

Université de Parakou
L'Ecole Nationale de Statistique, de Planification et de
Démographie (ENSPD)

TECHNIQUES QUANTITATIVES DE PLANIFICATION

Dr Jean KOUDI

3 mai 2025

Table des matières

1	Introduction et motivations	3
2	Méthodes basées sur l'extrapolation des tendances : Cas d'une projection démographique.	6
2.1	Croissance linéaire	6
2.2	Croissance géométrique	6
2.2.1	Croissance exponentielle	7
2.3	Croissance logistique	7
2.3.1	Différence entre croissance exponentielle et croissance logistique	8
3	Modèles macroéconomiques de planification	9
3.1	Quelques agrégats et paramètres nécessaires de la comptabilité nationale	9
3.2	Modèle Harrod-Domar	10
3.2.1	Présentation du modèle	10
3.3	Modèle Cobb-Douglas	10
3.3.1	Présentation du modèle	10
3.3.2	Détermination du taux de croissance	11
4	Les Principes de base d'analyse d'inputs-outputs ou des entrées-sorties (TES)	12
4.1	Présentation TES	12
4.2	Structure et composantes du Modèle Input-Output (TES)	14
4.2.1	Les coefficients techniques.	14
4.2.2	Les utilisations du TES et domaines d'emploi.	14
4.2.3	Les hypothèses du modèle.	14
4.2.4	Les équations du modèle.	15
4.2.5	Réalisation d'un TES et calcul des coefficients sur "EXCEL"	16
5	Les outils numériques pour la prévision et projection	17
5.1	Outils pour la prévision (basés sur les données historiques et les tendances) :	17
5.2	Outils pour la projection (exploration de scénarios basés sur des hypothèses) : . . .	17
5.3	Exemple d'applications sur Excel	17
5.4	Outils gratuits	18
5.4.1	Outils gratuits pour la prévision :	18
5.4.2	Outils gratuits pour la projection :	18

6	Techniques d'ordonnancement et de représentation des tâches d'un projet/programme.	19
6.0.1	Le découpage des tâches	20
6.0.2	Ordonnancement des tâche d'un projet	21
6.0.3	Le diagramme de Gantt.	23
6.0.4	Méthode MPM	25
6.0.5	Méthode PERT	27
6.0.6	Date au plutôt et date au plus-tard	29
6.1	MPM-COST et PERT-COST	29
6.2	PERT Probabiliste	31
7	Quelques outils d'analyse et de conception des projets et programmes : la Planification des Interventions Par Objectifs (PIPO), Approche du cadre logique (ACL)-Méthode PERT	37
7.0.1	Idées de base et les facteurs de réussite de la PIPO	37
7.0.2	La phase préparatoire et d'analyse qui comprend les étapes :	37
7.0.3	La phase de planification du projet :	38
7.0.4	Les différentes étapes	38

Introduction et motivations

Qu'est-ce que la planification ?

C'est organiser dans le temps une succession d'événements, organiser selon un plan précis. Elle a donc besoin d'une connaissance parfaite d'événements du passé et une projection sur un futur proche ou lointain afin d'atteindre son objectif à moindre coût ou en minimisant les erreurs. En résumé la planification est toute démarche scientifique et technique qui prend appui sur des informations passées et d'un futur orienté pour prendre des décisions pour un futur proche ou lointain.

- * Elle est toujours orientée vers un futur inconnu. Puisque l'esprit humain ne peut prévoir avec certitude le futur dans toute sa complexité, nous ne pouvons que tenter d'avoir des "visions" des situations prochaines.
- * Elle est motivée par l'intention d'agir, de faire quelque chose par rapport à une situation future inconnue. Dans la vie quotidienne, on poursuit des souhaits et des désirs, sur la base d'un certain système de valeurs.

Les souhaits et les désirs sont décrits comme "objectifs".

Pour y parvenir, cette discipline utilise de nombreuses techniques quantitatives qui s'inscrivent dans sa démarche logique. Le présent cours se veut d'explorer quelques-unes de ces techniques quantitatives dont notamment :

- Méthodes et techniques de projection et de prévision :
 - * Modèle Harrod-Domar
 - * Modèle Cobb-Douglas
 - * Modèle Input-Output
- Méthodes PERT ;
- La Planification des Interventions Par Objectifs (PIPO) ;

Qu'est-ce que la prévision ?

- * La clairvoyance ou le discernement d'esprit grâce auquel on annonce les événements futurs.
- * Étude générale d'une situation donnée, dont on peut, par déduction, calcul ou par une mesure scientifique, connaître par avance l'évolution.
- * Économiquement, elle est la démarche rationnelle pour connaître la situation économique à une échéance plus ou moins lointaine.

Exemple 1.1. .

- *Les prévisions démographiques (naissances, vieillissement).*

- Les prévisions budgétaires.
- Les prévisions économiques.
- Les prévisions météorologiques ou projections climatiques.
- Les prévisions agricole (récoltes, élevage).
- etc.

La prévision peut s'appliquer au court, au moyen et au long terme : on parle de projection pour le court terme, de programmation pour le moyen terme et de prospective pour le long terme.

Les méthodes quantitatives de prévision sont purement objectives et reposent sur des calculs mathématiques et supposent que les données historiques et d'autres facteurs relatifs au problème peuvent être combinés afin d'en retirer des prévisions (Wheelwright et Makridakis, 1983). En bref, deux (2) méthodes existent ; les techniques d'extrapolation et les techniques causales.

Les techniques basées sur les séries chronologiques extrapolent les données antérieures dans le futur tan-disque les méthodes causales incluent des facteurs (ou des variables indépendantes) qui affectent l'objet qui est soumis à l'étude (la variable dépendante). Ils sont nommés ainsi, car ils développent des relations de cause à effet.

La prévision peut-être ponctuelle ou par un intervalle de confiance :

Exemple 1.2. .

- La croissance du PIB sera de l'ordre de 2% en 2026 au Bénin. (Prévision ponctuelle)
- La croissance du PIB sera entre 1.75% et 2.25% en 2026 au Bénin(Prévision par un intervalle de confiance).

Importances

La projection et la prévision jouent un rôle essentiel dans la planification, car elles permettent d'anticiper l'avenir et de prendre des décisions éclairées. Elles permettent de :

- **Réduire l'incertitude** : La prévision permet d'analyser les tendances et d'estimer avec un certain degré de précision ce qui pourrait arriver, ce qui aide à minimiser les risques et à mieux se préparer aux changements.

- **Explorer de scénarios alternatifs** : La projection est particulièrement utile lorsqu'on envisage différentes possibilités. Elle permet d'évaluer les conséquences de certaines décisions ou événements en fonction de diverses hypothèses.

- **Optimiser les ressources** : En ayant une idée des tendances futures, les entreprises, les gouvernements et les particuliers peuvent mieux gérer leurs ressources, éviter le gaspillage et maximiser les opportunités.

- **Prendre une meilleure décision** : Grâce à ces outils, il devient possible d'élaborer des stratégies solides, adaptées aux contextes et aux objectifs spécifiques.

Ces concepts sont appliqués dans des domaines comme la finance, l'économie, l'urbanisme et même la gestion de crises.

Formulation générale

Soit Ω_t (l'indice temporel t correspond à l'instant t) un ensemble des données disponibles. La prévision au temps t d'horizon h d'une variable Y , considérée comme une variable aléatoire, peut

donc s'écrire (Granger et Newbold, 1977) sous la forme d'une fonction de distribution conditionnelle (à l'ensemble d'informations Ω_t) :

$$G(y) = Prob(Y_{t+h} \leq y/\Omega_t) \quad (1.1)$$

Lorsque la prévision est exprimée sous la forme d'une valeur $F_{t,h}$, l'erreur de prévision d'horizon h notée $e_{t,h}$ est définie par :

$$e_{t,h} = |F_{t,h} - Y_{t,h}| \quad (1.2)$$

Exemple :

Soit X une variable aléatoire qui représente la durée de vie d'un individu. la probabilité de survie jusqu'à l'âge x par $P(X > x) = p(x)$. Nous pouvons exprimer la probabilité par la formule suivante (par exemple, Alho et Spencer 2005, p. 76)

$$P(X > x) = \exp \left(- \int_0^x \mu(z) dz \right) \quad (1.3)$$

où $\mu(x) \geq 0$ est le risque de décès. La probabilité de survivre z années supplémentaires, compte tenu de la survie jusqu'à l'âge x , est exprimée par $p_x(z) = p(x+z)/p(x)$, de sorte que l'espérance de vie restante, compte tenu de la survie jusqu'à l'âge x , est :

$$E_x = \int_0^{+\infty} P_x(z) dz \quad (1.4)$$

Méthodes basées sur l'extrapolation des tendances : Cas d'une projection démographique.

