black-out ne sera possible.



D'autre part la 2EHDPM ne sera source d'aucune radioactivité ou pollution organique, elle émettra certes un champ magnétique intense mais qui pourra être facilement maîtrisable au sein d'une enceinte de Faraday, à la différence des centrales nucléaires à fissions et à fusion dont le risque n'est pas nul et le confinement difficile ou compliqué.

Pour ce qui est du risque de déflagration thermique du cœur, sa probabilité sera proche de zéro, et ce par effet de saturation évoqué précédemment. Si toutefois cet évènement devait se produire, sa durée de vie serait de l'ordre de la milliseconde, ce qui limiterait la déflagration au cœur de l'extracteur, le dispositif s'arrêterait instantanément de fonctionner par fusion de la lentille quantique, pièce maîtresse du dispositif.

Les composants qui structurent la 2EHDPM seront indéfiniment disponibles car abondants sur Terre. La généralisation de constructions puis la mise en service de 2EHDPM et leurs produits dérivés, seront source de créations mondiales de millions d'emplois et nouveautés technologiques y compris pour les pays les plus pauvres. Il sera également du domaine des possibilités, de créer des unités plus petites pour un usage plus domestique, dans un premier temps, ce point restera toutefois à travailler en matière de recherche appliquée. Enfin le coût de production du kilowatt-heure sera dérisoire en comparaison de son coût actuel.



Simulation de l'échangeur pyrolytique avec ses tuyères photoniques

#### 4. Conclusion

À la lumière des analyses précédentes, un constat s'impose : la trajectoire actuelle de la demande énergétique mondiale, portée à la fois par la croissance des usages traditionnels et par l'essor fulgurant des data centers, n'est pas soutenable avec le bouquet d'offres aujourd'hui éprouvé. Les filières fossiles s'es-soufflent, la fusion nucléaire contrôlée demeure un horizon technoscientifique lointain et incertain, la fission "améliorée" peine à prouver sa compétitivité face à ses surcoûts et retards chroniques, tandis que les renouvelables, bien qu'indispensables, exigent une mutation profonde des réseaux et des infrastructures qui soulève de multiples défis sociétaux, financiers et territoriaux.

Dans ce contexte, deux enseignements majeurs se dégagent :

##### 1/ L'impératif de diversification et d'intégration

Aucun vecteur énergétique, pris isolément, ne pourra satisfaire la progression quasi exponentielle de la consommation. Il devient donc crucial d'orchestrer une complémentarité intelligente : sobriété et efficacité d'abord, déploiement coordonné des énergies renouvelables ensuite, appuyé par le stockage massif et la flexibilité des réseaux, enfin recours transitoire — mais rationalisé — aux technologies nucléaires de génération III+ pour garantir la continuité de service. Cette mosaïque sera soutenable seulement si elle s'accompagne d'incitations réglementaires, de mécanismes de prix du carbone robustes et d'investissements dans la modernisation des infrastructures électriques et numériques.

##### 2/ La nécessité d'un pari sur la rupture scientifique

Les limites thermodynamiques et matérielles des technologies conventionnelles signalent qu'un saut qualitatif est indispensable à moyen terme. C'est dans ce vide que s'inscrit la 2EHDPM : bien qu'encore théorique, elle incarne l'exemple même d'une recherche exploratoire capable de redéfinir les règles du jeu énergétique. Si ses promesses — densité de puissance sans précédent, faible empreinte environnemen-

tales, continuité d'exploitation — se confirmeraient, elles offriraient une réponse décisive à l'équation énergie-climat. Or, l'histoire montre que les innovations de rupture naissent rarement d'une évolution linéaire ; elles requièrent une volonté humaine forte, des cadres de recherche agiles et ouverts, et une coopération internationale transparente pour accélérer la validation expérimentale et la diffusion des savoirs.

En définitive, l'humanité se trouve à la croisée des chemins :

Poursuivre la voie d'une augmentation ininterrompue de la demande sans refondre le modèle énergétique la conduirait vraisemblablement à des pénuries structurelles avant le milieu du siècle et d'ors et déjà avec les black-outs réseaux de plus en plus fréquents, avec des répercussions économiques et géopolitiques majeures.

Engager simultanément sobriété, optimisation et diversification des filières tout en finançant résolument la recherche fondamentale — à l'instar de la 2EHDPM — ouvre la possibilité d'une transition harmonieuse, combinant sécurité d'approvisionnement et résilience réseau, compétitivité industrielle et respect des objectifs climatiques.

