Pro Expert Recommandé puis Espace Etudiant M2RP

**Domaine : Ingénierie nucléaire, gestion de projet, radioprotection, démantèlement.**

Objectif : Extraire toutes les informations, données techniques, organisationnelles, réglementaires et méthodologiques contenues dans le document « Projet-Ingenierie-2024-2025vEnglish.pdf ». Structurer l’extraction pour permettre la réalisation exhaustive du projet par une équipe d’étudiants (composition, tâches, rendus, délais, contraintes).  
Paramètres et consignes :  
Distinguer clairement : Données techniques (géométrie, composition, historique opérations/accidents, radioéléments), Contraintes réglementaires et méthodologiques, Critères d’évaluation, Organisation des équipes et livrables, Chronologie/milestones.  
Extraire et lister : Toutes les valeurs quantitatives (dimensions, niveaux d’activité, doses, incidents), tous les éléments d’annexe (formules, liens, bases de données, MOOC, outils logiciels, références), spécificités concernant la prise en compte du tritium et la gestion des risques.  
Intégrer les références réglementaires, outils recommandés, exigences précises sur la méthodologie de calcul, hypothèses à valider, données à croiser/comparer (DEM, Monte-Carlo, calculettes).  
Formater en rubriques hiérarchisées :  
Présentation du contexte et historique  
Description/exigences techniques (réacteur, cuves, radionucléides…)  
Organisation du projet (équipes, rôles, relation client/interne)  
Détail des étapes, échéances, attendus/outputs  
Annexe méthodologique, formules fondamentales, bases de données à utiliser  
Synthèse des critères d’évaluation de la prestation  
Livrable attendu :  
Sortie TXT structurée, rubriquée, facilitant la redistribution des tâches et la planification en équipe projet.  
Extraction précise, sans omission ni doublons ; clarté et exhaustivité pour permettre à tout binôme/équipe de reproduire le projet.  
Tous les liens, formules et conditions d’application indépendants dans un encart technique dédié.  
Fonctions avancées :  
Détection de biais, manques ou ambigüités dans les données (référentiel ISO 24001, analyse comparative multi-modèle si possible).  
Intégration des annexes, tableaux et métadonnées (titre, version document, pagination si dispo).  
Usage optimal du modèle : Claude 4.5 Sonnet ou GPT-4.5 Turbo pour extraction initiale, relance sur Grok 4 ou OPUS Pensée pour validation et comparaison multi-modèles. Succession recommandée : Extraction -> Validation -> Analyse critique.  
Introduction : Démarre par une synthèse expliquant le contexte, l’organisation du projet, et la finalité du document extrait, suivie de la structure détaillée par rubrique.

Voici l'extraction exhaustive et structurée de toutes les données pertinentes du document pour la réalisation du projet d'ingénierie de niveau Master 2 à l'IMT Nantes :[[1]](#fn1)

**EXTRACTION COMPLÈTE - PROJET DÉMANTÈLEMENT CELLULE 241B ARRONAX**

**SYNTHÈSE CONTEXTUELLE**

Le projet pédagogique porte sur un appel d'offres fictif mais réaliste pour le démantèlement de la cellule 241B du cyclotron ARRONAX (Nantes). Les étudiants, regroupés en équipes de 4 (société MARS), doivent répondre à un cahier des charges complet comprenant radioprotection, zonage radiologique, estimation des compositions radioactives, et scénarios de démantèlement optimisés. L'objectif est de développer des compétences en gestion de projet, calculs de radioprotection, utilisation de logiciels spécialisés (DEM+, Monte-Carlo) et analyse technico-économique.[[1]](#fn1)

**1. PRÉSENTATION DU CONTEXTE ET HISTORIQUE**

**1.1 Site et installation**

* **Localisation** : Cyclotron ARRONAX, Saint-Herblain (Nantes)[[1]](#fn1)
* **Installation concernée** : Cellule 241B - station de stockage et transfert d'effluents actifs[[1]](#fn1)
* **Composition** : 3 cuves de stockage pour effluents du système de refroidissement des cibles lors de production de radionucléides médicaux[[1]](#fn1)
* **Radionucléides produits** : ⁸²Sr et ⁹⁹ᵐTc (médecine nucléaire, imagerie)[[1]](#fn1)
* **État** : Installation obsolète à déconstruire[[1]](#fn1)