L'augmentation de la taille d'une population sur une période donnée est appelée croissance de la population. Le taux de croissance de la population correspond à l'évolution du nombre d'individus dans une population donnée au fil du temps.

On désigne par T la période d'observation ou période de base, P_i la population initiale, P_0 la population disponible à la fin de la période d'observation et P_h la population projetée.

Pendant la période d'observation, la population peut évoluer par la même quantité absolue (croissance linéaire ou constante), par une croissance géométrique, par une croissance exponentielle, par une croissance logistique ou par une croissance quelconque donnée par une fonction d'ajustement f .

En 1798, Thomas Malthus remarque que les populations vivantes tendent à avoir une croissance géométrique (ou exponentielle : la population double à intervalles donnés) alors que les ressources semblent ne pouvoir croître que de façon arithmétique (ou linéaire : chaque doublement demande un temps double du précédent)

2.1 Croissance linéaire

Le taux de variation annuelle de l'effectif de la population Δ est donné par :

$$\Delta = \frac{P_0 - P_i}{T} \quad (2.1)$$

et la population projetée d'horizon h est :

$$P_h = P_0 + \Delta h \quad (2.2)$$

2.2 Croissance géométrique

La population change par le même taux (pourcentage) par unité temporelle. C'est-à-dire $P_{s+1} - P_s$ est proportionnel à P_s . On a :

$$\frac{P_{s+1}}{P_s} = r + 1 = cte \quad (2.3)$$

On a :

$$r = \left[\frac{P_0}{P_i} \right]^{\frac{1}{T}} - 1 \quad (2.4)$$

La pulation projetée d'horison h est :

$$P_h = P_0 \times (r + 1)^h \quad (2.5)$$

2.2.1 Croissance exponentielle

L'évolution est similaires à la croissance géométrique, mais le changement s'opère de façon continue.

Le taux exponentiel de variation annuelle moyenne est :

$$r = \frac{\left[\ln \left(\frac{P_0}{P_i} \right) \right]}{T} \quad (2.6)$$

et la population projetée d'horison h est :

$$P_h = P_0 e^{rh} \quad (2.7)$$

2.3 Croissance logistique

La fonction logistique :

- décrit un processus de diffusion où un nouveau comportement est progressivement adopté dans une population.

- Peut être utilisée comme modèle pour représenter le comportement de diverses populations et phénomènes démographiques.

- Elle possède une asymptote maximale et une asymptote minimale.

La fonction logistique est utilisée pour projeter le niveau de l'espérance de vie à la naissance et de l'indicateur synthétique de fécondité (croissance à partir d'un niveau de départ avant d'atteindre une asymptote maximale ou minimale)

La projection logistique d'horizon h est :

$$P_h = \frac{a}{1 + be^{-ch}} \quad (2.8)$$

Avec :

a, b, c des paramètres tels que :

a représente l'asymptote maximale (le niveau maximal)

b et c définissent la forme de la courbe logistique

On a aussi $b = \frac{a}{P_i} - 1$ et c représente le taux de croissance tels que $P(t)$ soit la solution de l'équation différentielle

$$P'(t) = cP(t) \left(1 - \frac{P(t)}{a} \right) \quad (2.9)$$

h est le temps

De façon générale la fonction logistique est exprimée comme suit :

$$P(t) = \frac{k}{1 + e^{-\alpha(t-t_m)}} \quad (2.10)$$

k : est le niveau de saturation de la population.

α : est le taux de croissance.

t_m : durée moyenne.

2.3.1 Différence entre croissance exponentielle et croissance logistique

Croissance exponentielle et croissance logistique sont deux termes utilisés pour décrire la croissance des populations. La différence principale entre croissance exponentielle et logistique est que la croissance exponentielle se produit lorsque les ressources sont abondantes, tandis que la croissance logistique se produit lorsque les ressources sont limitées. La croissance exponentielle est proportionnelle à la taille de la population. Il est influencé par le taux de naissance et le taux de décès. La croissance logistique est influencée par la taille de la population, la concurrence et les ressources limitées.

Modèles macroéconomiques de planification

Dans le plan de développement économique et social d'un pays, la variable la plus importante est la production des biens et services. L'analyse de cette variable est faite à partir de trois (3) types de modèles à savoir :

- le modèle Harrod-Domar (caractérisé par des fonctions de production à coefficient fixe) ;
- le modèle Cobb-Douglas (caractérisé par des fonctions de production à coefficient variable) ;
- le modèle Input-Output de Leontief qui permet de déterminer les relations entre les différents secteurs d'activité d'une part et entre la production de chaque secteur d'activité d'autre par.

3.1 Quelques agrégats et paramètres nécessaires de la comptabilité nationale

La comptabilité nationale permet de donner des informations sur les différents agents économiques, sur les agrégats et sur les paramètres macroéconomiques. Les agents économiques sont : les ménages, les entreprises, les administrations publiques et le reste du monde. Les agrégats et les paramètres macroéconomiques qu'on utilise dans le plan de développement sont analysés et estimés en comptabilité nationale. Les plus importants sont les suivants : La production (Y), la main-d'œuvre (L), le stock de capital (K), les investissements ($I = \nabla K$) épargne (S), le salaire (W), l'importation (M), l'exportation (X), les dépenses publiques (G) et la population totale (N).

Les principaux rapports sont les suivants :

1. Par rapport au facteur travail (L) :
 - (a) le rapport $\frac{Y}{L}$ représente la productivité moyenne du facteur travail ;
 - (b) le rapport $\frac{\nabla Y}{\nabla L}$ représente la productivité marginale du facteur travail ;
 - (c) le rapport $\frac{L}{Y}$ représente le coefficient moyen du travail ;
 - (d) le rapport $\frac{\nabla L}{\nabla Y}$ représente le coefficient marginal du travail.
2. Par rapport au facteur capital (K) :
 - (a) le rapport $\frac{Y}{K}$ représente la productivité moyenne du facteur capital ;
 - (b) le rapport $\frac{\nabla Y}{\nabla K}$ représente la productivité marginale du facteur capital ;
 - (c) le rapport $\frac{K}{Y}$ représente le coefficient moyen du facteur capital ;
 - (d) le rapport $\frac{\nabla K}{\nabla Y}$ représente le coefficient marginal du facteur capital.
3. Par rapport à la consommation et à l'épargne
 - (a) le rapport $\frac{C}{Y}$ représente la propension moyenne à consommer ;

- (b) le rapport $\frac{\nabla C}{\nabla Y}$ représente la propension marginale à consommer ;
- (c) le rapport $\frac{s}{Y}$ représente la propension moyenne à épargner ;
- (d) le rapport $\frac{\nabla S}{\nabla Y}$ représente la propension marginale à épargner ;

3.2 Modèle Harrod-Domar

3.2.1 Présentation du modèle

La fonction de production Harrod-Domar se présente comme suit

$$y = \min\left\{\frac{L}{u}, \frac{K}{v}\right\} \quad (3.1)$$

C'est une fonction de production où les proportions des facteurs sont fixes et ces proportions sont v pour le facteur capital et u pour le facteur travail.

min signifie que la production Y est égale au plus petit des deux rapports. Les deux facteurs doivent être combinés dans les proportions fixes pour obtenir une production d'une manière économiquement optimale c'est-à-dire sans gaspillage des ressources.

Pour évaluer le taux de croissance de Y , on peut supposer d'abord que $Y = \frac{K}{v}$. Etant donné que v est une constante, on a :

$\nabla Y = \frac{\nabla K}{v}$ en utilisant le fait que

l'investissement $I = \nabla K = sY$ où s la propension marginale à épargner on a $\nabla Y = \frac{sY}{v}$.

On obtient le taux de croissance

$$\frac{\nabla Y}{Y} = \frac{s}{v} \quad (3.2)$$

En partant de la conclusion selon laquelle le taux de croissance économique dépend principalement de deux facteurs à savoir l'épargne et le capital, plusieurs organismes de développement ont utilisé le modèle Harrod-Domar pour développer les économies des pays du tiers monde.