Le choix appartient aux décideurs publics, aux industriels, aux chercheurs et, plus largement, à la société civile : il s'agit moins de sélectionner une solution unique que de construire, dès aujourd'hui, un écosystème où chaque brique technologique trouve sa place, où les verrous scientifiques sont affrontés sans complaisance et où l'anticipation prime toujours sur la réaction. C'est à ce prix que le futur énergétique pourra redevenir un facteur de prospérité partagée plutôt qu'une source d'inquiétude permanente.

Pr. Célia-Violaine Bouchard.

### Renvois :

(1) Compte central ITER Organization – États financiers IPSAS 2023 / Agence européenne Fusion for Energy (F4E) – Bilan Commission & EP / Agences nationales partenaires.

(2) D'après les travaux de Mme Célia-Violaine Bouchard, une réaction de fusion bistable serait infaisable dans un réacteur.

(3) IEA – Net Zero Roadmap: 2023 Update, oct. 2023 / IRENA – World Energy Transitions Outlook 2024.

(4) Les réacteurs les plus puissants en 2025 sont Taishan 1 et 2 (Chine), délivrant chacun 1,66 GW (14,54 TWh/an). À 54 GW, une unité 2EHDPM produirait env. 870 TWh/an.



# Tomorrow, Energy or Chaos?

Defense of the 2EHDPM – INDOÏNE Project

By **Célia-Violaine Bouchard**

Senior Researcher

28 April 2025



## 1. Foreword

According to recent projections, our world could run out of energy by 2040, in particular because of the massive arrival of data centres with voracious energy demands. Figures show that these centres have consumed about 3 % of global energy production; projections indicate they could account for at least 13 % in 2030 and 35 % in 2040.

At the same time, demand from other consumers could follow a similar growth curve; in descending order: industry 30 %, transport 28 %, residential 20 %, miscellaneous uses 10 %, tertiary 8 %, agriculture and fishing 2 %.

As for energy production, it quite simply could not satisfy demand. Assuming that consumption stabilises around 2020 values—which is improbable—most energy sources will not last beyond 100 years, except coal, which could last 130 years.

## 2. Solutions Considered So Far

### 2.1 Controlled Nuclear Fusion: ITER

At present, many partners and actors in the global energy sector place their hopes in controlled nuclear fusion, but is this realistic?

Controlling nuclear fusion is no small feat; the goal is to recreate, in a reactor core, the conditions that prevail at the centre of a star. Once these conditions are established, a fusion reaction between two hydrogen isotopes can begin. However, unlike a star, whose very large mass favours the maintenance and control of such reactions, a fusion reactor, whose internal mass is low, must compensate for this difference by confining the reaction so as to maintain its stability indefinitely.

The fusion reactor must sustain a bistable reaction, meaning:

**1/ Yield:** over the long term it must keep a positive energy potential, i.e. the energy input required for fusion must be far lower than the output energy.

**2/ Hysteresis:** given the previous point, the system controlling the reactor must prevent the reaction from exceeding the critical threshold or, conversely, from collapsing. In the first case the reaction would become uncontrollable; in the second, a sudden “bending” could trigger a major network collapse.

Theory and laboratory experiments easily validate the first point, which is not the case for the second. Good control of hysteresis is delicate; several conditions are necessary: stable confinement, adequate composite materials and, importantly, understanding and applying certain laws governing matter that we do not yet master or know well.

The literature on the experimental ITER reactor states:

“The ITER thermonuclear fusion reactor has been designed to produce a fusion plasma equivalent to 500 MW of thermal power for 400 to 600 seconds, for 50 MW injected into the plasma, i.e. a ten-fold gain. The machine also aims to demonstrate the feasibility of a self-sustaining reaction, which has not yet been achieved in a fusion reactor. Total electricity consumed by the reactor and its facilities will range between 110 and 620 MW at peak for thirty seconds. The reactor is designed solely to produce a fusion plasma, and the heat emitted will be released into the atmosphere without generating electricity.”

This reactor, which by the end of 2024 is said to have cost between €15 billion and €17 billion (1) and, in its final form, would reach €30 billion to €40 billion, will, given its specifications, be nothing more than an enormous laboratory device.

In fact, if the ITER project keeps its promises, it would be a technological step toward a future experimental reactor, dubbed Demo, aimed at producing 1 500 MW of electricity from nuclear fusion on an industrial scale. These capacities would be roughly equal to those of current nuclear fission reactors, which would not meet the near-exponential energy demand. Moreover, it is unlikely that a bistable fusion reaction can be achieved (2). In addition, building a maintained fusion power plant, were it possible, would entail exorbitant costs and very long delivery times.

