



# Copyright © Lycée Saint Joseph – La Salle Dijon / ESJO' – Tous droits réservés

NOMS DES MEMBRES DE L'EQUIPE :

PROJET SCIENTIFIQUE N°1 ECAM – Cahier des charges

Travail en équipe

Durée 1 journée et demie

Les 17 et 18 décembre 2025

Soutenance à 13h30 en salle C 29

Thème du semestre 1 : L'ingénierie devant les défis environnementaux

Réalisation d'un Canon à Pluie/Grêle

## Matières à mobiliser

SI, SPC, Mathématiques, Anglais, Géopolitique

Ce projet s'inscrit pleinement dans la réflexion thématique du semestre 1 et c'est en activant toutes les matières que vous pourrez justifier de la pertinence de votre production finale.

**Missions du projet** : A l'heure du réchauffement climatique, nous assistons souvent impuissants au phénomène de grêle qui fragilise les activités humaines et nous rappelle notre vulnérabilité devant ces aléas naturels manifestement de plus en plus violents.

Il existe néanmoins des solutions, certes contestées par certains, pour provoquer la pluie en envoyant dans le ciel des produits chimiques en utilisant des fusées anti-grêle par des canons.

C'est autour de cette technologie que vous allez devoir travailler pour montrer que vos compétences scientifiques peuvent servir à pallier aux désordres environnementaux croissants tout en pointant aussi les limites anthropiques et géopolitiques inhérentes à de telles solutions.

*Bon courage.*

## Déroulement

Par équipe, vous devrez vous saisir de ce cahier des charges pour réaliser le projet en suivant scrupuleusement les consignes. Ce défi est concentré sur une journée et demie et il sera évalué par vos enseignants pour être comptabilisé dans votre moyenne semestrielle.

Il vous faudra suivre chaque étape, respecter les délais, anticiper vos besoins, définir une méthodologie d'approche et de réalisation. Il est essentiel d'arriver à la production finale qui sera présentée à l'ensemble de la promotion le 18 décembre à 13H30. **Les soutenances se dérouleront de 13H30 à 17h30 en salle C 29.**

Tout au long de ce travail, vos enseignants seront présents pour répondre à vos questions mais c'est en autonomie que vous aurez à porter ce projet scientifique.

Vous travaillerez dans la salle C 29 et dans la salle C 30 si besoin. N'utilisez ici que les PC sans jamais toucher au matériel de ces salles. Bien éteindre svp votre ordinateur quand vous quitterez la salle.

**Soutenance** : Vous devrez préparer un PowerPoint à présenter lors de votre soutenance. Attention vous devrez absolument problématiser votre travail et vous adopterez une démarche faisant écho de votre analyse du sujet. Il est obligatoire de montrer les liens entre les matières et donc il n'est pas possible de faire des slides par matière sans chercher la cohérence globale! C'est un projet dans son entièreté que vous devrez présenter. Bien mettre aussi en avant lors de cette soutenance, vos réalisations, vos réussites et vos difficultés (gestion du travail en commun, soucis techniques et scientifiques).

**Durée de l'oral** : Maximum 20min : 2/3 en français + 1/3 en anglais. 10 minutes de Questions/Réponses avec le jury. Préparez bien votre soutenance en identifiant qui dira quoi. Chacun doit s'exprimer lors de ce moment.

**Il est évident que le travail technique sera celui qui devra occuper le plus de votre temps.**

Chaque matière vous demande de remplir une fiche (faisant état de vos travaux) qui sera à remettre à la fin de votre projet **DANS UN SEUL FICHIER (sous format PDF).**

Ce travail sera évalué et correspondra à votre note écrite. Bien noter svp dans votre fichier global le nom des membres de votre équipe et de rappeler la matière pour chacune de ces fiches.

Ce dernier est à déposer dans l'espace de travail dédié sur Ecoledirecte et à envoyer aussi à [mickael.chardon@stjodijon.com](mailto:mickael.chardon@stjodijon.com) **à 12h le 18/12/2025.**

Veillez à la clarté de vos propos.

Merci de choisir obligatoirement l'une des 2 méthodes de gestion de projet :

- A. Le PERT
- B. TRELLO

Vous devrez témoigner absolument lors de votre soutenance de l'utilisation et du déploiement de la méthode de gestion de projet que vous aurez choisi.

#### A° LE PERT :

Au départ de ce projet, il faut vous faire prendre connaissance en équipe des différentes tâches que vous aurez à mener pour finaliser votre travail. Cela suppose une bonne entente et surtout une rigueur dans le suivi de l'avancement du projet.

Pour vous aider, il vous est ici demandé d'anticiper votre travail et donc d'organiser les tâches à accomplir avant de vous lancer. Pour ce faire, vous devrez réaliser un **PERT** sous forme d'un schéma horizontal. Ce document est un outil qui devra, tout au long du projet pour l'équipe, régulièrement être visité et interrogé comme une « boussole pour un marin ».

#### 1. Qu'est-ce qu'un diagramme PERT ?

Le nom représente l'acronyme de "**Program Evaluation and Review Technic**". Il s'agit d'un **outil visuel d'ordonnement et de planification de projet**. Son but est d'**organiser les tâches** sous la forme d'un **réseau** afin de faciliter la gestion du projet. Cette **représentation graphique** permet d'identifier les connexions entre les différentes tâches, les temps d'exécution, les interdépendances.

