

Gestion d'énergie dans un logement autonome doté d'équipements intelligents

Jacques Malenfant
professeur des universités

version 1.1 du 25/09/2019

Résumé

L'objectif de ce projet est de comprendre l'utilisation des concepts, des approches et des techniques du génie logiciel des systèmes cyber-physiques et des systèmes autonomes. Cet objectif sera poursuivi par le développement d'une application visant à gérer automatiquement la production et la consommation d'énergie électrique d'une maison dotée d'équipements (appareils électriques, capteurs, panneaux solaires, éolienne et batteries de stockage) intelligents. Ce projet se place dans le contexte futur du passage à des grilles d'énergie utilisant essentiellement des énergies renouvelables.

1 Problématique générale

Face à la pollution, aux changements climatiques et aux dangers non encore maîtrisés de l'énergie nucléaire (déchets, accidents, ...), l'Union européenne ainsi que de nombreux autres pays dans le monde ont engagé une double conversion de leurs réseaux de production et distribution d'électricité. Il s'agit :

- de réduire progressivement la part d'électricité produite par des grands équipements polluants (centrales nucléaires, centrales au charbon ou au gaz) pour les remplacer par des unités de production fonctionnant à partir d'énergies renouvelables (soleil, vent, ...);
- de rendre les équipements du réseau de production et distribution « intelligents » et de les relier par réseau informatique de manière à contrôler de manière beaucoup plus fine, précise et réactive l'équilibre entre production et consommation d'énergie.

Ces changements permettent de parler d'un passage aux *grilles d'énergie* dont le fonctionnement sera bien différent des réseaux de production et distribution d'aujourd'hui. En effet, la production d'électricité via les énergies renouvelables est beaucoup plus fluctuante et beaucoup plus répartie sur le réseau que celle via les énergies fossiles ou nucléaires. Aujourd'hui, la production est très centralisée et les décisions pour ajouter (démarrage d'une centrale au gaz par exemple) ou retirer de la production se font sur des prévisions à plusieurs heures correspondant aux délais de mise en route de tels équipements. Ceci rend la fluctuation dans la production invisible et pratiquement sans conséquences pour le consommateur. Pour palier les variations plus fortes et plus rapides dans la production, les grilles d'énergie prévoient que les consommateurs jouent un rôle beaucoup plus important dans le maintien de l'équilibre entre production et consommation. Les trois principaux moyens envisagés côté consommateur pour assurer l'équilibre lorsque la consommation dépasse la production sont :

1. Repousser certaines consommations à plus tard, par exemple en empêchant un appareil (chauffage, réfrigérateur, chauffe-eau, ...) de démarrer ou en reportant le démarrage d'appareils comme le lave-linge ou le four, surtout s'ils sont préprogrammés.
2. Utiliser des ressources locales, soit des unités de production (éolienne, panneaux solaires, ...), soit des unités de stockage (batteries fixes du logement, batterie d'un véhicule électrique, ...) pour compenser temporairement une production insuffisante du réseau.

3. L'échange d'énergie directement entre consommateurs, certains possédant des unités de production dont il peuvent céder une partie de la production temporairement.

Bien sûr, il n'est pas réellement envisageable que les consommateurs eux-mêmes prennent des décisions manuellement à la journée longue, y compris la nuit, pour gérer leur consommation. L'automatisation de ces fonctions sera la clé d'une mise en œuvre réaliste de cette vision du futur. Une solution possible serait de confier à l'opérateur du réseau de distribution le soin de contrôler les appareils de nos logements via des compteurs « intelligents ». Une alternative consiste plutôt à doter chaque logement d'un contrôleur local capable de « dialoguer » avec le réseau de distribution, de prendre puis d'appliquer des décisions au nom du consommateur à partir de règles de gestion décidées par ce dernier de manière opaque au réseau. Notons dans les deux cas, que la coopération des équipements est nécessaire, d'où la nécessité d'évoluer vers des équipements « intelligents » connectés souvent désignés par le terme « internet des objets ».