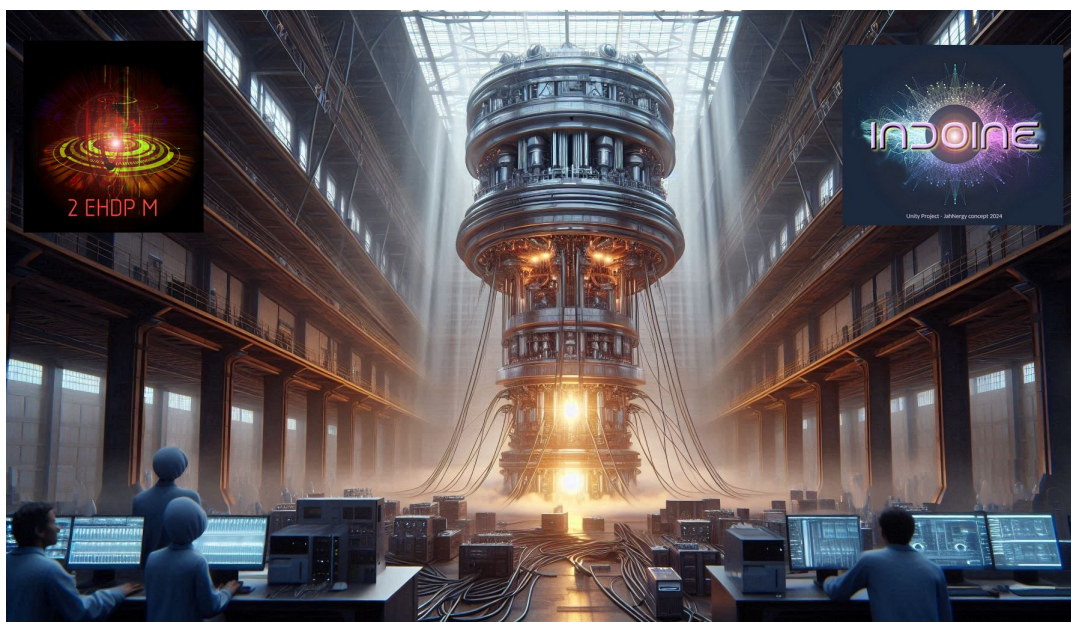
## 2.2 “Improved” Nuclear Fission: the EPR

The EPR (“European Pressurised Reactor”) is the latest evolution of Framatome and EDF pressurised-water reactors. Conceived in the 1990s to learn the lessons of Three Mile Island and Chernobyl, it targets “Generation III+” safety: double containment, four independent back-up systems, core catcher, and 72 h autonomous power without human intervention. With 1 600 MWe, the EPR produces about 15 % more power than a standard reactor while promising 60 years of service and better thermal efficiency.

However, the EPR has weaknesses: massive cost overruns, chronic implementation delays, complex engineering that requires frequent fixes—e.g. a single, even minor defect forces a complete shutdown—, a fragile supply chain, recurrent start-up incidents, and radioactive waste identical to conventional systems. Faced with these problems, it will be very difficult, if not impossible, to meet future electricity demand.

## 2.3 Renewable Energies

According to recent technical studies, hydrogen, solar and wind power could, by 2050, offset energy demand, but at the price of a massive infrastructure “big bang”: besides manufacturing and installing terawatts of solar panels, kilometres of lines, cables and hydrogen pipelines would have to link the planet’s various delivery points—turning Earth into a vast industrial park. But who will want that? (3)