#### 2. Pourquoi utiliser le Réseau PERT ? Cet outil facilite la maîtrise du projet. En effet, il permet de :

*Donner une vue réelle de la livraison du projet,*

*Anticiper l'affectation des ressources humaines (et financières non demandée ici), des moyens techniques,*

*Identifier les tâches à traiter plus rapidement si l'on souhaite livrer le projet plus tôt,*

*Repérer les tâches à traiter simultanément (travail en parallèle) et les tâches antérieures,*

*Identifier les tâches critiques et le non-critique pour tenir les délais - permet par exemple de redéployer des ressources si nécessaire.*

ETAPE 1	Consignes	Ressources
Lecture individuelle du projet	Prendre connaissance de l'ensemble du projet à réaliser	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Projet global distribué à chaque étudiant.</li> <li>- Voir PJ en annexe A et B sur la conduite de projet</li> </ul>
ETAPE 2	Consignes	Ressources
Lecture collective et mise en action de l'équipe	Commencez par lister les tâches du projet, Estimez leur durée et leur(s) antécédent(s) : pour chaque tâche, évaluer le temps nécessaire pour leur traitement.	<a href="https://prium-transition.com/diagramme-de-pert/">https://prium-transition.com/diagramme-de-pert/</a> Lien ci-dessous pour préciser le sens de cet outil.
ETAPE 3	Consignes	Ressources
Le PERT	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construisez le tableau avec la liste de tâches et montez le réseau en utilisant les liens de dépendance (les antécédents).</li> <li>- Indiquez sur le graphique la désignation des tâches et leur durée ;</li> </ul>	

Merci de renseigner ci-dessous l'ensemble de vos travaux :

Commentaires des évaluateurs sur la gestion de projet	
Travail des élèves	

## B° TRELLO :

Au départ de ce projet, il faut vous faire prendre connaissance en équipe des différentes tâches que vous aurez à mener pour finaliser votre travail. Cela suppose une bonne entente et surtout une rigueur dans le suivi de l'avancement du projet. Pour vous aider, il vous est ici demandé d'anticiper votre travail et donc d'organiser les tâches à accomplir avant de vous lancer. Pour ce faire, vous devrez réaliser un **TRELLO** sous forme d'un schéma horizontal numérique. Ce document est un outil qui devra, tout au long du projet pour l'équipe, régulièrement être visité et interrogé comme une « boussole pour un marin ».

Site du logiciel gratuit : <https://trello.com/home>

Tuto du logiciel : <https://www.youtube.com/watch?v=E2vyWvqqJHQ>

Consigne générale :

**Partie Prog :** On vous demande de concevoir de manière virtuelle sur Tinkercad une maquette de fonctionnement du « Canon à grêle ».

La solution permettant de positionner le canon s'est portée sur un moteur de type micro-servo (Servo moteur). Le canon permet d'orienter au mieux l'angle de sortie du canon en fonction de la position de la cible « nuage » à atteindre.

Le déplacement angulaire sera piloté par un potentiomètre (réglage 0 à 100%) correspond à l'angle de sortie (0 à 180°), avec affichage de la consigne **en angle** sur un écran LCD 2 lignes de 16 caractères. La position de la base du canon sera obtenue par calcul (voir loi d'entrée sortie) et affiché sur la 2<sup>ème</sup> ligne

Le lancement sera simulé par un bouton poussoir et l'éclairement d'une led durant le temps de parcours, l'affichage devant changé au moment du lancement (affichage du temps calculé par programme avec vitesse fixée et masse fixée)

L'ensemble sera piloté par un arduino (simulé sous Tinkercad)

Prévoir un affichage Avant lancement Ligne1 : CONS = xxxxx / ligne 2 POSI = yyyy)

Pendant le lancement Ligne 1 Lancement ENCOURS/ Ligne 2 TEMPS = ttttt, ....)

Remarque le choix des bornes (pin) Arduino est à votre convenance pour le BP et la led, pour le potentiomètre et l'écran respectez les choix des différents exemples

**Partie Méca :** On donne l'ébauche d'une maquette numérique du système d'inclinaison.

Pour piloter le servo moteur de la partie Prog, il faut connaître la loi d'entrée sortie entre l'angle de d'entrée du servomoteur et l'angle d'inclinaison du canon.

A partir des mises en plan données, proposer un paramétrage du système. Réaliser une fermeture de boucle et en déduire une loi d'entrée sortie.

A partir des pièces de la maquette numérique fournie, réaliser l'assemblage lorsque le canon est à l'horizontale.

Concevoir sous Solidworks la biellette manquante. Terminer l'assemblage.

A l'aide de Méca3D réaliser l'animation du mécanisme. A partir des résultats et d'un tableur Excel trouver une loi d'entrée sortie linéaire.

**EVOLUTION POSSIBLE DE VOTRE SYSTEME :** L'ensemble de l'interface de la commande pourra être DANS UN DEUXIEME TEMPS revu pour obtenir une interface plus intelligente Ecran de configuration= (Saisie de la vitesse et de la masse) Ecran de préparation (idem précédent)

Ecran de lancement avec décompte du temps pendant le lancement

Rentrer des coordonnées à atteindre et vitesse V0 du projectile (écran + bouton de sélection), lancement et affichage du résultat réel obtenu grâce au capteur de recopie

ETAPE 1	Consignes	Ressources
Choix des différents composants et raccordement de l'installation	Utiliser les capteurs proposés dans Tinkercad. Servo moteur SG90, LCD16*2, bouton, led et résistance Potentiomètre (commande et recopie) Utiliser une platine d'essai pour le câblage (breadboard) Rajouter des bulles commentaires pour identifier les composants	<a href="https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/748_laffichage-une-autre-maniere-dinteragir/3443_les-ecrans-lcd/">https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/748_laffichage-une-autre-maniere-dinteragir/3443_les-ecrans-lcd/</a> <a href="https://rtmfm.cnrs.fr/wp-content/uploads/2022/01/Tutoriel-10-Arduino-programme-ecran-LCD.pdf">https://rtmfm.cnrs.fr/wp-content/uploads/2022/01/Tutoriel-10-Arduino-programme-ecran-LCD.pdf</a> <a href="http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf">http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf</a>
ETAPE 2	Consignes	Ressources
Paramétrage et loi d'entrée sortie Modéliser la biellette.	Pour piloter le servo moteur il faut connaître la loi d'entrée sortie (angle de rotation du servo et angle de rotation du canon à grêle) Proposer une modélisation de la biellette manquante, de son assemblage et de l'animation du système) (Modélisation sous SolidWorks	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vidéo de fonctionnement</li> <li>- Schémas pour le paramétrage</li> <li>- Maquette numérique</li> <li>- Solidworks</li> <li>- Méca3D</li> </ul>
ETAPE 3	Consignes	Ressources
Programmation et mise en service	Intégrer la bibliothèque servo.h à la première ligne de votre code et la bibliothèque LiquidCrystal.h	<a href="https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/">https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/servo/</a> <b>Les circuits exemples sous Tinkercad</b> <b>Le cours Arduino 2022</b> voir aussi exemple de programmation d'un LCD dans étape 1

Merci de renseigner ci-dessous l'ensemble de vos travaux :

Commentaires des évaluateurs en SI	
Travail des élèves en SI	

Consigne générale :

Étudier l'influence de certains paramètres sur la trajectoire d'une mini fusée lancée dans le champ de pesanteur terrestre.