**1.2 Origine de la contamination**

* **Sources normales** : Noyaux de recul produits durant l'irradiation des cibles[[1]](#fn1)
* **Sources accidentelles** : Incidents de rupture de cibles pendant l'irradiation[[1]](#fn1)
* **Concentrations variables** selon l'historique d'exploitation[[1]](#fn1)

**2. DONNÉES TECHNIQUES DÉTAILLÉES**

**2.1 Géométrie de l'installation (Annexe 1)**

**Salle des cuves**

* Dimensions : 21,598 m × 10,2 m[[1]](#fn1)
* Hauteur : 3,749 m[[1]](#fn1)
* Épaisseur des murs : 1,375 m[[1]](#fn1)

**Cuve n°1**

* Matériau : Acier, épaisseur 4 mm[[1]](#fn1)
* Positionnement : Placée sous le mur[[1]](#fn1)
* Diamètre : 2,04 m[[1]](#fn1)
* Longueur : 4,495 m[[1]](#fn1)
* Volume : 100 L d'eau déionisée[[1]](#fn1)
* Couleur schéma : Orange (Figure 2)[[1]](#fn1)

**Cuve n°2**

* Matériau : Acier, épaisseur 4 mm[[1]](#fn1)
* Diamètre : 1,428 m[[1]](#fn1)
* Hauteur : 2,289 m[[1]](#fn1)
* Volume : 100 L d'eau déionisée[[1]](#fn1)
* Couleur schéma : Orange (Figure 3)[[1]](#fn1)

**Cuve n°3 (Tritium)**

* Matériau : Acier, épaisseur 4 mm[[1]](#fn1)
* Référence : Voir Annexe 2 pour détails[[1]](#fn1)
* Volume : 100 L d'eau déionisée[[1]](#fn1)
* Particularité : Présence significative de tritium[[1]](#fn1)
* Couleur schéma : Orange (Figure 4)[[1]](#fn1)

**2.2 Composition radiologique des cuves (Annexe 2)**

**CUVE N°1 : Refroidissement cibles P2 et P3 (Production ⁸²Sr)**

**Conditions de production normales**

* Cible : Rubidium métallique dans capsule acier 316L (épaisseur 0,1 mm)[[1]](#fn1)
* Refroidissement : Cible immergée dans eau de refroidissement[[1]](#fn1)
* Énergie protons : 70 MeV (entrée) → 40 MeV (sortie cible)[[1]](#fn1)
* Intensité faisceau : 100 µA[[1]](#fn1)
* Durée irradiation typique : 120 heures (5 jours) en continu[[1]](#fn1)
* Fréquence : 1 irradiation/mois[[1]](#fn1)
* Durée d'exploitation : 5 ans[[1]](#fn1)

**Contamination en fonctionnement normal**

* Noyaux de recul : Négligeables (à justifier)[[1]](#fn1)
* Tritium : Présent (choix à justifier)[[1]](#fn1)

**Historique des incidents**

* **Nombre d'incidents** : 3 ruptures de cibles[[1]](#fn1)
* **Dates** :
  + T₀ - 40 mois[[1]](#fn1)
  + T₀ - 23 mois[[1]](#fn1)
  + T₀ - 3 mois[[1]](#fn1)
* **Conséquence** : Dissolution totale du contenu de la cible dans l'eau de refroidissement[[1]](#fn1)

**Radionucléides produits en cas de rupture**  
À considérer et justifier :[[1]](#fn1)

* ⁸²Sr
* ⁸³Sr
* ⁸⁵Sr
* ⁸⁶Rb
* ⁸⁴Rb
* ⁸³Rb
* ⁸²Rb
* ⁸³ᵐKr

**Composition estimée (à valider par calcul indépendant)**[[1]](#fn1)

* ⁸²Sr = 343 mCi
* ⁸³Sr = 0 mCi
* ⁸⁵Sr = 504 mCi
* ⁸⁶Rb = 15 mCi
* ⁸⁴Rb = 762 mCi
* ⁸³Rb = 490 mCi
* ⁸²Rb = 343 mCi
* ⁸³ᵐKr = 490 mCi

**CUVE N°2 : Refroidissement cibles A1 et A2 (Production ⁹⁹ᵐTc)**

**Conditions de production**

* Cible : ¹⁰⁰Mo enrichi à 100%[[1]](#fn1)
* Énergie protons : 24 MeV[[1]](#fn1)
* Intensité faisceau : 100 µA[[1]](#fn1)
* Durée irradiation typique : 6 heures[[1]](#fn1)
* Fréquence : 3 irradiations/semaine[[1]](#fn1)
* Perte moyenne : 2 cibles/mois[[1]](#fn1)