3.3 Modèle Cobb-Douglas

3.3.1 Présentation du modèle

Le modèle de Cobb-Douglas est d'origine néo-classique qui admet 2 hypothèses :

- Il y a concurrence parfaite ;
- Les facteurs capital et travail sont rémunérés proportionnellement à leur productivité marginale ;

La fonction de production de Cobb-Douglas se présente comme suit :

$$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha} \quad (3.3)$$

avec $\alpha \in [0, 1]$

La fonction Cobb-Douglas possède 4 caractéristiques :

1. Le rendement d'échelle est constant ;
2. Les facteurs capital et travail sont substituables ;

3. Les productivités marginales du capital et du travail sont des fonctions homogènes de degré 0 c'est-à-dire lorsque les facteurs K et L varient dans les mêmes proportions, leur productivité marginale ne varie pas ;
4. La fonction de production satisfait le théorème d'Euler qui stipule que lorsque les facteurs de production sont multipliés par leur productivité marginales, on trouve Y qui est la production totale.

$$Y = KP_{mk} + LP_{ml} \quad (3.4)$$

où $P_{mk} = \frac{\partial Y}{\partial K}$ et $P_{ml} = \frac{\partial Y}{\partial L}$.

α désigne la proportion de Y qui revient au facteur K et $(1 - \alpha)$ désigne la proportion de Y qui revient au facteur L.

3.3.2 Détermination du taux de croissance

$Y = AK^\alpha L^{1-\alpha}$ on prend le logarithme de Y

$$\log(Y) = \log(A) + \alpha \log(K) + (1 - \alpha) \log(L)$$

on en déduit

$$\frac{dY}{Y} = \frac{dA}{A} + \alpha \frac{dK}{K} + (1 - \alpha) \frac{dL}{L} \quad (3.5)$$

Où

$\frac{dY}{Y}$ désigne le taux de croissance de la production

$\frac{dA}{A}$ désigne le taux de croissance de A

$\frac{dK}{K}$ désigne le taux de croissance de K

$\frac{dL}{L}$ désigne le taux de croissance de L

Si A est constant on

$$\frac{dY}{Y} = \alpha \frac{dK}{K} + (1 - \alpha) \frac{dL}{L} \quad (3.6)$$

En conclusion, pour le modèle de Cobb-Douglas, le taux de croissance de la production dépend de (2) groupes d'éléments notamment :

a) Le taux de croissance du progrès technique ;

b) Le coefficient d'élasticité à savoir :

* α : pour le facteur capital ;

* $(1 - \alpha)$: pour le facteur travail

Le modèle de Cobb-Douglas peut-être moins réaliste si le facteur travail n'est pas rémunéré en fonction de sa productivité.

Les Principes de base d'analyse d'inputs-outputs ou des entrées-sorties (TES)

4.1 Présentation TES

Le tableau des entrées et sorties, TES, est un outil de comptabilité nationale. Il montre sur une période donnée quelles ont été les entrées et sorties sur chaque branche et secteur de l'économie. Il récapitule l'ensemble des opérations financières menées. Les branches sont différenciées des secteurs d'activité. Un secteur d'activité est déterminé par un type de savoir-faire et de production. Les branches, elles, sont représentatives de chaque produit. Il existe donc beaucoup plus de branches que de produits. Le tableau des entrées et sorties permet donc de décrire les activités financières et de décrire les emplois et les ressources de chaque branche. Les emplois désignent les débits, tandis que les ressources désignent les crédits. C'est un outil utilisé par les comptables nationaux pour expliquer les évolutions économiques et effectuer des simulations.

Le TES se présente sous la forme de trois grands blocs :

- une matrice des ressources ventilant par produits les ressources du compte de biens et services ;
- une matrice des consommations intermédiaires ventilée par produits et branches, elle est associée à une matrice ventilant par branches la valeur ajoutée et la production ;
- une matrice des emplois finals ventilant par produits les emplois finals du compte de biens et services.

Une présentation simplifiée du TES, pourrait être la suivante.

Consommation Intermédiaire		CI Produit	Total CI	Demande finale	Total Emplois
	Produit	(I)		(II)	
	Total CI				
Valeur Ajoutée		(III)			
	Total VA				
	Total Production				
	Importation				
	Total des ressources				

CI : Consommation intermédiaire

VA : Valeur ajoutée

Pour chaque produit, le TES établit l'équilibre comptable " ressources-emploi " :

Production + Importations + Droits de douane + Marges commerciales + TVA grevant les produits = Consommations intermédiaires + Consommation finale + Investissement (FBCF) + Exportations + Variation de stocks.

Pour chaque branche, le TES établit la valeur ajoutée (brute).

Production- Consommations intermédiaires = Valeur ajoutée (brute).

Exemple 4.1. *Un TES*

	Agriculture	Industrie	Services	Total
Agriculture	100	300	200	600
Industrie	200	500	300	1000
Services	100	200	200	500
Total CI	400	1000	700	2100
Valeur ajoutée	600	2000	1300	3900
Production	1000	3000	2000	

Dans ce tableau les colonnes correspondent aux branches et les lignes aux produits. Ainsi, si nous considérons la colonne "Agriculture", 100 représente la consommation intermédiaire de la branche agriculture en produits de l'agriculture, 200 la consommation intermédiaire de la branche agriculture en produits de l'industrie, 100 la consommation intermédiaire de la branche agriculture en produits des services, 400 est le total de la consommation intermédiaire de la branche agriculture.

Si nous considérons la ligne "Industrie", 200 est la consommation intermédiaire en produits de l'industrie par la branche agriculture, 500 la consommation intermédiaire en produits de l'industrie par la branche industrie, 300 la consommation intermédiaire en produits de l'industrie par la branche des services, 1000 le total de la consommation intermédiaire en produits de l'industrie de l'ensemble de l'économie.

Le tableau l'exemple précédent peut être complété par deux autres pour faire apparaître l'ensemble du compte de biens et services. Ainsi, à gauche nous pouvons ajouter un tableau montrant les ressources du compte de biens et services, c'est-à-dire la production, les importations, les impôts moins les subventions sur les produits. Pour simplifier la présentation de notre exemple numérique, nous supposons qu'il n'y a ni impôts ni subventions sur les produits.

À droite, nous pouvons ajouter un tableau montrant les différents emplois finals, c'est-à-dire la consommation finale, la formation brute de capital fixe, les variations de stocks, les acquisitions de biens de valeur et les exportations. Pour simplifier la présentation nous négligerons les variations de stocks et les acquisitions de biens de valeur.

Nous obtenons ainsi un tableau appelé tableau entrées-sorties (TES) par les comptables nationaux français. Ce tableau est directement tiré des travaux de l'économiste W. Léontief qui avait publié en 1939 un tableau similaire présentant le système de production des Etats-Unis. Sous une forme très simplifiée, le tableau entrées-sorties se présente sous la forme suivante :

Exemple 4.2. Un TES

	Ressources			Emplois							
	Prod.	Import.	Total	Agri.	Indus.	Serv.	Total	CF	FBCF	Export.	Total
Agriculture	1000	200	1200	100	300	200	600	400	100	100	1200
Industrie	3000	600	3600	200	500	300	1000	1000	900	700	3600
Services	2000	100	2100	100	200	200	500	1400	0	200	2100
Total	6000	900	6900	400	1000	700	2100	2800	1000	1000	6900
			VA	600	2000	1300	3900				
			Prod.	1000	3000	2000	6000				

Chaque ligne de ce tableau montre les ressources et les emplois de chaque groupe de produits.

La production se retrouve à la fois dans la première colonne et dans la dernière ligne, dans la colonne il s'agit de la production par produits et dans la ligne il s'agit de la production par branches. Dans notre exemple numérique nous retrouvons les mêmes valeurs parce que nous avons supposé que les branches sont homogènes, c'est-à-dire que chaque branche ne produit qu'un seul produit.

4.2 Structure et composantes du Modèle Input-Output (TES)

4.2.1 Les coefficients techniques.

Ils traduisent le lien qui existe entre chaque input et output dans lequel celui-ci se trouve incorporé.

Exemple : si X_{ij} désigne la quantité du bien produit par le secteur i qui est utilisé par le secteur j , le coefficient $a_{ij} = X_{ij}/X_j$ traduit la quantité du bien en provenance du secteur i absorbé par le secteur j pour la production d'une unité du bien X_j . C'est-à-dire

$$a_{ij} = \frac{\text{consommation intermédiaire de produit } i \text{ par la branche } j}{\text{production de la branche } j} \quad (4.1)$$

4.2.2 Les utilisations du TES et domaines d'emploi.

Les TES retracent l'origine et la destination des flux liés à la production. Ils permettent d'appréhender toute incidence d'une variation en prix ou en volume d'une consommation intermédiaire ou d'un élément de la valeur ajoutée sur les consommations dans leur ensemble, sur les prix, les productions totales et demandes finales d'un ensemble de secteurs ou branches.