ETAPE 1	Consignes	Ressources
	Rechercher les différents paramètres qui peuvent influencer la trajectoire ascendante d'une fusée (effet balistique).	<a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/Trajectoire_d%27un_projectile">https://fr.wikipedia.org/wiki/Trajectoire_d%27un_projectile</a> .
ETAPE 2	Consignes	Ressources
	Trouver l'équation différentielle théorique d'une fusée, représentée simplement par son centre de masse G, de masse $m=500g$ , de vitesse initiale $V_0=200 \text{ m.s}^{-1}$ , inclinée sur l'horizontale par un angle $\alpha=85^\circ$ (prendre un coefficient de frottements de $0,05 \text{ kg.s}^{-1}$ ). La démonstration devra être clairement exposée sous forme synthétique lors de la présentation orale.	Cours et TD
ETAPE 3	Consignes	Ressources
	Choisir un des paramètres de l'étape 1, justifier ce choix et étudier son influence. Le paramètre choisi et les courbes obtenues devront être commentée lors de la présentation orale.	Simulation de tracé de courbes (calculatrice ou logiciel mathématique type geogebra).

Merci de renseigner ci-dessous l'ensemble de vos travaux :

Commentaires des évaluateurs en SCP	
Travail des élèves en SCP	

**Consigne générale :**

Étudier la résolution d'équations différentielles dans le cas linéaire et le cas non linéaire.

ETAPE 1	Consignes	Ressources
	<p>Étudier la résolution théorique d'équations différentielles <u>linéaires</u>.</p> <p>Savoir faire la différence entre une équation linéaire et une équation non-linéaire.</p> <p>Savoir faire la différence entre une équation d'ordre 1, d'ordre 2, d'ordre n ...</p>	<p><b>Document annexe C: Recap_EquaDiff.pdf</b></p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=BtWqkWzjS6c">https://www.youtube.com/watch?v=BtWqkWzjS6c</a> (jusqu'à 30min)</p> <p><a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_lin%C3%A9aire_d%27ordre_un">https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_lin%C3%A9aire_d%27ordre_un</a></p> <p><a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_lin%C3%A9aire_d%27ordre_deux">https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_diff%C3%A9rentielle_lin%C3%A9aire_d%27ordre_deux</a></p>
ETAPE 2	Consignes	Ressources
	<p>Reprendre l'équation différentielle obtenue lors de la partie SPC (Fiche 3).</p> <p>S'assurer qu'elle est bien linéaire et retrouver le résultat à l'aide de la théorie de l'étape 1.</p>	Fiche 3 : SPC
ETAPE 3	Consignes	Ressources
	<p>Il arrive souvent qu'on modélise un phénomène à l'aide d'une équation différentielle <u>non-linéaire</u>. Dans ce cas, à moins d'un miracle, nous n'avons aucun moyen de la résoudre théoriquement. Il faut donc utiliser des méthodes approchées.</p> <p>Etudier les méthodes numériques de résolution d'équations différentielles telles que : méthode d'Euler, méthode de Runge-Kutta, etc</p>	<p><a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution_num%C3%A9rique_des_%C3%A9quations_diff%C3%A9rentielles">https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9solution_num%C3%A9rique_des_%C3%A9quations_diff%C3%A9rentielles</a></p> <p><a href="https://femto-physique.fr/analyse-numerique/euler.php">https://femto-physique.fr/analyse-numerique/euler.php</a></p> <p><a href="https://www.apmep.fr/IMG/pdf/AAA04008.pdf">https://www.apmep.fr/IMG/pdf/AAA04008.pdf</a></p>
ETAPE 4	Consignes	Ressources
	<p>Reprendre l'équation différentielle obtenue lors de la partie SPC (Fiche 3) tout en changeant <math>v(t)</math> par <math>v^2(t)</math>.</p> <p>La résoudre à l'aide d'une méthode numérique, préférablement la méthode d'Euler.</p> <p>Comparer les courbes résultats entre les deux modèles (linéaire et non-linéaire)</p>	<p><b>Document annexe C: Méthode d'Euler</b></p> <p>Fiche 3 : SPC</p> <p>Géogébra, script python ou autre, excel, etc.</p>

**Travail à rendre en Maths :**

Vous rendrez un rapport de quelques pages comportant les parties suivantes :

- Récapitulatif de ce que vous avez compris de la résolution théorique d'une équation différentielle linéaire d'ordre 1 et d'ordre 2. Vous insisterez sur la différence entre une équation linéaire et une équation non-linéaire en donnant quelques exemples.
- Application de la théorie dans la résolution de l'équation différentielle linéaire obtenue dans la partie SPC.
- Récapitulatif de ce que vous avez compris sur les méthodes numériques de résolution. Vous détaillerez autant que possible **la méthode d'Euler**. Vous y ferez apparaître les avantages et inconvénients d'une telle méthode.

- Appliquer la méthode à l'équation différentielle en  $v^2(t)$  puis comparer les courbes résultats des deux modèles.

Vous rendrez tout document géogebra, excel, script ou autre utilisés pour générer les résultats numériques.

**Présentation orale :** Lors de votre présentation orale, vous tâcherez de :

- Expliquer **succinctement et synthétiquement** les différents résultats théoriques nécessaires à la compréhension de vos travaux.
- Présenter et expliquer les différents résultats des simulations.
- Commenter les avantages et inconvénients de l'utilisation d'une telle méthode.

Merci de renseigner ci-dessous l'ensemble de vos travaux :

Commentaires des évaluateurs en Maths	
Travail des élèves en Maths	

**Consigne générale :**

Implémenter et étudier la résolution numérique d'équations différentielles par le biais de l'algorithme de Runge-Kutta au deuxième ordre.