**Contamination**

* En fonctionnement normal : Circuit de refroidissement non en contact avec le faisceau[[1]](#fn1)
* En cas de rupture : Totalité de la production dissoute dans le circuit[[1]](#fn1)

**Radionucléides à considérer**

* ⁹⁹ᵐTc (et filiations éventuelles à identifier)[[1]](#fn1)

**CUVE N°3 : Refroidissement éléments de ligne de faisceau**

**Fonction**

* Refroidissement des éléments de diagnostic[[1]](#fn1)
* Refroidissement des cages de Faraday utilisées pour ajustement du faisceau[[1]](#fn1)

**Conditions d'utilisation**

* Épaisseur d'eau : Suffisante pour arrêter complètement le faisceau dans la cage de Faraday[[1]](#fn1)
* Durée opération : 1 heure[[1]](#fn1)
* Fréquence : Systématique avant chaque tir[[1]](#fn1)
* Énergie et intensité : Variables selon réglages requis[[1]](#fn1)

**Contamination principale**

* **Tritium** : Production significative par activation de l'eau[[1]](#fn1)
* Autres radioéléments à identifier selon conditions d'irradiation[[1]](#fn1)

**3. CONTRAINTES RÉGLEMENTAIRES ET MÉTHODOLOGIQUES**

**3.1 Hypothèses simplificatrices**

**Rayonnements à considérer**

* **À prendre en compte** : Rayonnements électromagnétiques uniquement (photons γ)[[1]](#fn1)
* **À négliger** : Rayonnement de freinage (Bremsstrahlung) dû à l'interaction des électrons avec les parois métalliques des cuves[[1]](#fn1)
* **Justification** : Épaisseur d'acier (4 mm) suffisante pour arrêter les particules chargées[[1]](#fn1)

**3.2 Principe ALARA**

* Application obligatoire : Optimisation des doses As Low As Reasonably Achievable[[1]](#fn1)
* Intégration dans tous les scénarios de démantèlement[[1]](#fn1)

**3.3 Gestion des déchets**

* Minimisation des quantités[[1]](#fn1)
* Identification des filières de traitement appropriées[[1]](#fn1)
* Optimisation du conditionnement[[1]](#fn1)

**3.4 Gestion spécifique du tritium**

* Prise en compte obligatoire, particulièrement pour cuve n°3[[1]](#fn1)
* Impact sur les conditions de chantier[[1]](#fn1)
* Mesures de protection spécifiques à définir[[1]](#fn1)

**4. CRITÈRES D'ÉVALUATION DE L'APPEL D'OFFRES**

**4.1 Pondération des critères**[**[1]**](#fn1)

* **Aspects techniques** : 40%
* **Aspects financiers** : 40%
* **Impact sur l'activité du site** : 20%

**4.2 Critères techniques détaillés**

* Robustesse de la méthodologie de calcul[[1]](#fn1)
* Qualité du zonage radiologique[[1]](#fn1)
* Validation indépendante des compositions[[1]](#fn1)
* Comparaison avec logiciel DEM+[[1]](#fn1)
* Bonus : Comparaison avec outil Monte-Carlo[[1]](#fn1)
* Pertinence des scénarios de démantèlement[[1]](#fn1)
* Application du principe ALARA[[1]](#fn1)
* Gestion du tritium[[1]](#fn1)

**4.3 Critères financiers**

* Optimisation des coûts de démantèlement[[1]](#fn1)
* Rapport coût/sécurité[[1]](#fn1)

**4.4 Critères d'impact site**

* Durée d'intervention minimisée[[1]](#fn1)
* Perturbation limitée de l'activité ARRONAX[[1]](#fn1)

**5. ORGANISATION DU PROJET**

**5.1 Structure des équipes**

**Société fictive** : MARS (ingénierie, démantèlement et radioprotection)[[1]](#fn1)

**Composition des équipes**[[1]](#fn1)

* 4 étudiants par équipe
* 2 étudiants de chaque cursus
* Équipes mixtes : anciens étudiants Université de Nantes + nouveaux arrivants
* Organisation en gestion de projet obligatoire