2 Maison à gestion d'énergie intelligente

Mise en garde préalable : L'objectif du projet n'est pas le réalisme absolu dans la matérialisation des phénomènes cyber-physiques ou des contrôles exercés. Il s'agit de comprendre ces phénomènes et leurs implications. Par contre, une attention importante sera accordée à la bonne conception des composants et de l'architecture logicielle et à la qualité du développement, comme il se doit dans la spécialité STL.

2.1 Équipements intelligents

Pour arriver à automatiser la gestion d'énergie d'un logement, il faudra des équipements électriques se prêtant à un contrôle à distance via réseau. Il serait possible de se contenter d'équiper le réseau électrique du logement de prises contrôlables à distance (permettant de couper le courant à l'équipement qui y est connecté), mais cela ne donnerait qu'un contrôle très grossier. Un appareil de chauffage par exemple pourrait offrir un contrôle beaucoup plus fin de sa consommation (en jouant sur la puissance) que simplement être allumé ou forcé à être éteint en lui coupant le courant.

Dans l'esprit de l'internet des objets, projetons-nous plutôt dans un avenir pas si lointain où les équipements seront contrôlables à distance par réseau et ce, en offrant une interface permettant de récupérer des informations sur ses fonctionnalités, sur son état courant ainsi que des opérations permettant de modifier son mode et ses paramètres de fonctionnement. Par exemple, un réfrigérateur devrait pouvoir annoncer qu'il possède deux compartiments (froid et congélation), que chacun a une température souhaitée contrôlable à distance (généralement 4° pour la partie froid et -18° pour la partie congélation) ainsi que deux températures internes courantes pouvant être lues à distance et un ou deux compresseurs pouvant être mis en attente individuellement.

Pour les besoins de la gestion de l'énergie au niveau d'un logement (maison) voire d'un quartier, les appareils électriques peuvent être classés dans trois catégories :

- les appareils à consommation suspensibles (réfrigérateur, chauffe-eau, ...) qui sont souvent en opération permanente mais à consommation intermittente pouvant être suspendue pour un temps plus ou moins long selon les conséquences (prévisibles) de cette suspension ;
- les appareils à consommation incontrôlable et souvent à peu près constante (sèche-cheveux, TV, ...) dont on ne peut que subir les effets ;
- les appareils à consommation planifiable (lave-linge, four, rechargement de batteries, ...) dont il est possible de planifier les utilisations et de modifier le plan pour avancer ou retarder leur démarrage selon la disponibilité de l'énergie en tenant compte éventuellement de contraintes spécifiées par l'utilisateur (le plat dans le four doit être prêt pour 20h00 ou la batterie de la voiture doit être pleine à 8h00 au plus tard, par exemple) ou dictées par les règles de sécurité (la température dans le congélateur ne doit pas monter au-dessus de -12°, par exemple).

De manière similaire, les unités locales de production d'énergie (parmi lesquelles on va inclure le stockage pour la partie décharge, la charge étant vue comme un appareil consommant de l'énergie) peuvent être classés dans deux catégories :

- les unités de production aléatoires (panneaux solaires, éoliennes, ...) à capacité plus ou moins limitée mais surtout dont on subit les niveaux de production en fonction des aléas de l'environnement (ensoleillement, vent, ...), offrant des possibilités d'intervenir uniquement pour des raisons de sécurité ou d'entretien (arrêt des éoliennes et mise en sécurité lorsque le vent est trop fort, par exemple) ;
- les unités de production intermittentes (batteries, génératrices à essence ou à gaz) qui ne produisent pas en permanence mais qui peuvent « à coup sûr » (sauf pannes) produire une quantité d'énergie contrôlable pour une durée maximale prévisible (par exemple, selon le niveau des réservoirs d'essence ou le niveau d'énergie restant dans les batteries).

Dans le cadre du projet, vous devrez inclure *au moins un appareil et au moins une unité de production de chacun des types précédents*. De plus, il sera nécessaire de pouvoir obtenir le niveau de consommation d'énergie instantanée totale du logement. Pour plus de réalisme, cela sera assuré par le compteur électrique supposé aussi intelligent et connecté dont il faudra inclure une version simplifiée aux seuls besoins utiles au projet (mesurer l'énergie instantanée consommée en watts mais pas le cumul de consommation en kwh utilisé pour la facturation, par exemple).