ETAPE 1	Consignes	Ressources
	<p>La résolution théorique d'équations différentielles a déjà été effectuée dans la partie Mathématiques du projet scientifique. La méthode d'Euler a été implémentée et constitue une première approche simple d'intégration numérique. Cependant, la méthode d'Euler n'est pas très stable ni très constante, surtout lorsque le temps devient grand. La solution numérique peut devenir instable et engendrer des comportements physiques qui n'ont pas de sens !</p> <p>L'idée ici est de programmer une fonction (ou un programme) en langage Python qui permet de résoudre numériquement une équation différentielle (linéaire ou non-linéaire) grâce à la méthode de Runge-Kutta au deuxième ordre (RK2). La méthode RK2</p>	<p><a href="https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_s_de_Runge-Kutta">https://fr.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9thode_s_de_Runge-Kutta</a></p> <p><a href="https://femto-physique.fr/analyse-numerique/runge-kutta.php">https://femto-physique.fr/analyse-numerique/runge-kutta.php</a></p> <p><a href="https://www.youtube.com/watch?v=t48a2M27kjM">https://www.youtube.com/watch?v=t48a2M27kjM</a></p> <p><b>Annexe : Algorithme de Runge-Kutta d'ordre 2 (RK2)</b></p>
ETAPE 2	Consignes	Ressources
	<p>Une fois l'implémentation de l'algorithme de Runge-Kutta effectuée, on souhaite tracer l'évolution de la solution numérique en fonction du temps (t) pour un pas de temps fixé. Pour cela, on utilisera le module pyplot de la librairie matplotlib de Python. On pourra afficher sur un même graphe les solutions numériques des équations avec pour chacune leur pas de temps.</p> <p>N'oubliez pas d'importer la librairie au début de votre programme !</p>	<p><a href="https://matplotlib.org/stable/plot_types/index.html">https://matplotlib.org/stable/plot_types/index.html</a></p> <p><a href="https://www.wildcodeschool.com/blog/pour-quoi-et-comment-utiliser-matplotlib-avec-python">https://www.wildcodeschool.com/blog/pour-quoi-et-comment-utiliser-matplotlib-avec-python</a></p> <p><b>Annexe : Algorithme de Runge-Kutta d'ordre 2 (RK2)</b></p>
ETAPE 3	Consignes	Ressources
	<p>Reprendre l'algorithme de la méthode d'Euler implémenté dans la partie Mathématiques et comparer les deux méthodes (Euler et Runge-Kutta au deuxième ordre) afin de mettre en lumière la méthode d'intégration numérique la plus efficace et la plus fiable pour résoudre numériquement les équations différentielles linéaire et non linéaire.</p> <p>Pour chaque type d'équation différentielle (linéaire et non linéaire), on tracera un graphe montrant l'évolution de la solution numérique avec les deux méthodes (Euler et Runge-Kutta au deuxième ordre) en précisant bien le pas de temps utilisé pour calculer la solution numérique approchée.</p>	<p><a href="https://matplotlib.org/stable/plot_types/index.html">https://matplotlib.org/stable/plot_types/index.html</a></p> <p><a href="https://www.wildcodeschool.com/blog/pour-quoi-et-comment-utiliser-matplotlib-avec-python">https://www.wildcodeschool.com/blog/pour-quoi-et-comment-utiliser-matplotlib-avec-python</a></p> <p><b>Annexe : Algorithme de Runge-Kutta d'ordre 2 (RK2)</b></p>

Consigne générale :

L'eau, comme le pétrole, à l'échelle monde, est une ressource naturelle de plus en plus exploitée et convoitée par les activités humaines (agriculture, industrie, loisirs) et pour les usages domestiques du quotidien. Longtemps considérée comme inépuisable, force est de constater qu'aujourd'hui à l'heure du **réchauffement climatique**, cette dernière est au cœur de toutes les attentions. Aussi chacun cherche à mieux l'exploiter et surtout à mieux la contrôler tant elle est devenue précieuse au risque parfois de créer des **tensions politiques** et **géopolitiques**. On parle des lors de **conflits d'usage** et l'on annonce souvent que le XXI<sup>e</sup> siècle sera celui de la **Guerre de l'eau**.

Par exemple, face aux risques d'orage de grêle mesurés comme de plus en plus violents qui viennent anéantir les cultures et inonder les espaces habités (vignes, camping...), face aux longues périodes de sécheresse qui se multiplient et qui ralentissent ou paralysent les activités économiques, une technologie a été mise au point par des **ingénieurs** pour provoquer la pluie ou pour briser les orages de grêle appelé généralement **CANON A PLUIE**.

Il s'agit ici pour les hommes de prendre **le contrôle sur la pluie**, c'est-à-dire de répondre à des **besoins** concrets en intervenant sur **le cycle de l'eau**. Cette intervention est pourtant critiquée car elle sert très souvent des intérêts particuliers et non collectifs ou globaux.

Qui peut se considérer comme plus légitime à accaparer cette ressource par rapport à d'autres qui en auraient autant besoin ?

Cette question est donc sensible et anime les rivalités géopolitiques mondiales dans le contexte particulier du **réchauffement climatique** et de l'exigence de la **durabilité**. Une puissance sans eau est condamnée à perdre son influence.

Alors face à cette complexité, comment s'assurer qu'une innovation technologique ne desserve par sa cause initiale ?

**C'est donc sur la capacité des hommes, par la science, à agir sur les équilibres naturels que vous serez ici interrogés.**