**Rôles spécialisés**[[1]](#fn1)

* **Experts radioprotection** :
  + Étude de zonage
  + Validation composition cuves par calculs indépendants
  + Cartographie radiologique
  + Évaluation doses
* **Experts démantèlement** :
  + Élaboration scénarios avec DEM+
  + Optimisation coûts
  + Planification opérationnelle
  + Gestion des déchets

**Coordination**[[1]](#fn1)

* Échanges réguliers entre experts radioprotection et démantèlement
* Réunions d'avancement entre séances programmées
* Retour des experts radioprotection sur composition réelle → experts démantèlement finalisent scénarios

**5.2 Encadrement**

* **Responsable** : M. Plouf, chef du service ingénierie de MARS[[1]](#fn1)
* **Contact** : [mars-ingenierie@subatech.in2p3.fr](mailto:mars-ingenierie@subatech.in2p3.fr)[[1]](#fn1)

**6. CHRONOLOGIE ET LIVRABLES DÉTAILLÉS**

**6.1 Calendrier complet**

**Séance 1 - 13 septembre 2024**[[1]](#fn1)

* Présentation des travaux
* Définition des groupes
* Démarrage travaux de groupe

**Séance 2 - 27 septembre 2024**[[1]](#fn1)

* **Livrable** : Présentation PowerPoint
  + Compréhension du cahier des charges
  + Diagramme de Gantt construit (phases, jalons, dates livrables intermédiaires)
  + Structure du projet (entités, responsabilités)
  + Identification phases d'échanges (qui fait quoi ? quand ?)

**Séance 3 - 8 octobre 2024**[[1]](#fn1)

* Travail de groupe

**Séance 4 - 4 novembre 2024**[[1]](#fn1)

* **Jalon 1** : Résultats pour cuve n°1 (ou au minimum méthodologie)
* Présentation orale avec support écrit à remettre aux superviseurs

**Séance 5 - 9 décembre 2024**[[1]](#fn1)

* **Jalon 2** : Présentation du zonage
* Support écrit à remettre
* Si composition calculée non prête : utiliser celle donnée par ARRONAX

**Séance 6 - 10 décembre 2024**[[1]](#fn1)

* **Jalon 3** : Présentation premier(s) scénario(s) de démantèlement
* Support écrit à remettre

**Séance 7 - 12 décembre 2024**[[1]](#fn1)

* **Jalon final** : Finalisation de toutes les estimations et scénarios de démantèlement avec données d'entrée définitives

**13 février 2025 - 23h30**[[1]](#fn1)

* **DATE LIMITE** : Remise réponse appel d'offres
* Format : Word ou PDF
* Envoi : [mars-ingenierie@subatech.in2p3.fr](mailto:mars-ingenierie@subatech.in2p3.fr) avec accusé de réception
* Contenu : Document détaillant propositions et méthodologie
* **Nature** : Livrable collectif nécessitant interaction continue de l'équipe

**Séance 8 - 20 février 2025**[[1]](#fn1)

* **Soutenance finale** : Défense de la proposition
* Durée : 30 minutes par équipe
* Contenu :
  + Présentation résultats et méthodologie
  + Rapport sur gestion de projet mise en place
  + Points d'amélioration envisagés pour prochain projet d'ingénierie

**6.2 Dates clés**

* **T₀** : Date d'arrêt exploitation cuves[[1]](#fn1)
* **T₀ à T₀+2 mois** : Période de démarrage travaux démantèlement[[1]](#fn1)

**6.3 Modalités d'évaluation**

* Tous les membres d'équipe sont responsables des résultats présentés[[1]](#fn1)
* **Exception** : En cas de sous-participation d'un ou plusieurs membres, les superviseurs se réservent le droit d'individualiser les notes au sein d'une même équipe[[1]](#fn1)

**7. TÂCHES ET MÉTHODOLOGIE ATTENDUES**

**7.1 Étude de zonage radiologique**

**Objectifs**[[1]](#fn1)

* Établir cartographie radiologique de la cellule 241B
* Définir zones réglementaires selon activités mesurées

**Données d'entrée**[[1]](#fn1)

* Informations fournies par ARRONAX (composition cuves)
* Validation obligatoire par calcul indépendant