2.2 Gestion de l'énergie et contrôle

Dans cette application de gestion d'énergie, différentes techniques de contrôle sont utilisées. Certains appareils de tous les jours ont une fonction de contrôle simple intégrée :

- Chauffage : à partir d'une température cible et d'une lecture de la température ambiante, le thermostat de l'appareil l'allume et l'éteint de telle manière à maintenir la température ambiante proche de la température cible.
- Chauffe-eau : de manière similaire à celle d'un appareil de chauffage, le chauffe-eau maintient une température cible de l'eau dans son réservoir en agissant sur des éléments de chauffage électrique placés dans le réservoir.
- Four : similaire au chauffe-eau, avec éventuellement une minuterie qui arrête la cuisson au bout d'un temps déterminé par l'utilisateur.
- Réfrigérateur : il agit de même pour maintenir la température cible de ses compartiments, à ceci près qu'il utilise un compresseur pour refroidir et non des éléments de chauffage pour augmenter la température ; un réfrigérateur à un compresseur refroidit ses deux compartiments (s'il y en a deux) en même temps alors qu'avec deux compresseurs, les deux compartiments sont gérés indépendamment.

Pour ces contrôleurs, le plus simple sera d'utiliser des formes de contrôle basiques venant de l'automatique comme les contrôleurs à seuils avec hystérésis que nous verrons aux cours 3 et 4, mais il vous sera possible d'utiliser des contrôleurs plus complexes si vous le souhaitez.

Ensuite, le contrôleur de gestion d'énergie du logement va exercer aussi une forme de contrôle en collectant des données sur l'état actuel de la consommation et des appareils, en conservant une liste des demandes de consommation (lave-linge ou four à démarrer) ou des appareils dont la consommation a été suspendue (réfrigérateur, chauffe-eau, chauffage, ...) pour décider selon la demande et la production courantes les actions de gestion d'énergie appropriées. Ce type de contrôle pourra utiliser les techniques présentées en cours dans le contexte de l'informatique autonome ou de la robotique autonome.

2.3 Influence de l'environnement

L'environnement désigne ici tous les facteurs influençant la gestion d'énergie en dehors des appareils et des unités de production qui ne sont pas contrôlables. Par exemple, on pourra intégrer :

- la température extérieure qui influence via la porosité thermique des murs du logement la manière dont décroît la température intérieure ;
- l'intensité d'ensoleillement courant qui influe sur la capacité de production des panneaux solaires ;
- la force du vent qui influe sur la capacité de production des éoliennes ;
- la température de l'eau froide provenant du réseau de distribution d'eau qui influe sur la la température de l'eau du réservoir d'eau chaude lorsque la consommation d'eau chaude

nécessite son remplissage.

Ces éléments entrant en ligne de compte pour la gestion de l'énergie, il faudra intégrer dans l'architecture logicielle des capteurs connectés permettant de connaître les valeurs courantes de ces facteurs d'environnement (thermomètre extérieur, thermomètre sur le compteur d'eau, anémomètre, ...).

Pour être en mesure de mettre au point et de tester systématiquement le système, il faudra être en mesure de simuler ces phénomènes pour produire des données d'entrée réalistes au système de gestion d'énergie.

2.4 Impact des utilisateurs

Dans un logement, les activités des utilisateurs sont à l'origine de la demande d'énergie des appareils. Par exemple, les phénomènes suivants pourront être intégrés :

- les choix des températures cibles pour les appareils concernés ;
- les moments et durée de consommation d'eau chaude (aux heures de repas pour laver la vaisselle, matin pour les douches, soir pour les bains, ...) ;
- les accès au réfrigérateur (ouvertures et fermetures des portes) qui influent sur la rapidité de l'augmentation de la température interne des compartiments ;
- demandes planifiées d'utilisation des appareils concernés (four, lave-linge, ...) ;
- allumage et extinction des appareils à consommation incontrôlable.