Les TES servent à vérifier l'existence d'équilibre de même que les conditions de leur maintien en cas de la variation de la demande finale. Ils permettent aussi de mesurer les changements apportés au système de prix à la suite d'une modification d'un des éléments. Ils sauront enfin apprécier le degré de la dépendance des secteurs entre eux.

4.2.3 Les hypothèses du modèle.

- i) hypothèse d'homogénéité : à chaque secteur correspond un et un seul produit et une et une seule structure des sorties. Les produits des différents secteurs ne sont pas substituables

c'est-à-dire qu'à chaque produit correspond un et un seul secteur,

- ii) hypothèse d'additivité : puisqu'il n'y a qu'un seul produit par secteur, le résultat global des opérations du secteur est égal à la somme des équations. Il n'y a donc pas d'effets externes.

NB : En théorie pur, les tableaux doivent être établis en nature, mais dans la pratique, ils sont dressés en unité monétaire constantes, à cause de l'hypothèse d'activité (car les secteurs produisent des produits différents).

4.2.4 Les équations du modèle.

Elles concernent globalement la production et sa répartition et sont au nombre de deux ordres : les équations d'équilibre et les équations structurelles.

Les équations d'équilibre.

Dans ces équations, on suppose que la production est intégralement écoulee soit pour les consommations intermédiaires (CI) soit pour les consommations finales (Y). Considérons une économie comprenant n secteurs, soit $i = 1, 2, \dots, n$, x_i la production du secteur i :

- X_{ij} = production du secteur i absorbée par le secteur j ,
- Y_i = production du secteur i destinée à la consommation finale.

Pour qu'il y ait équilibre, il faut que la production X_i d'un secteur soit égale à la somme des consommations intermédiaires (X_{ij}) et de la demande finale (Y_i) d'où :

$$X_i = \sum X_{ij} + Y_i \quad (4.2)$$

En détail, nous avons :

$$\begin{cases} X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1n} + Y_1 &= X_1 \\ X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2n} + Y_2 &= X_2 \\ \vdots &= \vdots \\ X_{n1} + X_{n2} + \dots + X_{nn} + Y_n &= X_n \end{cases} \quad (4.3)$$

Les équations structurelles.

Les relations d'interdépendances sectorielles sont expliquées par les équations structurelles. Pour cela, nous cherchons la part du produit i entrant dans la fabrication d'une unité du bien j . Etant donné l'hypothèse de linéarité, cette part est constante. Elle est appelée coefficient technique et se présente comme suit :

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \Rightarrow X_{ij} = a_{ij} X_j \quad (4.4)$$

En remplaçant X_{ij} de la relation (4.3) par sa valeur dans (4.4), on obtient :

$$\begin{cases} a_{11}X_1 + a_{12}X_2 + \dots + a_{1n}X_n + Y_1 &= X_1 \\ a_{21}X_1 + a_{22}X_2 + \dots + a_{2n}X_n + Y_2 &= X_2 \\ \vdots &= \vdots \\ a_{n1}X_1 + a_{n2}X_2 + \dots + a_{nn}X_n + Y_n &= X_n \end{cases} \quad (4.5)$$

Sous forme matricielle, on a :

$$X = AX + Y \quad (4.6)$$

où

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & a_{nn} \end{pmatrix} \text{ est la matrice des coefficients techniques,}$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \vdots \\ X_n \end{pmatrix} \text{ est le vecteur des productions totales et}$$

$$Y = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ \vdots \\ Y_n \end{pmatrix} \text{ est le vecteur des productions finales.}$$

L'équation 4.6 se ramène à :

$$(I_n - A)X = Y \quad (4.7)$$

avec I_n la matrice unitaire d'ordre n.

Si la la matrice $(I_n - A)$ est inversible, alors

$$X = (I_n - A)^{-1}Y \quad (4.8)$$

$(I_n - A)^{-1}$ est appelé matrice inverse de Leontief. Les coefficients techniques caractérisent les secteurs de la production c'est-à-dire qu'ils n'ont de signification qu'au niveau de ces secteurs dans un cadre macro-économique. Le tableau étant établi en valeur, la somme des coefficients techniques relatifs aux intrants d'un produit représente le total des consommations intermédiaires nécessaires pour la production d'une unité monétaire du produit considéré.

Son complément à 1 est la valeur (VA), ce qui veut dire que VA par Unité de produit j :

$$\left(1 - \sum_i a_{ij}\right) = \text{VA (par unité de produit j)}.$$

Rappelons qu'il s'agit des prix constants pour éliminer les incidences des prix sur les coefficients techniques.

4.2.5 Réalisation d'un TES et calcul des coefficients sur "EXCEL"

Les outils numériques pour la prévision et projection

Il existe une multitude d'outils utilisés pour la projection et la prévision, en fonction du domaine d'application et du type de données analysées. Voici quelques-uns des plus courants :

5.1 Outils pour la prévision (basés sur les données historiques et les tendances) :

- **Logiciels statistiques** : R, SPSS, SAS (très utilisés en économie, finance et recherche scientifique)
- **Feuilles de calcul avancées** : Excel avec les fonctions de prévision et modèles prédictifs
- **Modèles de Machine Learning** : TensorFlow, Scikit-learn (utilisés en intelligence artificielle pour des prévisions complexes)
- **Systèmes de prévision météorologique** : WRF, ECMWF (pour les prévisions climatiques)

5.2 Outils pour la projection (exploration de scénarios basés sur des hypothèses) :

- **Simulations économiques** : Modèles CGE (Computable General Equilibrium), modèles économétriques
- **Logiciels de planification stratégique** : Power BI, Tableau (utilisés en gestion et en business intelligence)
- **Outils de modélisation financière** : MATLAB, Bloomberg Terminal (utilisés pour tester divers scénarios financiers)
- **Modèles démographiques et urbanistiques** : QGIS, ArcGIS (pour la planification des villes et l'évolution des populations)

La combinaison de ces outils permet d'améliorer la précision des analyses et d'aider à la prise de décisions éclairées.

5.3 Exemple d'applications sur Excel

Excel, qui est l'un des outils les plus accessibles pour la prévision. Il dispose d'une fonction de prévision basée sur des modèles statistiques comme la régression linéaire.

Utilisation de la fonction de prévision dans Excel :

-
- **Préparer les données** : Organise tes données dans deux colonnes, une avec les valeurs historiques (par exemple, ventes mensuelles) et l'autre avec les dates correspondantes.
 - **Utiliser la fonction de prévision** :
Clique sur une cellule vide où tu veux afficher la prévision.
 - **Tape la formule excel** : `=PREVISION.LINEAIRE(nouvelle_date ; plage_valeurs ; plage_dates)`
 - **Remplace nouvelle_date** par la date où on veut estimer la valeur. plage_valeurs correspond aux chiffres connus (ex : ventes des derniers mois). plage_dates correspond aux périodes correspondantes.
 - **Interpréter les résultats** : Excel va estimer la valeur future basée sur la tendance passée.
Visualiser avec un graphique : on peut aussi créer un graphique de tendance en sélectionnant tes données et en insérant une courbe de tendance sous l'onglet "Graphiques".

5.4 Outils gratuits

5.4.1 Outils gratuits pour la prévision :

- **Excel (avec les fonctions basiques)** – Bien que Microsoft Excel soit payant, certaines fonctionnalités de prévision sont accessibles dans des versions gratuites ou via Google Sheets.
- **Google Sheets** – Offre une fonction de prévision similaire à Excel et permet d'utiliser des modèles prédictifs via des scripts Google.
- **R (avec les packages de prévision)** – Un logiciel open-source puissant pour les analyses statistiques et les prévisions basées sur des modèles mathématiques.
- **Python (avec Pandas et Scikit-learn)** – Utilisé pour créer des modèles de prévision avancés, notamment en machine learning.
- **Weka** – Un outil d'apprentissage automatique gratuit pour l'analyse de tendances et les prévisions de données.

5.4.2 Outils gratuits pour la projection :

- **Power BI (version gratuite)** : Permet de modéliser divers scénarios financiers et économiques, utile en gestion et en business intelligence.
- **Tableau Public** : Une alternative gratuite pour créer des projections et visualiser des tendances.
- **QGIS** : Un outil gratuit de cartographie et de modélisation utilisé pour les projections démographiques et urbaines.
- **LibreOffice Calc** : – Une alternative open-source à Excel, avec des fonctions de modélisation basiques.
- **AnyLogic Personal Edition** : – Un simulateur gratuit utile pour les projections complexes dans les domaines économiques, industriels et environnementaux.

Techniques d'ordonnancement et de représentation des tâches d'un projet/programme.