**Méthodologie à expliciter**[[1]](#fn1)

* Calculs de débits de dose
* Hypothèses retenues
* Justifications des choix

**Équipements**[[1]](#fn1)

* Lister équipements de mesure et contrôle utilisés
* Justifier les choix

**Comparaisons obligatoires**[[1]](#fn1)

* Cartographie manuelle vs logiciel DEM+ (lot 01 cellule 241B)
* **Bonus** : Comparaison avec outil simulation Monte-Carlo (ex: outils utilisés en TP)

**7.2 Estimation composition réelle des cuves**

**Objectif**[[1]](#fn1)

* Calculer composition la plus représentative possible
* Garantir sécurité employés sur terrain
* Optimiser coûts en validant données ARRONAX

**Données disponibles**[[1]](#fn1)

* Caractéristiques géométriques salle cuves (Annexe 1)
* Conditions de production radioéléments (Annexe 2)

**Approche**[[1]](#fn1)

* Calculs indépendants basés sur historique exploitation
* Prise en compte incidents
* Validation vs estimations ARRONAX

**7.3 Scénarios de démantèlement**

**Outils**[[1]](#fn1)

* Logiciel DEM+ (compositions a priori ARRONAX puis compositions validées)

**Critères d'optimisation**[[1]](#fn1)

* Coût
* Principe ALARA
* Durée intervention sur site
* Quantité de déchets (minimisation)
* Filières de traitement
* **Liste non exhaustive** : peut être étendue dans cahier des charges

**Problématique tritium**[[1]](#fn1)

* Intégration obligatoire dans scénarios
* Particulièrement cuve n°3
* Conséquences sur conditions de chantier

**8. ANNEXE MÉTHODOLOGIQUE - FORMULES ET BASES DE DONNÉES**

**8.1 Bases de données nucléaires (Annexe 4)**

**National Nuclear Data Center (NNDC) - US Department of Energy**[[1]](#fn1)

* Site principal : <https://www.nndc.bnl.gov/>
* NUDAT2 (table des nucléides) : <https://www.nndc.bnl.gov/chart/>
* Recherche rayonnements de désintégration : <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/indx_dec.jsp>

**Sections efficaces de production**[[1]](#fn1)

* Base EXFOR : <https://www.nndc.bnl.gov/exfor/exfor.htm>
* **Alternative** si données indisponibles : Base TENDL

**Interactions particules/matière**[[1]](#fn1)

* Logiciel SRIM (gratuit) : <http://www.srim.org/>

**Coefficients d'atténuation**[[1]](#fn1)

* Tables NIST : <https://www.nist.gov/pml/x-ray-mass-attenuation-coefficients>

**Facteurs de build-up**[[1]](#fn1)

* Référence : <http://www.radprocalculator.com/Files/ShieldingandBuildup.pdf>
* Tables disponibles pour acier et plomb (contacter PN si nécessaire)

**8.2 Outil de calcul spécifique ARRONAX**

**RYC (Radionuclide Yield Calculator)**[[1]](#fn1)

* Disponible sur : <https://www.arronax-nantes.fr/outil-telechargement/outils-radionuclide-yield-calculator/>
* **Limite** : Ne prend pas en compte les filiations radioactives

**8.3 Formules fondamentales**

**Production activité dans cible épaisse**[**[1]**](#fn1)

Pour un radioélément produit par irradiation de cible épaisse :

$ A\_{ct} = c \cdot f \cdot \frac{N\_A}{A} \cdot \lambda \cdot (1 - e^{-\lambda t\_{irr}}) \cdot \rho \cdot \int\_{E\_{fin}}^{E\_{in}} \frac{\sigma(E)}{dE/dx} dE $

**Paramètres** :[[1]](#fn1)

* $ A\_{ct} $ : Activité du radioisotope produit (Bq), à la fin de l'irradiation
* $ c $ : Abondance isotopique dans la cible
* $ f $ : Flux de particules incidentes (particules.s⁻¹)
* $ N\_A $ : Constante d'Avogadro (mol⁻¹)
* $ A $ : Masse atomique de la cible (g.mol⁻¹)
* $ \lambda $ : Constante de décroissance de l'isotope produit (s⁻¹)
* $ t\_{irr} $ : Durée d'irradiation (s)
* $ \rho $ : Masse volumique de la cible irradiée (g.cm⁻³)
* $ E\_{in} $ : Énergie projectile à l'entrée de la cible (MeV)
* $ E\_{fin} $ : Énergie projectile à la sortie de la cible (MeV)
* $ \sigma(E) $ : Section efficace de production du radioisotope à l'énergie E (cm²)
* $ dE/dx $ : Perte d'énergie linéique du projectile dans la cible (MeV.cm⁻¹)

**Simplification pour calculs** :[[1]](#fn1)

* Section efficace considérée constante et égale à la valeur moyenne sur l'épaisseur de cible
* **Attention** : Ce calcul ne prend pas en compte les filiations

**Équations avec filiation radioactive**[**[1]**](#fn1)

Lorsque le noyau père décroît vers un noyau fils radioactif, les équations changent.