Encore ici, pour mettre au point et tester le système, il faudra être en mesure de simuler ces comportements, selon les appareils qui seront inclus dans le système.

3 Étape 1 — composants logiciels et leur interconnexion

Dans le contexte du projet, chaque équipement sera représenté par un composant avec (au moins) une interface offerte explicitant les opérations permises. Le compteur électrique et le contrôleur de gestion d'énergie seront également représentés par des composants. Tous les appareils et les unités de production seront connectés au contrôleur pour être pilotés à distance par ce dernier. À cette étape, il n'est pas nécessaire de mettre en oeuvre les contrôles (ni sur les appareils, ni sur le contrôleur) car ce sera un des objectifs de la seconde étape du projet. Le contrôleur électrique sera également connecté au contrôleur, mais il ne sera pour l'instant testé très simplement pour s'assurer que le contrôleur peut récupérer les données de consommation instantanée ; des données réalistes pour les tests ne seront intégrées qu'à la seconde étape également.

Une fois sélectionnés les appareils et unités de production que vous allez inclure dans votre projet, il faudra faire une conception de chacun en déterminant les opérations qui seront disponibles sur ces derniers de manière à spécifier les interfaces qu'ils vont offrir. Vous devrez ensuite implanter les différents composants et un assemblage exécutable. Pour cette étape, la consommation électrique ne sera pas matérialisée. En effet, la connexion électrique n'est pas de nature informatique ; elle sera simulée par des techniques qui vont être intégrées à la seconde étape du projet.

Modalité de réalisation

À titre de suggestion, la réalisation de cette étape peut elle-même se décomposer en tâches :

- identification des équipements à inclure dans votre projet (appareils et unités de production) ;
- définition des interfaces offertes et requises puis développement des composants (la consommation électrique n'étant pas modélisée à cette étape, contentez-vous de vous assurer que vos appareils passent bien d'un mode à l'autre quand les opérations correspondantes sont appelées et que les opérations permettant de récupérer des données fonctionnent correctement) ;
- assemblage statique des composants pour former une application exécutable ;

- programmation de scénarios de démonstration en utilisant les méthodes `start` et `execute` des composants.

Il est vivement conseillé d’y aller très progressivement en commençant par des interfaces très simples (par exemple, permettant simplement d’allumer et d’éteindre les appareils), les tester pour les mettre au point puis d’ajouter graduellement des fonctionnalités pour rendre le modèle plus réaliste. Du point de vue développement BCM, il est aussi vivement conseillé de faire toute la mise au point d’abord en exécution mono-JVM et de ne passer à une exécution multi-JVM que pour préparer votre soutenance à mi-semestre.

À l’issue de cette étape, vos réalisations devraient permettre :

- d’expliquer votre conception, les choix que vous aurez faits et l’état d’avancement que vous aurez atteint ;
- d’avoir au moins 5 composants appareils et unités de production (un de chacun des types énumérés ci-haut) ainsi que des versions dégénérées du compteur et du contrôleur dans un assemblage exécutable ;
- d’exécuter des scénarios réalistes représentant par exemple une (partie de) journée dans la vie du logement et de pouvoir suivre les changements de mode de fonctionnement ordonnés par le contrôleur ;
- de faire une démonstration à la fois en mono-JVM et en multi-JVM.

Dès cette étape, vous pourrez inclure des éléments du bonus décrits ci-après. Lorsque vous aurez atteint les objectifs de cette étape, il est conseillé de débiter l’étape suivante sans nécessairement attendre que la soutenance à mi-semestre soit passée mais dès que les cours introduisant les notions utiles auront été vus.

4 Étape 2 — contrôle et simulation

Dans la seconde étape, en se basant sur les connaissances et compétences développées en cours sur le contrôle et la simulation des systèmes cyber-physiques, l’objectif sera d’introduire une première simulation de la consommation d’électricité et des contrôles à la fois des appareils (chauffage, chauffe-eau, four, réfrigérateur, ...) et du contrôleur de gestion d’énergie du logement.