La planification a pour objectif de déterminer et d'ordonnancer les tâches à effectuer au sein d'un projet, puis d'estimer leur durée et les ressources nécessaires à leur accomplissement. Il existe plusieurs techniques pour parvenir à découper un projet en tâches et pour les répartir sur un planning.

La gestion des tâches compte un ensemble d'actions :

1. l'identification des tâches, grâce au découpage du projet,
2. la priorisation des tâches : l'ordonnancement des tâches les unes par rapport aux autres,
3. la planification des tâches : leur répartition dans le temps,
4. la répartition des tâches : l'allocation des ressources.

Interconnectées, ces actions nécessitent parfois de passer à l'étape suivante puis de réajuster. Par exemple, des contraintes dans la répartition des ressources humaines peuvent amener à revoir la planification.

La planification est bien entendu étroitement liée au facteur temps, mais aussi :

- i) aux objectifs (quoi ?),
- ii) aux parties prenantes (qui ?),
- iii) aux méthodes et outils (comment ?),
- iv) aux contraintes :
 - (a) les ressources sont souvent limitées (main d'œuvre, matériel) ;
 - (b) la durée du projet doit être la plus courte possible ;
 - (c) le coût doit être le moins élevé possible et rentrer dans le budget initialement alloué ;
 - (d) la qualité doit être optimale et conforme aux prévisions.

Ainsi, 5 paramètres essentiels sont à prendre en compte :

- * la qualité,
- * le coût,
- * le délai,
- * la performance,
- * les risques.

6.0.1 Le découpage des tâches

Le découpage des tâches permet de faciliter l'estimation des durées et des coûts, et d'écartier de nombreux facteurs de risques dus à des projections trop éloignées dans le temps. C'est ce qu'on appelle l'effet tunnel : il est impossible d'évaluer la charge de travail autrement.

Idéalement, la tâche découpée est rapide (une journée par exemple) et "atomique" : c'est une unité du projet, elle peut être réalisée seule. Si elle dépend des autres et que ses contours sont trop flous, il faut revoir le découpage. Pour ce faire, plusieurs méthodes peuvent vous aider.

Le mind mapping (carte mentale)

Cette méthode, qui permet d'organiser son esprit et de prendre des décisions réfléchies en faisant le tour d'une problématique, peut être utilisée en individuel ou en groupe. L'objectif principal est inscrit au centre, donnant naissance à des branches de mots clés qui se créent au fur et à mesure, d'où partent d'autres idées, tâches et contraintes. Le schéma va du général (au centre) vers le spécifique.

Chef de projet, équipe projet, votre travail ne s'arrête pas là : maintenant que les différentes tâches sont bien identifiées, il vous faut établir leur interconnexion (ou interdépendance).

Les tâches peuvent être :

- i) successives,
- ii) simultanées,
- iii) convergentes.

Mais lesquelles réaliser en premier pour un enchaînement logique et fluide ?

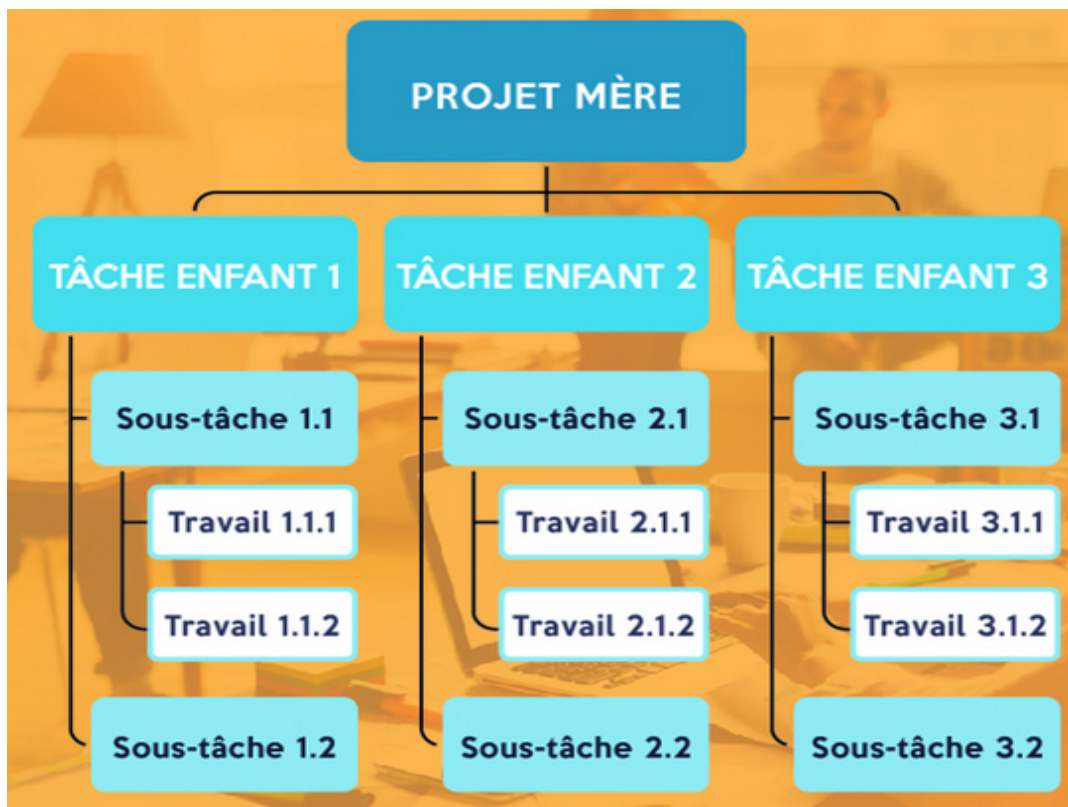
Deux critères entrent en jeu :

1. L'importance de la tâche dans l'ensemble du projet
2. Son degré d'urgence.

Le Work Breakdown Structure (WBS)

Organigramme des Tâches du Projet (OTP) en français, c'est l'une des méthodes opérationnelles les plus connues pour découper un projet en unités gérables. Il s'agit d'un mapping hiérarchique qui part des activités majeures à réaliser, c'est-à-dire des livrables principaux et sous-livrables (ci-dessous projet mère et tâches enfants) vers les tâches nécessaires à leur réalisation et les sous-tâches.

Voici un exemple de structuration d'un projet.



6.0.2 Ordonnancement des tâche d'un projet

Les techniques d'ordonnancement permettent à l'entreprise de mieux gérer ses projets, ses activités et d'améliorer ses performances. Plus précisément les techniques d'ordonnancement ont pour objectif : l'organisation de l'ensemble des tâches composant un projet ; la détermination de la durée totale de réalisation du projet ; un meilleur contrôle du projet ; une identification et si possible, une réduction des goulots éventuels qui risquent de retarder ou de perturber la réalisation du projet ; une étude des différentes possibilités de réduction des délais de réalisation et donc des coûts du projet ; une meilleure allocation des ressources nécessaires au projet. Ces techniques ne concernent pas uniquement la production ; elles permettent d'améliorer la gestion de tout projet, comme par exemple, l'organisation d'une campagne de publicité, une mission d'audit, le lancement d'un nouveau produit, ou encore, la mise en place d'une comptabilité en normes internationales.

Il existe en général trois méthodes d'ordonnancement : *le diagramme de Gantt*, *la méthode MPM (Méthode des potentiels Métra)*, *le PERT (Program Research Technic)*.

Les méthodes d'ordonnancement permettent d'élaborer un graphe qui représente l'ensemble des tâches composant le projet ainsi que les liens qui existent entre elles. Sur le graphe, apparaissent également la durée de chaque tâche, la date à laquelle elle peut débiter au plus tôt et au plus tard.

La méthode des potentiels METRA (MPM) a été développée en France dans les années soixante-dix mais elle trouve son origine aux États-Unis, où au début des années soixante, a été développée la méthode PERT

Détermination des niveaux

La première étape de l'ordonnancement d'un projet est la détermination des niveaux des tâches qui constituent ce projet.

Les tâches étant liées par des relations de succession, on obtient facilement le dictionnaire des prédécesseurs de ce projet qui sera représenté par un diagramme ou par un graphe.

Le principe de détermination des niveaux se présente comme suit :

1. On attribue le niveau 0 à toute tâche ne possédant pas de prédécesseur puis on les surprime dans la liste des prédécesseurs.
2. On attribue en suite le niveau 1 aux nouvelles tâches sans précédent puis on les barrer à leur tour de la liste des précédents.
3. On répète le processus jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de tâche sans niveau.