ETAPE 1	Consignes	Ressources
S'approprier les enjeux: La science au secours de la météo et du climat	<ul style="list-style-type: none"> <li>Par la vidéo et par le podcast, définir ce que l'on appelle la géo-ingénierie.</li> <li>A partir de cette définition et des documents, montrez quels sont les enjeux géopolitiques révélés par cette nouvelle branche de l'ingénierie. Questionnez la question du <b>GLOCAL</b> et de la <b>GOVERNANCE</b> face à la géo-ingénierie.</li> <li>A partir de l'article situé à côté, définir ce que l'on appelle l'ensemencement des nuages en pointant les buts de cette technologie, leurs limites environnementales et géopolitiques.</li> </ul> <p><b>Consigne : Réaliser UN TABLEAU qui répondent aux trois questions ci-dessous. Merci d'y ajouter des illustrations utiles à l'analyse.</b></p> <p>Appuyez-vous sur la méthode vue en classe pour réaliser ce travail et n'hésitez pas à mener des recherches au-delà des apports des documents pour enrichir votre analyse et votre travail.</p>	<p><a href="https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/l-edito-carre/faire-tomber-la-pluie-4608656">https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/l-edito-carre/faire-tomber-la-pluie-4608656</a></p> <p><a href="https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-expliquees/quest-ce-que-lensemencement-des-nuages">https://parlonssciences.ca/ressources-pedagogiques/les-stim-expliquees/quest-ce-que-lensemencement-des-nuages</a></p> <p><a href="https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/l-e-meilleur-des-mondes/geo-ingenierie-quand-la-tech-fait-la-pluie-et-le-beau-temps-6006960">https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/l-e-meilleur-des-mondes/geo-ingenierie-quand-la-tech-fait-la-pluie-et-le-beau-temps-6006960</a></p>
ETAPE 2		
Prendre position dans le débat face aux enjeux soulevés par la géo-ingénierie.	<p><u>Demain en tant qu'ingénieur</u></p> <p><b>Dans votre TABLEAU, vous exposerez aussi quelles sont vos convictions face aux enjeux du canon à pluie et plus largement face au développement de la géo-ingénierie.</b></p> <p><b>Vous devrez intégrer votre réflexion (sur la TEDS et en géopolitique) à votre présentation visuelle lors de la soutenance sans reprendre l'intégralité du contenu du tableau réalisé.</b></p>	

Merci de renseigner ci-dessous l'ensemble de vos travaux :

Commentaires des évaluateurs en Géopolitique	
Travail des élèves en Géopolitique	Merci de déposer ici votre travail en fichier PDF

Consigne générale :

Part 1: Present the project in English, focusing on sustainable development (Duration: 5 minutes – speaking time shared equally between 2-3 students)

Part 2: each participant must be prepared to answer the examiners' questions (interview in English: duration 5 minutes)

STEP 1	INSTRUCTIONS	RESOURCES
<b>Project</b> What is it ? What is it for ?	Relating the project with the sustainable goals	<a href="https://sdgs.un.org/goals">https://sdgs.un.org/goals</a>
STEP 2	INSTRUCTIONS	RESOURCES
<b>How?</b> Technical specifications sheet for the process.	-Technical choices -Problems encountered -Solutions	<a href="https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35995-8_13">https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-35995-8_13</a> <a href="https://globalpressjournal.com/americas/mexico/hail-cannon-bans-leave-farmers-limbo/">https://globalpressjournal.com/americas/mexico/hail-cannon-bans-leave-farmers-limbo/</a> <a href="https://sustainable.org.nz/learn/tools-resources/glossary-of-sustainability/">https://sustainable.org.nz/learn/tools-resources/glossary-of-sustainability/</a>
STEP 3	INSTRUCTIONS	RESOURCES
<b>Oral presentation</b> (5mn) <b>Interview</b> with examiners (5 mn )	Mark scheme + evaluation grid	(see evaluation grid)

**PART 2 -10mn -ECAM – GRILLE D'EVALUATION – EVALUATION GRID PART 2 - 10mn (5mn speaking + 5 interaction)**

	A2	B1	B2	C1
S'exprimer en continu : clarté et pertinence de l'exposé	2	3	4	5
Recevabilité linguistique Grammaire + aisance lexicale+ phonologique	2	3	4	5
Capacité à prendre part à un entretien (interaction)	2	3	4	5
Autonomie par rapport aux notes + Culture personnelle	2	3	4	5

TOTAL SUR 20 : .....

A NOTER : notation uniquement en points entiers.

Commentaires des évaluateurs en Anglais	
Travail des élèves en Anglais	

Vous devrez préparer un PowerPoint à présenter lors de votre soutenance. Attention vous devrez absolument problématiser votre travail et vous adopterez une démarche faisant écho de votre analyse du sujet. Il est obligatoire de montrer les liens entre les matières et donc il n'est pas possible de faire des slides par matière sans chercher la cohérence globale ! C'est un projet dans son entièreté que vous devrez présenter. Bien mettre aussi en avant lors de cette soutenance, vos réalisations, vos réussites et vos difficultés (gestion du travail en commun, soucis techniques et scientifiques). Durée de l'oral : Maximum 20 min : 2/3 en français + 1/3 en anglais. 10 minutes de Questions/Réponses avec le jury. Préparez bien votre soutenance en identifiant qui dira quoi. Chacun doit s'exprimer lors de ce moment.

- ♣ **En français**, vous devrez présenter globalement toutes les étapes qui ont marqué la réalisation de votre projet en exploitant les outils développés pendant votre travail. Vous exposerez avec clarté la réalisation finale du projet en veillant à expliciter très nettement la partie technique et les dimensions liées à la coloration. Merci de vous inspirer de l'annexe B (SES) pour structurer votre prestation orale en français et porter un regard réflexif sur le travail réalisé et les éventuels dysfonctionnements inhérents à tous les projets.
- ♣ **En anglais**, merci de suivre les consignes données dans la fiche 6.

Commentaires des évaluateurs de la soutenance en français.	
--	--

BON COURAGE

GRILLE EXAMINATEUR PART 1 + PART 2 (anglais)

PART 1 -20mn - ECAM -GRILLE D'EVALUATION

Compétences évaluées	1	2	3	4
<b>1. Maîtrise domaines scientifiques et techniques</b>				
- compréhension du projet et mise en œuvre des connaissances				
<b>2. Maîtrise méthodes sciences de l'ingénieur</b>				
- méthodologie et clarté de la démonstration				
<b>3. Mise en œuvre et choix</b>				
- respect du cahier des charges / qualité des choix				
<b>5. Respect des valeurs environnementales</b>				
- respect des valeurs inscrites dans le projet				
<b>4. Travail en équipe/ interaction</b>				
- capacité à travailler en équipe / qualité d'interaction				
<b>5. Capacité à communiquer</b>				
- aisance et capacité d'ouverture par rapport au projet				

TOTAL SUR 20 : .....

A NOTER : les valeurs de notation 1.5/2.5/3.5/4.5 peuvent être accordées.

