**Contribution aux exercices de prospective 2020-2030**

***Contribution to the 2020-2030 prospective reflection***

**Energie nucléaire et environnement**

*Nuclear energy and environment*

**1) Aperçu / *Overview***

Thème de recherche proposé : **physique des réacteurs**

Axe principal concerné (**voir la liste des thèmes en fin de document**) : modélisation et expérimentation, neutronique, études de scénarios, ouverture interdisciplinaire : approche technico-socio-économique (prix, coût, ressources, ...). Application aux réacteurs actuels et innovants, études de scénarios...

**Contributeur(s) (et affiliations) de la proposition :**

*Proposition’s author(s) and affiliations :*

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, CNRS-IN2P3/Univ. Paris Sud : S. Bouneau, S. David, X. Doligez, M. Ernoult

Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, IN2P3(CNRS)-Université Grenoble Alpes : A. Bidaud

Laboratoire Subatech, CNRS-IN2P3, IMT Atlantique, Univ. Nantes: N. Thiollière

**Email du contact de la proposition :**

*E-mail of the corresponding author :*

[nicolas.thiolliere@subatech.in2p3.fr](mailto:nicolas.thiolliere@subatech.in2p3.fr)

**Résumé** (500 caractères max., incluant les espaces) :

Les scénarios énergétiques et nucléaires sont particulièrement pertinents comme outils mobilisables pour l’analyse de la transition énergétique. Nous proposons de repousser les limites des modélisations réalisées dans ce cadre à travers une approche fortement interdisciplinaire. Nous utiliserons les apports croisés de la sociologie, de la physique et de l’économie afin de proposer une vision académique innovantes de la transition énergétique qui prennent en compte ses multiples dimensions.

**2) Description de la question/problématique scientifique rattachée au thème (1 page) / *Description of the scientific issue connected to the topic (1 page)***

Merci d’indiquer le positionnement des objectifs dans l’état de l’art (échelle internationale), les liens avec des projets existants et/ou futurs, la pertinence du cadre académique dans la question abordée.

*Please include description of motivation against (international) state-of-the-art, as well as links to other projects (existing or foreseen), relevance of the academic frame for the issue suggested.*

Les processus de décision à la base de l’évolution des mix énergétique et électrique induits par la transition énergétique sont particulièrement complexes. Parmi les outils à disposition des acteurs pour réaliser des études de prospective, les scénarios énergétiques et/ou nucléaires sont particulièrement répandus.

S’il y a aujourd’hui profusion de scénarios énergétiques et nucléaires produits par de multiples institutions, le rôle et l’impact de ces études sur l’évolution du mix énergétique et électrique reste particulièrement mal défini. Nous proposons en conséquence de répondre à la question du rôle des scénarios dans les décisions politiques et industrielles (notamment par rapport aux choix d’investissements) relatives à l’énergie du futur. Cet axe de recherche sera réalisé en lien étroit avec nos collègues sociologues de l’IMT Atlantique.

Les scénarios énergétiques ou nucléaires sont caractérisés par deux spécificités notables. Premièrement, la temporalité sous-jacente est en contradiction avec la temporalité de la décision politique. Deuxièmement, ils sont construits dans un contexte futur caractérisé par une incertitude profonde. Nous proposons d’apporter des réponses couplées aux deux spécificités mentionnées en utilisant des cadres d’analyses issus de la sociologie de la décision. Nous invoquerons pour cela les concepts de résilience/robustesse traduits en langage de physiciens et appliqués aux études de scénarios.

Au-delà de l’incertitude caractéristique du contexte futur, de nombreuses sources d’incertitudes sont transportées dans les modèles de simulation du cycle nucléaire. Nous proposons d’approfondir cette problématique à travers plusieurs axes de recherche complémentaires. Tout d’abord, nous produirons un état des connaissances relatives aux sources d’incertitudes « techniques » (biais de modélisation). Puis nous définirons des méthodologies innovantes pour propager ces incertitudes dans les scénarios nucléaires. Ensuite, nous proposons de dépasser les limites des modèles de réacteurs actuels (basés sur des calculs assemblage et des simplifications dans la gestion du combustible) en construisant de nouveaux modèles de réacteurs basés sur des calculs cœurs. Cet axe de recherche s’effectuera en collaboration avec nos collègues de Polytechnique Montréal avec qui plusieurs projets ont déjà été réalisés. Enfin, nous poursuivrons notre implication dans le projet international FIT dont l’objet est de quantifier l’impact d’une fonctionnalité des outils de simulation dynamique du cycle sur les observables de sortie et d’étudier leur propagation dans le cycle.