**Référence** : <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/56/17/002/pdf>

**Calcul débit de dose photons**[**[1]**](#fn1)

**Hypothèse** : Source ponctuelle

Pour chaque raie photonique :

$ \frac{dD}{dt} = \frac{A \cdot E \cdot I \cdot 10{-3}}{d2} $

**Paramètres** :[[1]](#fn1)

* $ \frac{dD}{dt} $ : Débit de dose instantané (mSv/h)
* $ A $ : Activité de la source (Bq)
* $ E $ : Énergie du rayonnement (MeV)
* $ I $ : Rapport d'embranchement (intensité relative)
* $ d $ : Distance à la source (m)

**Débit de dose total** :[[1]](#fn1)  
Somme des contributions de chaque source de rayonnement

**Atténuation linéaire photons dans la matière**[**[1]**](#fn1)

**Loi de base** :  
$ I = I\_0 \cdot e^{-\mu x} $

**Formule avec facteur de build-up** :  
$ I\_B = I\_A \cdot b \cdot e^{-\mu x} $

**Paramètres** :[[1]](#fn1)

* $ I\_B $ : Débit de dose avec écran
* $ I\_A $ : Débit de dose initial
* $ b $ : Facteur de build-up pour une énergie donnée à l'épaisseur d'écran x
* $ \mu $ : Coefficient d'atténuation linéaire (cm⁻¹)
* $ x $ : Épaisseur d'écran (cm)

**8.4 Unités et conversions**[**[1]**](#fn1)

$ 1 Ci (Curie) = 3,7 \times 10^{10} Bq $  
$ 1 mCi = 37 MBq $

**9. RESSOURCES GESTION DE PROJET (Annexe 3)**

**9.1 Références formation**[**[1]**](#fn1)

**Cours Master**

* Support du cours de gestion de projet du Master

**MOOC Gestion de Projet - Rémi Bachelet (Centrale Lille)**

* Site : <https://mooc.gestiondeprojet.pm/>
* Article Le Monde : <http://www.lemonde.fr/campus/article/2017/01/05/gestion-de-projet-le-mooc-a-grand-succes-de-centrale-lille_5058190_4401467.html>

**9.2 Outils pratiques**[**[1]**](#fn1)

**Diagramme de Gantt avec Excel**

* Tutoriel : <https://www.excel-exercice.com/diagramme-de-gantt/>

**10. POINTS DE VIGILANCE ET ÉLÉMENTS CRITIQUES**

**10.1 Choix méthodologiques à justifier**

**Cuve n°1**[[1]](#fn1)

* Justifier négligence des noyaux de recul en conditions normales
* Justifier prise en compte tritium
* Justifier pertinence des radioéléments considérés en cas de rupture

**Toutes cuves**[[1]](#fn1)

* Justifier négligence du Bremsstrahlung
* Valider hypothèse source ponctuelle pour calculs de dose
* Documenter choix des sections efficaces (valeurs moyennes)

**10.2 Validation croisée obligatoire**

* Calculs manuels vs logiciel DEM+[[1]](#fn1)
* Compositions estimées vs compositions ARRONAX[[1]](#fn1)
* Bonus : Validation Monte-Carlo[[1]](#fn1)

**10.3 Gestion des incertitudes**

* Approche conservative pour sécurité opérateurs[[1]](#fn1)
* Documentation des marges de sécurité[[1]](#fn1)
* Analyse de sensibilité des scénarios aux variations de composition[[1]](#fn1)

**10.4 Coordination intra-équipe**

**Cruciale pour succès**[[1]](#fn1)

* Synchronisation experts radioprotection avant transmission aux experts démantèlement
* Planning permettant révision scénarios avant conclusions finales
* Coordination pour document final : contributions prêtes à temps pour intégration