PART 2 -10mn -ECAM – GRILLE D'EVALUATION –

EVALUATION GRID PART 2 - 10mn (5mn speaking + 5 interaction)

	A2	B1	B2	C1
S'exprimer en continu : clarté et pertinence de l'exposé	1	2	3	4
Recevabilité linguistique Grammaire + aisance lexicale	1	2	3	4
Prononciation Débit / fluidité	1	2	3	4
Capacité à prendre part à un entretien (interaction)	1	2	3	4
Autonomie par rapport aux notes Culture personnelle	1	2	3	4

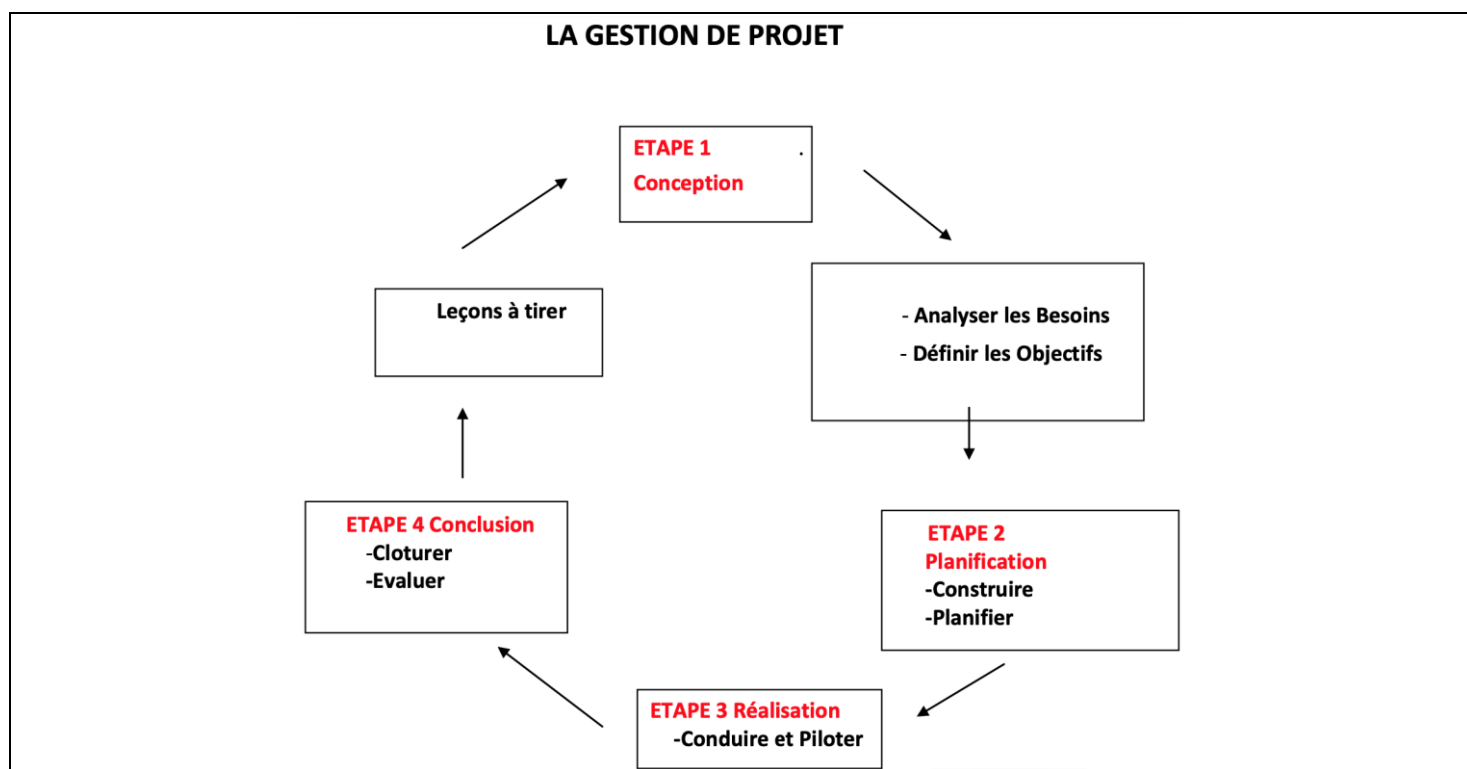
TOTAL SUR 20 : .....

A NOTER : notation uniquement en points entiers.

Annexe A : Gestion de projet

ETAPE 1 : <b>conception</b>		ETAPE 2 : <b>Planification</b>		ETAPE 3 : <b>Réalisation</b>		ETAPE 4 : <b>Conclusion</b>	
Analyse des besoins et lancement du projet		Préparation du projet et planification des tâches		Pilotage du projet et animation de l'équipe		Finalisation du projet et capitalisation de l'expérience	
ANALYSER LES BESOINS	DEFINIR LES OBJECTIFS	CONSTRUIRE	PLANIFIER	CONDUIRE	PILOTER	CLOTURER	EVALUER
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les besoins</li> <li>• <b>Valider la faisabilité et l'opportunité du projet</b></li> <li>• Estimer les ressources nécessaires</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir le ou les objectifs du projet</li> <li>• Nommer le projet</li> <li>• Acter le démarrage du projet (<b>réunion</b>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lister les tâches</li> <li>• Définir l'enchaînement logique des tâches</li> <li>• Attribuer les ressources</li> <li>• <b>Valider le cahier des charges</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Affecter une durée aux tâches</li> <li>• Organiser les tâches dans le temps</li> <li>• Définir les priorités</li> <li>• Poser les jalons</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Animer l'équipe projet</li> <li>• Communiquer autour du projet</li> <li>• <b>Réunions d'avancement et bilans d'étapes</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contrôler l'avancement</li> <li>• Analyser les indicateurs de suivi</li> <li>• Mettre en production</li> <li>• Tester le projet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valider le projet</li> <li>• Livraison de l'ouvrage</li> <li>• <b>Réunion de clôture</b></li> <li>• Établir la Documentation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valider les méthodes et outils utilisés</li> <li>• Capitaliser l'expérience</li> </ul>
METHODE et OUTILS		METHODE et OUTILS		METHODE et OUTILS		METHODE et OUTILS	
Brainstorming Méthode S.M.A.R.T		GANTT. PERT		GANTT, PERT, Carte heuristique		PDCA ou la roue de DEMING	

#### Annexe B Gestion de projet



# Équations différentielles

## I Équation différentielle linéaire d'ordre 1

### Définition Équation différentielle linéaire d'ordre 1

On appelle **équation différentielle linéaire d'ordre 1** toute équation de la forme :

$$a(x)y'(x) + b(x)y(x) = c(x)$$

Où  $a(x)$ ,  $b(x)$  et  $c(x)$  sont des fonctions de la variable  $x$  et où  $a(x)$  **ne s'annule pas**. Une solution de l'équation est alors une **fonction**  $y(x)$  vérifiant l'équation.