Nos prospectives ont également un lien très fort avec les études technico-économiques de scénarios énergétiques et nucléaires. Dans la poursuite du projet APESE, nous proposons de développer un modèle intégré décrivant les interrelations entre la sphère énergétique et la sphère économique. Ce modèle de croissance intégrant un secteur détaillé de l’énergie permettra d’analyser les scénarios de transition non seulement en termes de PIB et d’emploi mais également en termes d’énergie consommée par la transition elle-même pour sa mise en œuvre énergétique.

Enfin, nous proposons de poursuivre l’analyse interdisciplinaire de calcul des couts du nucléaire dans un contexte d’augmentation du renouvelable intermittent. Ces sources d’énergie ont un coût marginal de production quasiment nul, inférieur à celui du nucléaire, pourtant faible. Aussi, leur pénétration a tendance à évincer une partie des productions « classiques ». Cette variabilité a plusieurs effets importants pour le modèle économique des réacteurs et la gestion des matières radioactives associées que nous étudierons dans les prochaines années.

Collaborateurs (personnes ou organismes) identifiés ou potentiels (dans et hors IN2P3) :

* CEA Cadarache
* Département Sciences Sociales et de Gestion de l’IMT Atlantique
* LEMNA Nantes
* GAEL Grenoble
* Université de Madison Wisconsin (US)
* CIEMAT Madrid
* Université polytechnique et économique de Budapest
* Tractebel
* Polytechnique Montréal

Instruments/Outils impliqués :

* Grilles de calcul CCIN2P3
* Code de simulation du cycle électronucléaire
  + CLASS
* Code de simulation d’une transition énergétique
  + APESE - Physique
* Codes de transport / calcul d’évolution sous flux / Calcul cœur :
  + SMURE
  + SERPENT
  + MCNP
  + DONJON / DRAGON
* Code de modélisation économique
  + APESE - Investissement
  + EcoNUKE
  + FALCONE
  + POLES

**3) Suggestion de projet(s) pouvant répondre à la question/problématique proposée (1 page max.) / *Suggestion of project(s) addressing the issue proposed (1 page max)***

*Indiquer si possible l’envergure qu’auraient ce ou ces projets (manpower, budget, durée).*

*Indicate if possible the scale of this(these) project(s) (manpower, budget, duration).*

Pour répondre à ces problématiques, nous proposons une organisation en 4 work-packages :

WP 1 – Simulation dynamique du cycle du combustible

Ce work package s’appuie sur les compétences des physiciens des réacteurs du CNRS/IN2P3. Le code de simulation dynamique du cycle CLASS a été développé pour ce type d’études depuis 2010 et de nombreux travaux ont été réalisés dans ce cadre. Les objectifs de ce WP sont multiples. Une thèse sera demandée sur la quantification et la propagation des incertitudes dans les observables produites par l’outil de modélisation dynamique du cycle CLASS. Des modèles de réacteurs basés sur des calcul cœurs seront développés en lien avec Polytechnique Montréal sur la base de co-encadrement de projet de thèse. Enfin, l’animation et la coordination de la collaboration internationale FIT sera poursuivie sur la base des effectifs actuels.

Permanents CNRS/IN2P3 impliqués :

* 2 C.R. CNRS
* 1 E.C.

Besoins :

* Une thèse
* Un renfort permanent C.R. ou E.C.

Budget (Hors Salaires) :

* 20 K€ / ans pour les missions et le fonctionnement

WP 2 – Rôle et usage des scénarios, temporalité et contexte d’incertitude

Ce work package s’inscrit dans la continuité des projets interdisciplinaire menés entre des sociologues de l’IMT Atlantique et des physiciens de Subatech et de l’IPN d’Orsay. Les objectifs viseront à mieux définir les rôles et les usages des scénarios dans les décisions politiques et industrielles relatives au nucléaire du futur. Pour cela, de nombreux évènements (colloques, tables-rondes, etc.) seront organisés afin de produire le matériau (retranscriptions principalement) qui servira de base pour une thèse de sociologie.

Permanents CNRS/IN2P3 impliqués :

* 1 C.R. CNRS
* 1 E.C.

Permanents hors CNRS/IN2P3 impliqués :

* 1 E.C.

Besoins :

* Une thèse socio après 2020 avec liens forts vers la physique des réacteurs

Budget (Hors Salaires) :

* 10 K€ / ans pour les missions et le fonctionnement

WP 3 – Analyse de transitions énergétiques

Ce work package constitue la suite du projet APESE (Analyse Physique et Économique des Scénarios Énergétiques) porté par le CNRS/IN2P3 (IPN d’Orsay) en collaboration avec des économistes de l’université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Le but de la modélisation proposée permet de comparer les différents scénarios sur la base du coût énergétique des transitions qu’ils proposent, indépendamment de toute considération et hypothèses économiques, et d’en déduire l’énergie qui sera réellement disponible pour le reste de l’économie (production de biens de consommation et ménages). Des économistes de Nantes vont intégrer le projet et seront en charge du couplage entre les secteurs de production d’énergie et économique afin d’analyser leurs effets mutules lors d’une transition énergétique.