The simulated 2EHDPM in its operating context

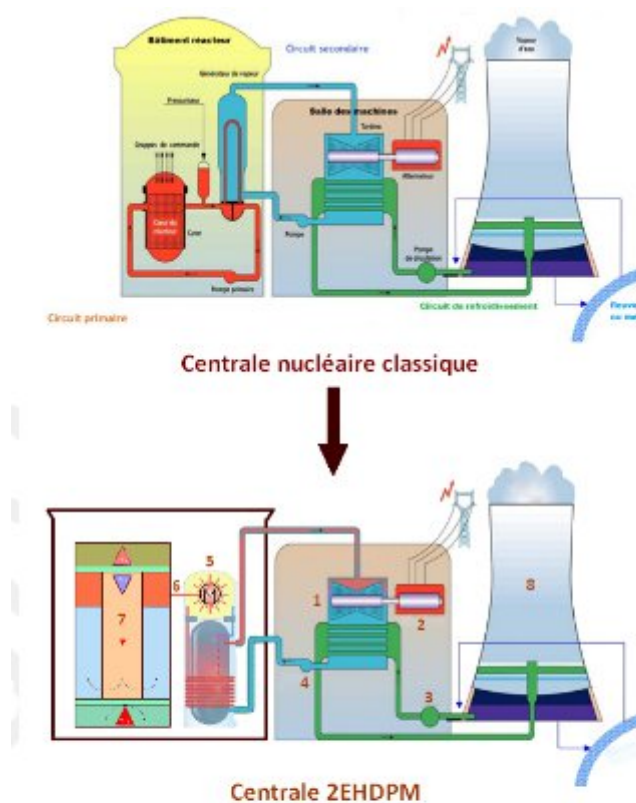
### 3. An Alternative - The 2EHDPM

#### Energie Extraktor Hoher mit Dichte Polymorpher Maschine

"The 2EHDPM is an electric power generation project resulting from several years of research driven in fundamental physics by Célia-Violaine Bouchard, senior researcher in 2025, according to a completely new and independent approach from the standard model.

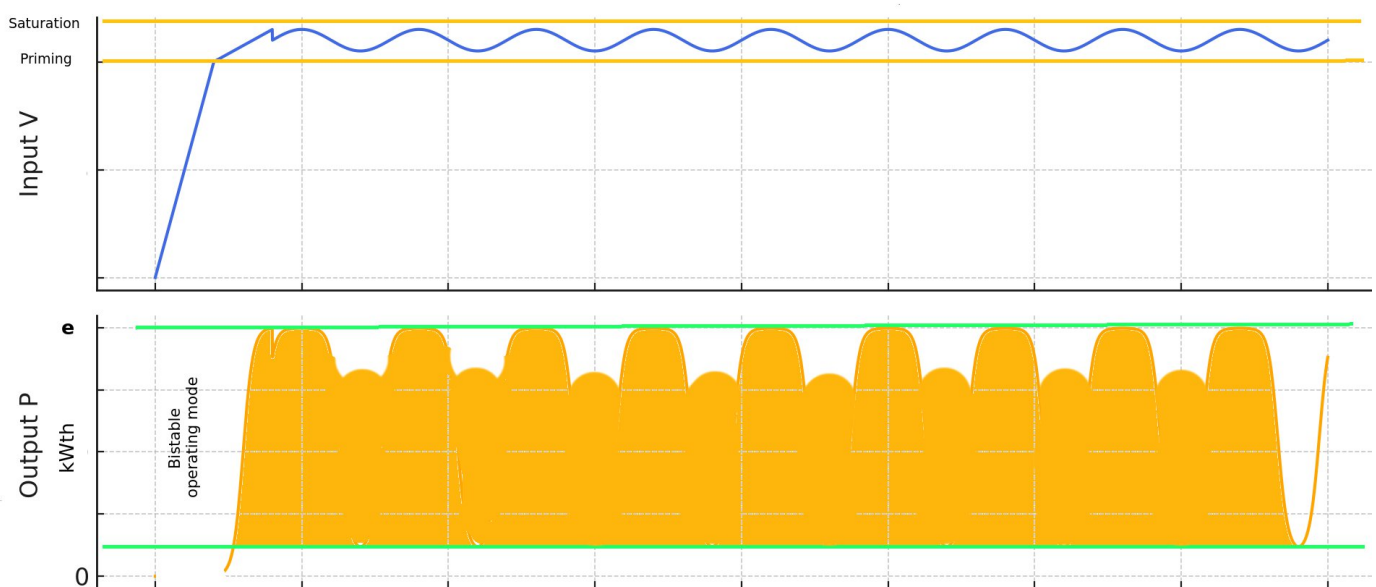
If the realization of the 2EHDPM becomes possible and its operation is demonstrated, each extraction unit could produce 20 to 60 times more energy than conventional atomic fission reactors, that is to say 30 to 90 GW in nominal, by the fact that it will be able to distribute its heat production over a large set of turbines. These capabilities could meet the energy needs of the entire planet and be unlimited in time.

The following diagram shows the operating principle of a single-unit 2EHDPM plant, compared to that of a single-reactor nuclear fission plant."



- 1 - Thermo-turbines
- 2 - Alternateurs
- 3 - Pompes refroidissement
- 4 - Pompes primaires
- 5 - Echangeurs pyrolitiques
- 6 - Tuyères photoniques
- 7 - 2EHDPM
- 8 - Tours de refroidissements

"In terms of its operation, the 2EHDPM should be easily driven by a bistable regime. The hysteresis will be of low amplitude, that is to say, after having reached the reaction ignition threshold at the core of the system, only a low saturation threshold amplitude will be sufficient for the system to be self-sustaining. To control the thermal equivalent output potential so that it is stable and the efficiency is high, operators will simply have to vary the input electrical potential between the two thresholds, as shown in the schematic diagram below. This property will make it possible to compensate for fluctuations in electrical networks between supply and demand in real time, with a response time on the order of milliseconds to seconds at the level of generator couplings, guaranteeing with near 100/100 certainty that no blackout will be possible."