### Définition Équation homogène associée

Soit l'équation différentielle (E) :  $a(x)y'(x) + b(x)y(x) = c(x)$ . On appelle **équation homogène associée à l'équation (E)** l'équation :

$$a(x)y'(x) + b(x)y(x) = 0$$

### Propriété Solution de l'équation homogène

Soit l'équation homogène  $a(x)y'(x) + b(x)y(x) = 0$ . Les solutions de l'équation sont :

$$y(x) = Ke^{-\Phi(x)}$$

où  $K$  est une constante de  $\mathbb{R}$  et  $\Phi(x)$  une **primitive** de la fonction  $-\frac{b(x)}{a(x)}$ .

### Théorème Solutions d'une équation différentielle linéaire d'ordre 1

Soit l'équation différentielle (E) :  $a(x)y'(x) + b(x)y(x) = c(x)$ . Soit la fonction  $y_H(x)$  solution de l'équation homogène associée. Soit enfin  $y_P(x)$  une solution particulière à l'équation (E) alors :

$$y_F(x) = y_H(x) + y_P(x) \text{ est solution de l'équation (E)}$$

De plus, si on fixe une condition telle que  $y(x_0) = y_0$  alors la fonction  $y_F(x)$  vérifiant cette condition est l'**unique solution** de l'équation (E).

### Propriété Recherche d'une solution particulière

Soit l'équation  $a(x)y'(x) + b(x)y(x) = c(x)$ . La recherche d'une solution particulière dépend de la forme de la fonction  $c(x)$  :

- Si  $c(x)$  est un polynôme de degré  $n$  alors on cherche une fonction  $y_P(x)$  de la forme d'un **polynôme de même degré**.
- Si  $c(x)$  est composée des fonctions  $\sin(x)$  et  $\cos(x)$  alors on cherche une fonction de la forme  $y_P(x) = a \cos(x) + b \sin(x)$ .
- Si  $c(x)$  est une fonction du type  $e^{kx}$  alors on cherche une fonction  $y_P(x) = Ae^{kx}$ .

## II Équation différentielle linéaire d'ordre 2 à coefficients constants

### Définition Équation différentielle linéaire d'ordre 2 à coefficients constants

On appelle **équation différentielle linéaire d'ordre 2 à coefficients constants** toute équation de la forme :

$$ay''(x) + by'(x) + cy(x) = d(x)$$

Où  $a$ ,  $b$  et  $c$  sont des constantes de  $\mathbb{R}$ . Une solution de l'équation est alors une **fonction**  $y(x)$  vérifiant l'équation.

### Définition Équation homogène associée

Soit l'équation différentielle (E) :  $ay''(x) + by'(x) + cy(x) = d(x)$ . On appelle **équation homogène associée à l'équation (E)** l'équation :

$$ay''(x) + by'(x) + cy(x) = 0$$

### Définition Équation caractéristique associée l'équation homogène

Soit l'équation homogène :  $ay''(x) + by'(x) + cy(x) = 0$ . On appelle **équation caractéristique associée l'équation homogène** l'équation :

$$ar^2 + br + c = 0$$

### Propriété Solution de l'équation homogène

On résout dans un premier temps l'équation caractéristique à l'aide de  $\Delta = b^2 - 4ac$  :

- Si  $\Delta > 0$  alors l'équation caractéristique possède **deux racines distinctes**  $r_1$  et  $r_2$  et une solution de l'équation homogène est alors :

$$y_H(x) = C_1 e^{r_1 x} + C_2 e^{r_2 x}$$

- Si  $\Delta = 0$  alors l'équation caractéristique possède **une unique racine**  $r_0$  et une solution de l'équation homogène est alors :

$$y_H(x) = (C_1 x + C_2) e^{r_0 x}$$

- Si  $\Delta < 0$  alors l'équation caractéristique possède **deux racines complexes** de la forme  $\alpha \pm i\beta$  et une solution de l'équation homogène est alors :

$$y_H(x) = (C_1 \cos(\beta x) + C_2 \sin(\beta x)) e^{\alpha x}$$

où  $C_1$  et  $C_2$  sont des constantes de  $\mathbb{R}$ .

### Théorème Solutions d'une équation différentielle linéaire d'ordre 2

Soit l'équation différentielle (E) :  $ay''(x) + by'(x) + cy(x) = d(x)$ . Soit la fonction  $y_H(x)$  solution de l'équation homogène associée. Soit enfin  $y_P(x)$  une solution particulière à l'équation (E) alors :

$$y_F(x) = y_H(x) + y_P(x) \text{ est solution de l'équation (E)}$$

De plus, si on fixe **deux conditions** telle que  $y'(x_0) = y_0$  et  $y(x_1) = y_1$  alors la fonction  $y_F(x)$  vérifiant ces conditions est l'**unique solution** de l'équation (E).

### Remarque

La recherche d'une solution particulière à l'équation (E) se fait de la même manière que pour les équations différentielles d'ordre 1.

# Méthode d'Euler pour les équations différentielles

## Principe général

La méthode d'Euler permet d'approcher numériquement la solution d'une équation différentielle ordinaire (EDO) du premier ordre lorsqu'une solution analytique n'est pas accessible.

## Problème considéré

On cherche à résoudre une équation différentielle de la forme :

$$y'(t) = f(t, y(t))$$

avec la condition initiale :  $y(t_0) = y_0$

## Formule de récurrence

La méthode d'Euler utilise une discrétisation du temps avec un pas constant  $h$  :

$$y_{n+1} = y_n + h \cdot f(t_n, y_n)$$

où :

- $t_n = t_0 + n \cdot h$  (les points de discrétisation)
- $y_n \approx y(t_n)$  (l'approximation de la solution au temps  $t_n$ )
- $h$  est le pas de discrétisation

## Interprétation géométrique

La méthode d'Euler consiste à suivre la tangente à la courbe solution. À chaque point  $(t_n, y_n)$ , on calcule la pente  $f(t_n, y_n)$  donnée par l'équation différentielle, puis on avance d'un pas  $h$  dans la direction de cette tangente pour obtenir le point suivant.