Pour la modélisation de la consommation d’énergie, chaque composant représentant un équipement va être doté d’un simulateur DEVS qui va modéliser et simuler sa consommation en fonction de son mode de fonctionnement et des paramètres de la simulation (par exemple, températures cibles, température extérieure, etc.). Les connaissances et compétences nécessaires pour ce faire sont développées aux cours 5 et 6 (vus avant le début de cette étape 2). Pour les contrôles, les connaissances et compétences seront vues dans les cours 3 et 4.

Modalité de réalisation

À titre de suggestion, la réalisation de cette étape peut elle-même se décomposer en tâches :

- recherches sur Internet pour trouver des informations réalistes sur les fonctionnalités et les niveaux de consommation ou de production d’énergie des équipements sélectionnés (commencez par choses simples, en prenant un niveau fixe de consommation par mode de fonctionnement puis, quand vos simulateurs fonctionneront bien, vous pourrez développer des modèles plus complexes),
- développement des simulateurs de chaque composant et leurs tests unitaires,
- intégration des simulateurs et des opérations des appareils développées à l’étape 1 et leurs tests unitaires également,
- développement des modèles de simulation de l’environnement et des actions des utilisateurs,
- construction de l’architecture de simulation sur l’ensemble des composants et sa mise au point pour pouvoir exécuter des scénarios de tests d’intégration.

À l’issue de cette étape, vos réalisations devraient permettre :

- d’expliquer votre conception, les choix que vous aurez faits et l’état d’avancement que vous aurez atteint ;

- de montrer individuellement le comportement simulé des différents appareils avec des scénarios illustrant les fonctionnalités de chacun (par exemple, allumage et extinction du chauffage) ;
- de montrer des scénarios de simulation complets permettant de suivre la consommation d'énergie de chaque appareil et au niveau global via le compteur ainsi que les actions de gestion d'énergie du contrôleur.

5 Étape 3 — dynamicité et coordination

Dans cette troisième étape, nous allons aborder des aspects plus avancés à la fois dans les aspects purement logiciel et dans les aspects de coordination des systèmes de contrôle cyber-physiques répartis.

À l'étape 1, vous aurez programmé manuellement les interfaces, les ports sortants et les connecteurs permettant de relier le contrôleur aux appareils et aux unités de production. Dans un scénario industriel concret, ceci supposerait que le fabricant du contrôleur connaisse les interfaces de connexion de *tous* les équipements qu'il pourrait contrôler *à l'avance*, ce qui n'est pas très réaliste. Nous allons plutôt supposer que le contrôleur offre une interface connue permettant aux équipements de se connecter à lui et que lors de cette connexion les équipements lui passent une description en XML¹ de leur interface dont ce dernier va se servir pour générer à la volée son interface requise, son port sortant et le connecteur qui vont lui permettre de se connecter à l'équipement concerné.

Ensuite, côté contrôle cyber-physique, vous allez ajouter la possibilité d'interconnecter des logements entre eux pour partager la production et le stockage d'énergie. Une interface sera proposée pour ce faire et elle permettra aussi d'établir un lien de fourniture d'énergie d'un compteur à l'autre. Il sera alors possible pour le contrôleur de gestion d'énergie d'un logement de savoir si d'autres contrôleurs qui lui sont reliés disposent de capacités de production ou de stockage disponibles afin de les utiliser à son profit. Pour cela, il sera mis en place un autre composant permettant la coordination entre les contrôleurs pour réguler ces échanges.²

Modalité de réalisation

À l'issue de cette étape, vos réalisations devraient permettre :

- d'expliquer l'ensemble de votre conception, des choix que vous aurez faits et l'état final que vous aurez atteint ;
- de montrer la capacité du contrôleur à intégrer de nouveaux équipements dont il ne connaissait pas l'interface au départ ;
- d'illustrer la coordination entre contrôleurs de gestion sur des scénarios pertinents ;
- de faire une démonstration à la fois en mono-JVM et en multi-JVM.