Permanents CNRS/IN2P3 impliqués :

* 2 C.R. CNRS
* 2 E.C.

Permanents hors CNRS/IN2P3 impliqués :

* 1 E.C.

Besoins :

* Un contrat post-doc

Budget (Hors Salaires) :

* 20 K€ / ans pour les missions et le fonctionnement

WP 4 – Impact sur le nucléaire de l’augmentation du renouvelable intermittent dans le mix électrique

Ce work package propose de coupler des outils de modélisation économique et physique et de développer un cadre d’analyse commun. Ces études sont actuellement le fruit d’une collaboration entre physiciens du CNRS/IN2P3 (Subatech/IPNO initialement, LPSC dans le futur) et économistes de l’énergie du LEMNA et ont vocation à être poursuivies. L’incertitude de la production à l’échelle de la journée augmente le besoin de suivi de charge des réacteurs, associé à une augmentation des coûts de maintenance mal connue. La quantification du besoin du suivi de charge, et de l’impact sur le modèle économique et le modèle d’affaire des réacteurs dépend à la fois des caractéristiques technico-économiques des sources intermittentes, des structures de marchés (capacité, réserves, énergies, CO2…) et des jeux d’acteurs qui se mettent en place à l’échelle européenne. Ces questions ne peuvent être abordées sans lien avec les WP2 et WP3. De plus, l’incertitude de production à l’échelle de l’année augmente l’incertitude sur le taux de charge moyen des réacteurs. Cette incertitude peut être en partie compensée par une optimisation des plans de chargement des réacteurs. L’étude de ces questions se fera en lien avec la modélisation des cœurs avec l’objectif d’alimenter les scénarios du WP1.

Permanents CNRS/IN2P3 impliqués :

* 1 E.C.

Permanents hors CNRS/IN2P3 impliqués :

* 2 E.C.
* 1 ITA

Besoins :

* Un CDD

Budget (Hors Salaires) :

* 20 K€ / ans pour les missions et le fonctionnement

**Merci de renvoyer ce document à** [**prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr**](mailto:prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr) **avant le   
1er Novembre 2019**

***Please send this document to*** [***prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr***](mailto:prosp2020-GT11-copil-l@in2p3.fr) ***before   
November 1rst, 2019***

**Liste des thèmes**

* Physique des réacteurs : modélisation et expérimentation, neutronique, thermohydraulique, couplage multi-physique, acquisition de données de base (sections efficaces, évaluation des données nucléaires, données de thermohydraulique), physique de la sous-criticité, études de scénarios, ouverture interdisciplinaire : approche technico-socio-économique (prix, coût, ressources, ...). Application aux réacteurs actuels et innovants, études de scénarios...
* Radiochimie des matières nucléaires : données de base (spéciation, interaction avec ligands), compréhension des processus de dissolution, de séparation, processus de diffusion, modélisation. Application au traitement des combustibles usés, processus de dissolution et d'extraction, conditionnement des radionucléides, diffusion des radionucléides dans un site de stockage (matériaux, barrière, argile)...
* Irradiation des matériaux nucléaires : compréhension des processus d'endommagement par les ions et neutrons, acquisition de données de base, modélisation. Application aux matériaux de structures et combustible, tenue des déchets nucléaires à l'irradiation, impact de l'irradiation dans les gisements...
* Radioactivité et environnement : acquisition de données de base (spéciation, ligands), modélisation, processus de transferts, mesures de très basses radioactivités. Application au comportement des radionucléides dans le biotope, microorganismes, exploration de procédés de remédiation.

***Research topics :***

* Reactor physics : modelling and experimentation, neutronics, thermohydraulics, multi-physics coupling, basic data acquisition (cross sections, evaluation of nuclear data, thermohydraulics data), subcriticality physics, scenario studies, interdisciplinary activities : technical-socio-economic approach (price, cost, resources, etc.). Application to current and innovative reactors, scenario studies....
* Radiochemistry of nuclear materials : basic data (speciation, interaction with ligands), understanding of dissolution, separation, diffusion processes, modelling. Application to the treatment of spent fuels, dissolution and extraction processes, conditioning of radionuclides, diffusion of radionuclides in a storage site (materials, barrier, clay)...
* Irradiation of nuclear materials : understanding of ion and neutron damage processes, basic data acquisition, modelling. Application to structural and fuel materials, resistance of nuclear waste to irradiation, impact of irradiation in deposits...
* Radioactivity and environment : acquisition of basic data (speciation, ligands), modelling, transfer processes, measurements of very low radioactivity. Application to the behaviour of radionuclides in the biotope, microorganisms, exploration of remediation processes.