## Algorithme

1. Initialiser :  $t_0, y_0, h$ , et le nombre de pas  $N$
2. Pour  $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$  :
  - Calculer  $f(t_n, y_n)$
  - Calculer  $y_{n+1} = y_n + h \cdot f(t_n, y_n)$
  - Calculer  $t_{n+1} = t_n + h$
3. Retourner les valeurs  $(t_n, y_n)$

## Exemple

Résoudre  $y' = -2y$  avec  $y(0) = 1$  sur  $[0, 1]$  avec  $h = 0.25$  :

$n$	$t_n$	$y_n$	$f(t_n, y_n)$	$y_{n+1} = y_n + 0.25 \cdot f(t_n, y_n)$
0	0	1	-2	0.5
1	0.25	0.5	-1	0.25
2	0.5	0.25	-0.5	0.125
3	0.75	0.125	-0.25	0.0625
4	1	0.0625	—	—

La solution exacte est  $y(t) = e^{-2t}$ , donc  $y(1) \approx 0.1353$ . L'approximation d'Euler donne 0.0625, illustrant l'erreur de la méthode.

# Annexe : Algorithme de Runge-Kutta d'ordre 2

La méthode de Runge-Kutta de seconde ordre (RK2) est une méthode numérique de résolution des équations différentielles qui est fondée sur une double application du principe des différences finies au point milieu :

$$\dot{X} = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{X(t+h) - X(t + \frac{h}{2})}{\frac{h}{2}} \simeq 2 \frac{X_{n+1} - X_{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} \Rightarrow X_{n+1} = X_{n+\frac{1}{2}} + \frac{\Delta t}{2} F\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, X_{n+\frac{1}{2}}\right)$$

Après plusieurs étapes de calculs, on aboutit finalement au schéma de propagation suivant :

$$X_{n+1} = X_n + F\left(t_n + \frac{\Delta t}{2}, X_n + F\left(t_n, X_n\right) \frac{\Delta t}{2}\right) \Delta t$$

```
def rk2_system(F, t0, Y0, T, N):
    h = (T - t0) / N
    t = np.linspace(t0, T, N+1)
    Y = np.zeros((N+1, len(Y0)))
    Y[0] = Y0
    for n in range(N):
        k1 = F(t[n], Y[n])
        k2 = F(t[n] + h/2, Y[n] + h/2 * k1)
        Y[n+1] = Y[n] + h * k2
    return t, Y

F = lambda t, Y: np.array([Y[1], -Y[0]])
Y_exact = lambda t: np.array([np.cos(t), -np.sin(t)])

t, Y_rk2 = rk2_system(F, 0, [1, 0], 10, 200)
Y_sol = np.array([Y_exact(tt) for tt in t])

plt.plot(t, Y_sol[:,0], 'k-', label="cos(t) exact")
plt.plot(t, Y_rk2[:,0], 'r--', label="RK2 approx")
plt.title("Oscillateur harmonique avec RK2")
plt.xlabel("t")
plt.ylabel("y1(t)")
plt.legend()
plt.grid()
plt.show()
```

## Les quatre étapes de la gestion de projet

Ce document ci-dessous est à considérer comme une aide à la conduite de projet mais il n'est pas demandé à chaque équipe d'appliquer à la lettre ces étapes. C'est une méthodologie à considérer comme un conseil.

### • Etape 1 La conception

L'idée, clé de voûte de la réussite de votre projet : Comment définir l'idée d'un projet ?

Pour susciter la production d'idées, différentes techniques peuvent être utilisées dont le brainstorming.

**Technique du brainstorming** (« tempête de cerveau ») est une technique qui a prouvé son efficacité et qui est pratique, car nécessite peu de temps.

#### TECHNIQUE :

##### PREMIERE PHASE

- - on donne un thème de départ
- - on précise une durée (Quelques minutes)
- - chacun émet les idées qui lui viennent à l'esprit
- - aucune censure : toutes les propositions (idées sérieuses, concrètes, abstraites)
- - aucune analyse, aucun jugement de valeur ni critique des idées émises - les propositions naissent par association d'idées

##### DEUXIEME PHASE

- - on passe en revue chaque proposition en jugeant de leur recevabilité en fonction de la nature du projet
- - les propositions retenues doivent être réalisables et applicables

Lorsque vous avez trouvé l'idée, n'oubliez pas de déterminer les objectifs qui sous-tendent ce projet.

##### TROISIEME PHASE

Cette phase est primordiale. Elle nécessite un esprit d'analyse, une vision concrète et un esprit pratique.

Elle consiste à établir la liste :

1. a) des besoins : matériel nécessaire, autorisations nécessaires, locaux, ressources humaines, partenaires à solliciter, **budget (€)**, etc.
2. b) des moyens : **ce dont vous disposez en matériel**, personnes ressources, budget, parties prenantes

Ces listes établies, il convient de mettre en parallèle les besoins et les moyens répertoriés. C'est également dans cette étape que vous devez envisager les obstacles et les résistances qui pourraient se dresser sur votre route.

### • Etape 2 La planification

Cette phase consiste à déterminer pour **chaque tâche un responsable** et **une date d'échéance**. Le **PERT** est un outil de planification de projet. Il est utilisé pour calculer, de façon réaliste, le temps nécessaire pour terminer un projet.

Préparation du projet et planification des tâches. Un planning sous forme de tableau

**Le cahier des charges est un élément essentiel du projet (A valider)**

### • Etape 3 La réalisation

Phase pratique qui consiste à réaliser les tâches qui vous sont attribuées. -Pilotage du projet

-Animation de l'équipe

-Outils : Le PERT, carte heuristique

### • Etape 4 La conclusion

Cette dernière phase intervient à 2 niveaux :

- - étape par étape
- - globale : après la réalisation totale du projet.

Cette étape consiste à faire le point sur les actions réalisées avec succès ou, au contraire, sur les actions qui n'ont pu aboutir.

### **Les leçons à tirer**

#### **Finalisation du projet et capitalisation de l'expérience**

Si votre évaluation n'est pas positive en tous points, c'est normal, tout ne peut pas être parfait du premier coup.