6 Bonus — interface graphique pour les utilisateurs

Quelques applications sur plates-formes mobiles (téléphone, tablette) existent aujourd'hui pour suivre sa consommation d'énergie et faire manuellement une partie de la gestion d'énergie (par exemple, programmer le chauffage). Il serait intéressant dans notre application que le contrôleur de gestion d'énergie offre à l'utilisateur la possibilité de faire manuellement des opérations sur ses appareils. Par exemple, il pourrait lancer une cuisson dans le four en programmant une heure de départ et une durée, ce que le contrôleur relayerait à l'appareil et dont il prendrait note pour ses décisions de gestion d'énergie subséquentes.

1. Cette description en XML sera expliquée plus en détails dans une prochaine version de ce document.

2. Dans une vision plus complète d'une grille d'énergie, des plates-formes d'échange d'énergie devraient permettre à un consommateur par exemple de proposer ses excédents de production pour les mettre à l'enchère des ses voisins, ces derniers achetant l'énergie à un prix plus ou moins élevés en fonction de leurs besoins immédiats (par exemple, nécessité de recharger complètement les batteries de la voiture électrique pour un long trajet prévu le lendemain). Sans aller aussi loin dans le projet, une plate-forme d'échange simpliste permettant de préfigurer de telles fonctionnalités sera mise en place.

Pour cela, le contrôleur doit offrir une interface graphique permettant à l'utilisateur de faire ces opérations. En guise de bonus pour le projet, vous pouvez développer une telle interface graphique. Débutez par une interface préprogrammée statique, ce qui vous permettra de maîtriser le code nécessaire. Ensuite, on peut aborder le problème de la même manière que celle de l'interface de composants de l'étape 3. De fait, il n'est pas réaliste industriellement qu'un contrôleur connaisse tous les équipements électriques qu'on pourrait vouloir lui connecter. Une version plus dynamique utiliserait la description en XML des opérations disponibles sur chaque appareil déjà prévue pour générer dynamiquement aussi le code nécessaire pour son interface graphique puis d'utiliser ce code pour activer l'interface lorsque l'utilisateur accède à chaque appareil. Plus concrètement, imaginez que le contrôleur offre un écran permettant de parcourir tous les appareils qui lui sont connectés et en cliquant sur un appareil, un écran spécifique à cet appareil apparaît et permet à l'utilisateur de cliquer sur une opération, remplir les champs nécessaires et lancer l'exécution de cette opération sur l'appareil.

Modalité de réalisation

Ce bonus peut être réalisé à tout moment pendant le semestre, sachant que les connaissances et compétences nécessaires seront vues au cours 2. Il peut être réalisé entièrement et démontré à une étape donnée ou encore réalisé progressivement et démontré graduellement sur plusieurs étapes. Il donnera lieu à une évaluation en points bonus s'ajoutant aux points acquis lors des évaluations normales accordés pour la réalisation complète ou partielle de la version dynamique de cette interface graphique.

7 Modalités de remise et d'évaluation des projets :

- Le projet se fait **obligatoirement en équipe de deux étudiants**. Tous les fichiers sources du projet doivent comporter les noms (balise `authors`) de tous les auteurs en Javadoc. Lors de sa formation, chaque équipe devra se donner un nom et me le transmettre avec les noms des étudiants la formant au plus tard le **30 septembre 2019**.
- Le projet doit être réalisé avec Java SE 8. Attention, peu importe le système d'exploitation sur lequel vous travaillez, il faudra que votre projet s'exécute correctement sous Eclipse en Mac Os X (que j'utilise et sur lequel vous devrez me faire vos soutenances).
- Votre rendu final de projet devra inclure une *documentation Javadoc* des différents paquets de votre projet. La documentation Javadoc sera générée et incluse dans votre livraison dans un répertoire `doc` au même niveau que votre répertoire `src`.
- Votre code final doit aussi être commenté, être lisible et correctement présenté (indentation, choix pertinents des identifiants, ...).
- L'évaluation comportera quatre épreuves : deux audits intermédiaires, une soutenance à mi-semestre accompagnée d'un rendu de code et une soutenance finale accompagnée du rendu final du projet et de la documentation associée. Les deux audits intermédiaires dureront 15 minutes (par équipe). La soutenance à mi-parcours durera 20 minutes. La soutenance finale durera 30 minutes. Le tout se déroulera selon les modalités suivantes :
 1. Les **deux audits intermédiaires** auront lieu pendant les séances du cours, *a priori* le **23 octobre 2019** puis le **8 janvier 2020**. Ils se dérouleront de manière informelle devant votre ordinateur où vous pourrez me présenter l'état d'avancement de votre projet et répondre à mes questions. Ils donneront lieu à une note sur 20 valant chacune 10% de la note finale de l'UE. L'audit 1 visera à vérifier que vous avez bien entamé le projet et que votre progression est raisonnable à cette date, sans toutefois fixer un objectif couperet ; elle vous permettra également de poser des questions pour orienter la suite de votre travail. L'audit 2 portera sur l'atteinte des objectifs de l'étape 2 tel que décrits précédemment.
 2. La **soutenance à mi-parcours** portera sur l'atteinte des objectifs de la première étape du projet et elle aura lieu dans la semaine des premiers examens répartis, *a priori* le **20 novembre 2019** ; elle donnera lieu à une note sur 20 comptant pour 30% de la note finale de l'UE. Elle comportera une discussion des réalisations pendant une quinzaine de minutes (devant l'écran sous Eclipse) et une courte démonstration de cinq minutes