Moreover, the 2EHDPM will generate no radioactivity or organic pollution; it will emit an intense magnetic field, but this can be easily managed within a Faraday cage, unlike fission and fusion plants, whose risk is non-zero and confinement difficult.

"As for the risk of thermal deflagration of the core, its probability will be close to zero, due to the saturation effect mentioned previously. However, if such an event were to occur, its lifespan would be on the order of a millisecond, which would limit the deflagration to the core of the extractor; the device would stop functioning instantly by fusion of the quantum lens, the key component of the system.

The components structuring the 2EHDPM will be indefinitely available, as they are abundant on Earth. The widespread construction and commissioning of 2EHDPM units and their derived products will lead to the creation of millions of jobs and technological innovations worldwide, including in the poorest countries.

It will also be within the realm of possibility to create smaller units for more domestic use; initially, however, this point will still require further work in the field of applied research. Finally, the cost of producing one kilowatt-hour will be negligible compared to its current cost."



Simulation of the pyrolytic exchanger with its photonic nozzles

#### 4. Conclusion

In light of the above analyses, one observation is clear: the current trajectory of global energy demand, driven both by the growth of traditional uses and by the meteoric rise of data centres, is unsustainable with today's proven supply mix. Fossil-fuel sectors are running out of steam; controlled nuclear fusion remains a distant and uncertain techno-scientific horizon; "improved" fission struggles to prove its competitiveness amid cost overruns and chronic delays; while renewables, though essential, require a profound transformation of networks and infrastructures that raises multiple societal, financial and territorial challenges.

Two major lessons emerge in this context:

##### 1/ The imperative of diversification and integration

No single energy vector, taken in isolation, can satisfy the quasi-exponential growth in consumption. It is therefore crucial to orchestrate intelligent complementarity: first sobriety and efficiency, then coordinated deployment of renewables backed by massive storage and grid flexibility, and finally a transitional—yet rationalised—use of Generation III+ nuclear technologies to guarantee continuity of service. This mosaic will be sustainable only if accompanied by regulatory incentives, robust carbon-pricing mechanisms and investments in modernising electrical and digital infrastructures.

##### 2/ The need to bet on scientific disruption

The thermodynamic and material limits of conventional technologies signal that a qualitative leap is essential in the medium term. This is where the 2EHDPM fits: though still theoretical, it exemplifies exploratory research capable of redefining the energy game. If its promises—unprecedented power density, low environmental footprint, continuous operation—were confirmed, they would offer a decisive answer to the energy-climate equation. History shows that breakthrough innovations seldom arise from linear evolution; they require strong human will, agile and open research frameworks, and transparent international cooperation to accelerate experimental validation and knowledge dissemination.

Ultimately, humanity stands at a crossroads:

Continuing along a path of unrelenting demand growth without overhauling the energy model would likely lead to structural shortages before mid-century—indeed, blackouts are already becoming more frequent—with major economic and geopolitical repercussions.

Simultaneously pursuing sobriety, optimisation and diversification of sectors while resolutely funding fundamental research—such as the 2EHDPM—opens the possibility of a harmonious transition, combining security of supply and grid resilience, industrial competitiveness and respect for climate goals.

The choice belongs to public decision-makers, industry, researchers and, more broadly, civil society: the aim is less to select a single solution than to build, starting now, an ecosystem in which every technological building block has its place, scientific hurdles are tackled head-on and anticipation always prevails over reaction. Only at this price can the energy future once more become a source of shared prosperity rather than permanent anxiety.

**Pr. Célia-Violaine Bouchard**

### Footnotes

(1) ITER Organization Central Account – IPSAS 2023 Financial Statements / European agency Fusion for Energy (F4E) – Commission & EP Balance Sheet / National partner agencies.

(2) According to the work of Ms Célia-Violaine Bouchard, a bistable fusion reaction would be unfeasible in a reactor.

(3) IEA – Net Zero Roadmap: 2023 Update, Oct. 2023 / IRENA – World Energy Transitions Outlook 2024.

(4) The most powerful reactors in 2025 are Taishan 1 and 2 (China), each delivering 1.66 GW (14.54 TWh/yr). At 54 GW, a 2EHDPM unit would produce about 870 TWh/yr.