Exemple 6.1. *Considérons le graphe suivant défini par son dictionnaire des précédents :*

<i>Sommets</i>	<i>Précédents</i>
<i>A</i>	-
<i>B</i>	-
<i>C</i>	<i>B</i>
<i>D</i>	<i>A, B</i>
<i>E</i>	<i>C</i>
<i>F</i>	<i>E</i>
<i>G</i>	<i>D, E</i>
<i>H</i>	<i>G, F</i>

Organisons ce graphe par niveau.

• *Les sommets A et B n'ont pas de précédents, donc ils sont de niveau zéro (0). On les barre dans la liste des précédents*

<i>Sommets</i>	<i>Précédents</i>	<i>Niveaux</i>
<i>A</i>	-	0
<i>B</i>	-	0
<i>C</i>	<i>B</i>	
<i>D</i>	<i>A</i> , <i>B</i>	
<i>E</i>	<i>C</i>	
<i>F</i>	<i>E</i>	
<i>G</i>	<i>D, E</i>	
<i>H</i>	<i>G, F</i>	

• *Les sommets C et D n'ont pas de précédents, donc ils sont de niveau un (1). On les barre dans la liste des précédents*

<i>Sommets</i>	<i>Précédents</i>	<i>Niveaux</i>
<i>A</i>	-	0
<i>B</i>	-	0
<i>C</i>	<i>B</i>	1
<i>D</i>	<i>A</i> , <i>B</i>	1
<i>E</i>	<i>C</i>	
<i>F</i>	<i>E</i>	
<i>G</i>	<i>D</i> , <i>E</i>	
<i>H</i>	<i>G, F</i>	

• *Le sommet E n'a plus de précédent, donc il est de niveau deux (2). On le barre dans la liste des précédents*

Sommets	Précédents	Niveaux
A	-	0
B	-	0
C	B	1
D	A, B	1
E	C	2
F	E	
G	D, E	
H	G, F	

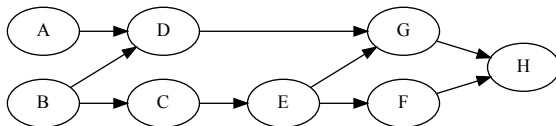
• Les sommets F et G n'ont plus de précédents, donc ils sont de niveau trois (3). On les barre dans la liste des précédents

Sommets	Précédents	Niveaux
A	-	0
B	-	0
C	B	1
D	A, B	1
E	C	2
F	E	3
G	D, E	3
H	G, F	

• Le sommet H n'a plus de précédent, donc il est de niveau quatre (4). On le barre dans la liste des précédents

Sommets	Précédents	Niveaux
A	-	0
B	-	0
C	B	1
D	A, B	1
E	C	2
F	E	3
G	D, E	3
H	G, F	4

Le graphe peut se représenter par niveau comme suit :



6.0.3 Le diagramme de Gantt.

Ce type de diagramme a été mis au point par un américain Henry Gantt.

On représente au sein d'un tableau, en ligne les différentes tâches et en colonne les unités de temps(exprimées en mois, semaines, jours, heures...)

La durée d'exécution d'une tâche est matérialisée par un trait au sein du diagramme.

Les différentes étapes de réalisation d'un diagramme de Gantt son les suivantes :

ETAPE I : On détermine les différentes tâches (ou opérations) à réaliser et leur durée.

TAPE II : on définit les relations d'antériorité entre tâches.

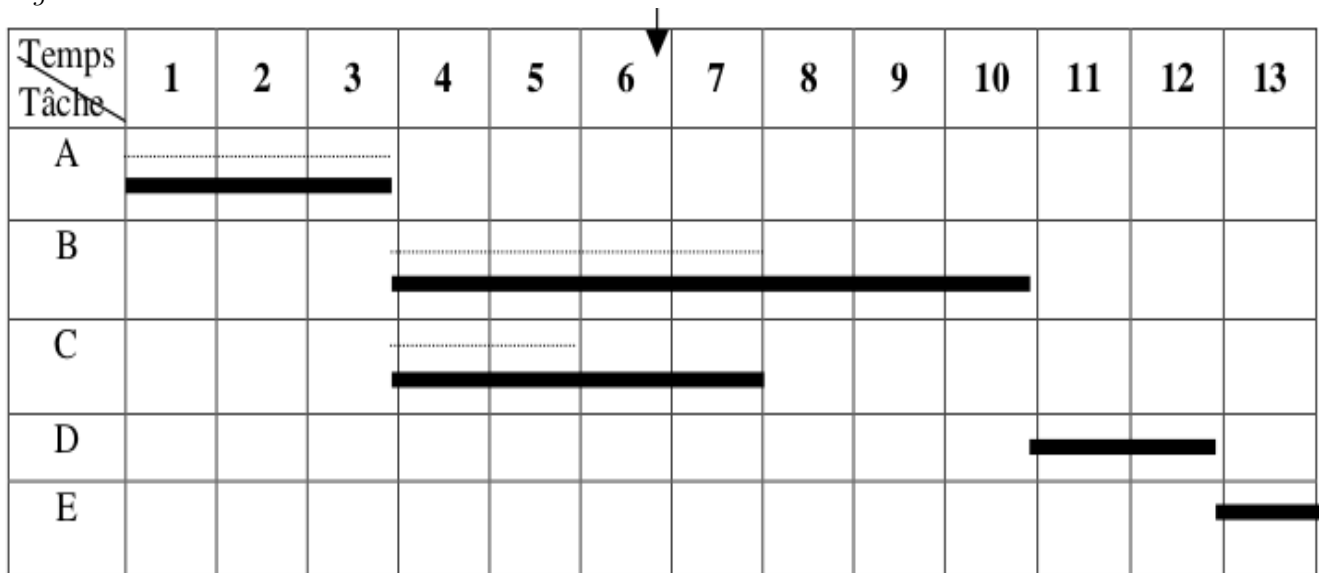
TAPE II : on représente d'abord les tâches n' ayant aucune antériorité, puis les tâches dont les tâches antérieures ont déjà été représentées, et ainsi de suite ...

TAPE II : on représente par un trait parallèle en pointillé à la tâche planifiée la progression réelle du travail.

Exemple 6.2. On considère ce projet

Sommets	Précédents
A	-
B	A
C	A
D	C, B
E	D

son diagramme de Gantt est le suivant :



Remarque 6.3. i) Chaque colonne représente une unité de temps.

ii) Les durées d'exécution prévues des tâches sont représentées par un trait épais. (4 unités de temps pour C).

iii) Les contraintes de succession se lisent immédiatement.

- Les tâches B et C succèdent à la tâche A.
- D succède à B.

iv) Le déroulement d'exécution des tâches figure en pointillé, au fur et à mesure des contrôles. On est à la fin de la 6 ème unité de temps, B est en avance d'une unité et C'est en retard d'une unité.

v) On peut alors déterminer le chemin critique : qui est formé d'une succession de tâches, sur le chemin le plus long en terme de durées. Il est appelé chemin critique car tout retard pris sur l'une des tâches de ce chemin, entraîne du retard dans l'achèvement du projet. (Chemin critique : A, B, D, E)

Les avantages de la méthode :