sur un ordinateur fourni (sous Mac Os X) à partir du rendu du projet. Les rendus à mi-parcours se feront le **dimanche 17 novembre 2019 à minuit** au plus tard.

3. La **soutenance finale** portant sur l'ensemble du projet mais avec un accent sur les deuxième et troisième étapes aura lieu dans la semaine des seconds examens répartis, *a priori* dans la semaine du **3 février 2019** ; elle donnera lieu à une note sur 20 comptant pour 50% de la note finale de l'UE. Elle comportera une présentation d'une douzaine de minutes (en utilisant des transparents), une discussion d'une dizaine de minutes également devant écran sur les réalisations suivie d'une démonstration sur un ordinateur fourni (sous Mac Os X) à partir du rendu final du projet. Les rendus finaux se feront le **dimanche 3 février 2019 à minuit** au plus tard.
- Bien que les audits et les soutenances se fassent par équipe, l'évaluation reste à chaque fois **individuelle**. Lors des audits et des soutenances, *chaque étudiant* devra se montrer capable d'expliquer différentes parties du projet, et selon la qualité de ses explications et de ses réponses, sa note peut être supérieure, égale ou inférieure à celle de l'autre membre de son équipe.
- Les audits et les soutenances auront lieu selon un horaire de passage qui sera publié le moment venu sur le site de l'UE. **Tout retard** de l'équipe de plus de dix minutes à ces soutenances entraînera son **annulation** et une note de 0 sera attribuée aux deux membres de l'équipe pour l'épreuve concernée. Si un des membres d'une équipe arrive avec plus de dix minutes de retard, il sera exclu de l'épreuve et une note de 0 lui sera attribuée. Dans ce cas, si l'autre membre de l'équipe est à l'heure, il passera l'épreuve seul.
- Le rendu à mi-parcours et le rendu final se font sous la forme d'une archive **tgz** si vous travaillez sous Unix ou **zip** si vous travaillez sous Windows que vous m'enverrez à Jacques.Malenfant@lip6.fr comme attachement fait proprement avec votre programme de gestion de courrier préféré ou encore par téléchargement avec un lien envoyé par courrier électronique (en lieu et place du fichier). Donnez pour nom au répertoire de projet et à votre archive celui de votre équipe (ex. : équipe LionDeBelfort, répertoire de projet **LionDeBelfort** et archive **LionDeBelfort.tgz**).
- **Tout manquement à ces règles élémentaires entraînera une pénalité dans la note des épreuves concernées !**
- Pour l'épreuve de deuxième session, si elle s'avérait nécessaire, elle consiste à poursuivre le développement du projet pour résoudre ses insuffisances constatées à la première session et donnera lieu à un rendu du code puis à une soutenance dont les dates seront déterminées en fonction du calendrier du master.

FIN DU DOCUMENT.