**11. ANALYSE CRITIQUE ET RECOMMANDATIONS**

**11.1 Ambiguïtés détectées**

**Cuve n°3**

* Géométrie non complètement spécifiée (renvoie Annexe 2 qui ne donne pas dimensions explicites)[[1]](#fn1)
* Conditions d'irradiation variables (énergie et intensité non fixes)[[1]](#fn1)
* Nécessite hypothèses raisonnables documentées

**Composition cuve n°2**

* Liste des radioéléments non exhaustive[[1]](#fn1)
* Filiations à identifier (⁹⁹ᵐTc → ⁹⁹Tc par exemple)
* Nécessite recherche dans bases de données

**11.2 Données manquantes à rechercher**

**Propriétés nucléaires complètes** (via NNDC)[[1]](#fn1)

* Périodes radioactives de tous les radioéléments
* Schémas de désintégration complets
* Énergies et intensités de tous les rayonnements γ
* Filiations radioactives

**Sections efficaces** (via EXFOR ou TENDL)[[1]](#fn1)

* σ(E) pour production de chaque radioélément
* Fonctions d'excitation complètes si disponibles

**Coefficients d'atténuation** (via NIST)[[1]](#fn1)

* μ pour chaque énergie de photon dans acier
* μ pour matériaux d'écran éventuels (béton, plomb)

**Facteurs de build-up**[[1]](#fn1)

* Tables pour acier (demander à PN)
* Pour chaque énergie pertinente

**11.3 Extensions possibles du projet**

**Au-delà du minimum requis**[[1]](#fn1)

* Simulation Monte-Carlo complète (MCNP, GEANT4, PHITS)
* Analyse d'incertitudes propagées
* Étude de variantes de scénarios (plusieurs stratégies démantèlement)
* Dimensionnement écrans de protection temporaires
* Analyse coût-bénéfice détaillée
* Planning opérationnel détaillé (PERT, chemin critique)

**11.4 Conformité référentiel qualité**

**ISO 24001 évoqué dans consignes**

* Bien que non explicite dans document source, approche systématique attendue[[1]](#fn1)
* Documentation traçable de toutes hypothèses et calculs
* Analyse critique des résultats
* Revue par pairs (entre membres équipe)

**12. SCHÉMAS ET FIGURES DISPONIBLES**

**Document source contient** :[[1]](#fn1)

* Figure 1 : Vue de la salle des cuves
* Figure 2 : Cuve n°1 (orange)
* Figure 3 : Cuve n°2 (orange)
* Figure 4 : Cuve n°3 (orange)
* Schéma production ⁹⁹ᵐTc (Cyclotron → Cibles → Conversion → Production Tc → Radiopharmaceutique → Diagnostic patient)
* Positions casemates (P1, P2, P3, AX, A1, A2)

**13. SYNTHÈSE DES ATTENDUS PAR JALON**

**Jalon 1 (4 nov 2024)**[**[1]**](#fn1)

* Méthodologie complète cuve n°1
* Résultats si possible
* Calculs détaillés
* Justifications hypothèses

**Jalon 2 (9 déc 2024)**[**[1]**](#fn1)

* Zonage complet cellule 241B
* Cartographie radiologique
* Comparaison DEM+
* (Utiliser composition ARRONAX si calculs propres non finalisés)

**Jalon 3 (10 déc 2024)**[**[1]**](#fn1)

* Premier(s) scénario(s) démantèlement
* Utilisation DEM+
* Analyse multi-critères

**Jalon final (12 déc 2024)**[**[1]**](#fn1)

* Toutes estimations finalisées
* Scénarios optimisés avec données définitives
* Prise en compte composition validée cuves

**Dossier final (13 fév 2025)**[**[1]**](#fn1)

* Document complet réponse appel d'offres
* Méthodologie exhaustive
* Résultats tous calculs
* Scénarios détaillés
* Analyse technico-économique
* Planification
* Gestion projet

**Soutenance (20 fév 2025)**[**[1]**](#fn1)

* Présentation 30 min
* Résultats et méthodologie
* Gestion de projet effectuée
* Points d'amélioration identifiés
* Questions-réponses

**FIN DE L'EXTRACTION EXHAUSTIVE**

Cette extraction structurée couvre l'intégralité des informations techniques, organisationnelles, méthodologiques et réglementaires nécessaires à la réalisation complète du projet par une équipe d'étudiants de Master 2.[[1]](#fn1)

⁂

1. Projet-Ingenierie-2024-2025vEnglish.pdf