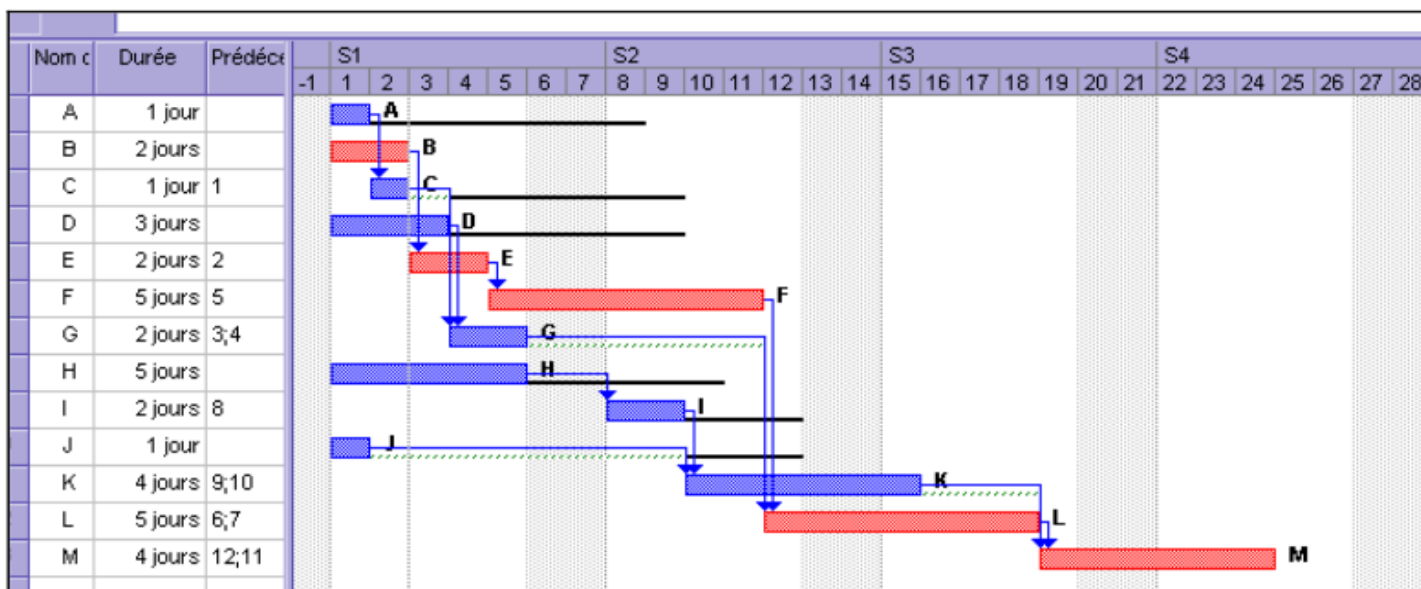
- i) Permet de déterminer la date de réalisation d'un projet.
- ii) Permet d'identifier les marges existantes sur certaines tâches (avec une date de début au plus tôt et une date au plus tard).
- iii) La date au plus tard de début d'une tâche, la date à ne pas dépasser sans retarder l'ensemble du projet.

Inconvénient : Elle ne représente pas parfaitement l'enchaînement des tâches. Elle est généralement utilisée en complément du réseau PERT ou MPM. On trace le plus souvent le GANTT au plus tôt ou « jalonnement au plus tôt » et éventuellement au plus tard «jalonnement au plus tard»

Exemple 6.4.

Tâches	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Précédents	-	-	A	-	B	E	C,D	-	H	-	I,J	F,G	K,L
Durées	1	2	1	3	2	5	2	5	2	1	4	5	4

Diagramme de Gantt : (avec Microsoft PROJECT) « GANTT au plus tôt »



6.0.4 Méthode MPM

Principe.

- Les tâches sont représentées par des sommets et les contraintes de succession par des arcs.
- Chaque tâche est renseignée par la date à laquelle elle peut commencer (date au plus tôt) et celle à laquelle, elle doit commencer en admettant un retard sans conséquence (date au plus tard).
- A chaque arc est associé une valeur numérique, qui représente soit une durée d'opération, soit un délai.

Date au plus tôt

La date de début au plus tôt d'une tâche est la date à laquelle elle doit être démarrée pour éviter tout risque lié au retard. Elle est obtenue en cumulant la durée des tâches qui précèdent sur

la séquence la plus longue. On initialise le sommet DEBUT avec une date au plus Tôt = 0.
La date au plus tôt d'une tâche X est déterminée par :

$$T_X = \max_{Y \in \text{Pred}(X)} (T_Y + d_Y) \quad (6.1)$$

où $\text{Pred}(X)$ est l'ensemble des prédécesseurs de X.

Date au plus tard

La date au plus tard est la date à laquelle la tâche doit être démarrée sans remettre en cause la durée optimale de fin du projet.

On initialise à l'étape terminale, le dernier sommet par la date au plus tard = date au plus tôt.
La date au plus tard d'une tâche X est déterminée par :

$$T_X^* = \min_{Y \in \text{Suiv}(X)} (T_Y^* - d_X) \quad (6.2)$$

où $\text{Suiv}(X)$ est l'ensemble des successeurs de X.

Marge totale $M_T(X)$:

C'est le retard admissible du début d'une tâche qui n'entraîne aucun recul de la date de fin du projet, mais qui consomme les marges libres des opérations suivantes. C'est la date de début au plus tard moins la date de début au plus tôt. On a :

$$M_T(X) = T_X^* - T_X.$$

Marge libre $M_L(X)$:

C'est le retard admissible sur une tâche qui n'entraîne pas de modification des calendriers des tâches suivantes.

C'est la date de début au plus tôt de la tâche suivante moins la durée de la tâche moins la date de début au plus tôt de la tâche. On a :

$$M_L(X) = \min_{Y \in \text{Suiv}(X)} (T_Y - d_X - T_X)$$

Exemple 6.5. Pour le projet suivant, faire le graphe MPM puis déterminer les dates au plus tôt et les dates au plus tard, les marges totales et libres.

Tâches	Tâches antérieures	Durées
A	-	2
B	-	4
C	A	4
D	A,B	5
E	C,D	6

6.0.5 Méthode PERT

Elle s'appuie aussi sur une représentation graphique dont les sommets sont des niveaux et symbolise la relation d'antériorité entre les tâches. Les tâches sont représentées par des arcs.

Une étape (ou noeud) marque le démarrage ou la fin d'une tâche. Elle n'a pas de durée et est symbolisée par un cercle ou un carré à trois parties.



où d_A est la durée de la tâche A

- La longueur des arcs n'est pas proportionnelle au temps d'exécution.
- Pour alléger la représentation, on ne note pas le nom complet de la tâche, mais une lettre ou code la représentant.

Quelques principes de représentation

Succession de tâches :

Exemple 1 :

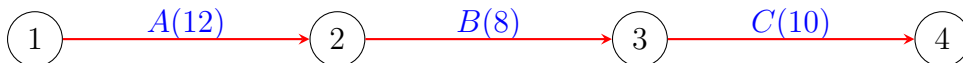
Deux tâches A et B sont telles que A précède B : On doit exécuter A avant B. La fin de A déclenche le démarrage de B. On dit qu'il y a une relation FD(fin début) entre les tâches A et B.



A est de durée 12 et B dure 8 unités de temps.

Exemple 2 :

Trois tâches A, B et C sont telles que A précède B, et B précède C. Cela signifie déjà que A doit être exécutée avant le démarrage de C. Il n'est plus nécessaire de préciser dans un dictionnaire de précédents que A est un précédent de C. La présence de A dans la liste de précédents de C sera un redondance qu'il faut éliminer avant de représenter le graphe PERT. L'élimination de la redondance consiste à supprimer les précédents de précédents dans la liste des prédécesseurs de chaque tâche.

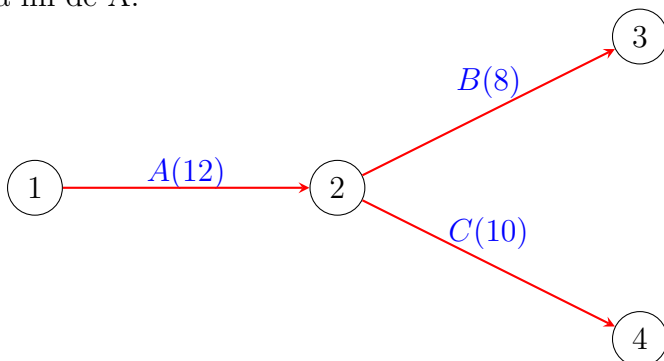


Tâches simultanées

Elles peuvent commencer en même temps en partant d'une même étape. On a les cas suivants :

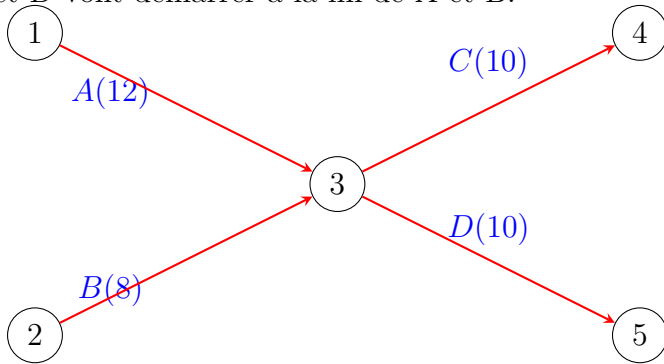
Exemple 1 :

Trois tâches A, B et C sont telles que A précède B et C. C'est-à-dire que B et C vont démarrer à la fin de A.

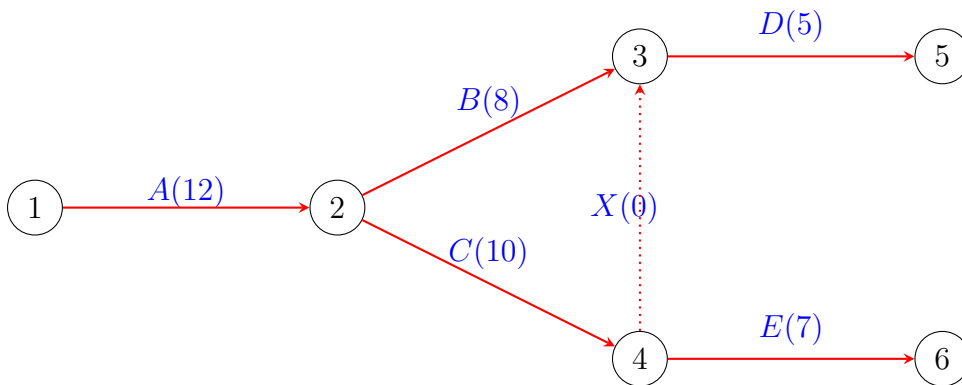


Exemple 2 :

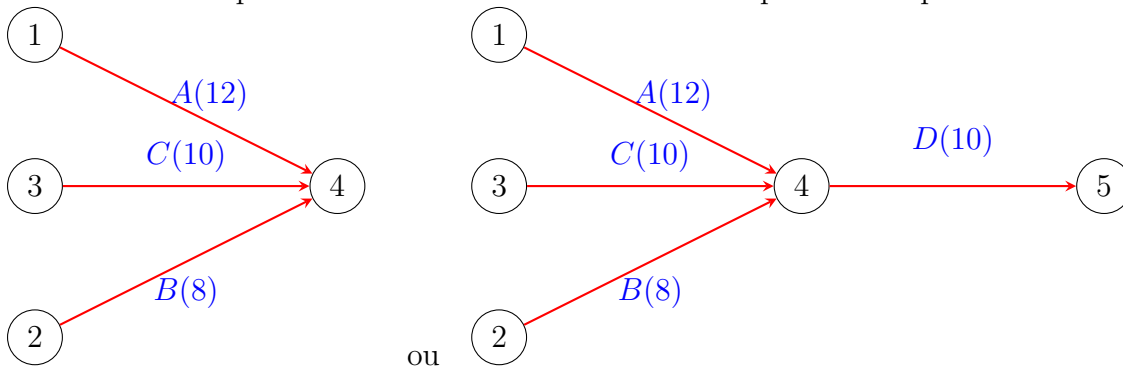
Quatre tâches A, B, C et D sont telles que A et B précèdent C et D à la fois. C'est-à-dire que C et D vont démarrer à la fin de A et B.

**Exemple 3 :**

Cinq tâches A, B, C, D et E sont telles que A précède B et C, les B et C précèdent D et C précède E. On crée dans ce cas une tâche fictive allant de la fin de C vers la fin de B et dont la durée est 0. Cela symbolise que D démarre à la fin de B et C. En suite on peut représenter E à partir de la fin de C.

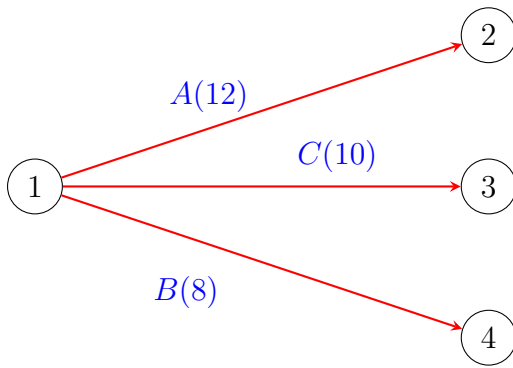
**Tâches convergentes.**

Plusieurs tâches peuvent se terminer sur une même étape. On dit qu'elles sont convergentes.

**Les tâches de début.**

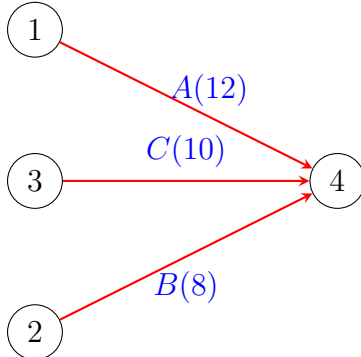
Les tâches de début, c'est-à-dire les tâches de niveau 0 doivent être démarrées à partir d'une même étape(étape initiale).

A, B et C sont des tâches de niveau 0 du projet.



Les tâches de fin.

Quand plusieurs tâches marquent la fin d'un projet, elles convergent vers une même étape finale.



6.0.6 Date au plutôt et date au plus-tard

La détermination des dates au plutôt et au plu-tard est identique celle de la méthode MPM. Seulement que ces dates sont déterminées pour les niveaux et non pour les tâches. Donc le début au plutôt et le début au plus-tard d'une tâche seront identifiés au niveau de son étape initiale.

Détermination des marges.

Étant donnée une tâche X définie par les étapes i et j (i est l'étape initiale et j est son étape finale). On désigne par T_i la date au plus tôt de i et T_i^* la date au plus tard de i. Alors

- La marge totale de X est $M_t(X) = T_j^* - T_i - d_X$
- La marge libre de X est $M_t(X) = T_j - T_i - d_X$

6.1 MPM-COST et PERT-COST

Il s'agit d'étudier dans cette section la possibilité de réduire la durée d'exécution de l'ensemble du projet. Cette réduction doit passer par la réduction de la durée de certaines tâches notamment celles du chemin critique.

La méthode «PERT-COST» (resp. «MPM-COST») est souvent empirique et est basée sur l'analyse du réseau PERT (resp. MPM) tracé au préalable. On cherche alors à diminuer la durée du projet en fonction de l'objectif avec un sur-coût minimum.

Les durées des tâches sont des paramètres sur lesquels l'entreprise peut agir. Dans de nombreux cas, à travers l'attribution de moyens supplémentaires, l'entreprise sera capable d'agir.

La gestion des coûts apparaît alors comme le corollaire de la gestion des temps et il devient concevable d'envisager la gestion du couple coût-durée. La méthode qui s'y attache est appelée « MPM-COST » ou « MPM-COÛT ».

On suppose que chaque du projet possède les informations suivantes :

- Un coût normal CN ou C_0 : coût le plus faible pour l'entreprise pour mener à bien la tâche avec le minimum de moyens.
- Un temps normal de réalisation t_n ou t_0 : temps correspondant au coût normal, c'est-à-dire à l'utilisation de moyens minimaux.
- Un temps accéléré t_a ou t^* : temps minimum concevable pour réaliser la tâche, en lui accordant les moyens suffisants.
- Un coût accéléré CA : coût correspondant au temps minimum de réalisation

Si l'on admet l'hypothèse de relation linéaire du coût par rapport au temps de réalisation, on peut définir un coût marginal d'accélération « CMA » de la tâche.

$$CMA = \frac{CN - CA}{t_a - t_0} \quad (6.3)$$

Le «CMA» indique le coût supplémentaire associé à la réduction de la durée d'exécution de la tâche (1000fcfa/jour).

Méthodologie

- Sélectionner les tâches réductibles du chemin critique.
- Classer les tâches par ordre croissant de coût (CMA).
- Agir (réduire) sur les tâches les moins coûteuses.
- Contrôler, modifier le réseau MPM en conséquence. Faire attention aux chemins presque critiques qui peuvent devenir critiques !
- Calculer la durée et le sur-coût associé. Attention de ne pas compter pour la durée les tâches réduites en parallèle et de les compter pour le sur-coût.
- Comparer plusieurs solutions, si besoin, en calculant le CMA du nouveau projet.

Exemple

Le projet de construction d'un chemin de fer comporte plusieurs tâches liées entre elles par des relations de succession, les durées, les réductions possibles de durées et les coûts marginaux d'accélération sont présentés dans le tableau suivant :

Tâches	Tâches antérieures	Durées (j)	Réduction maximale possible (j)	Coût Marginal d'accélération (CMA) (€/j)
A	-	1	-	-
B	A	3	-	-
C	B	10	3	3 000
D	B	5	1	2 000
E	D, F	3	2	1 600
F	C	3	-	-
G	F	1	-	-
H	F	2	1	3 000
I	E, G, H	15	5	4 000
J	I	4	1	2 500
K	J	5	2	1 500

1. Représenter ce projet par un graphe MPM.
2. Déterminer les dates de début au plus tôt et les dates de début au plus tard de chaque tâche.
3. Préciser la durée minimale d'exécution du projet.
4. Dresser un tableau récapitulatif des marges totales et les marges libres.
5. En déduire le(s) chemin(s) critique(s).
6. Donner les conséquences d'un retard de 3 jours sur le démarrage des tâches A et D.
7. L'entreprise souhaite étudier la possibilité de réduire la durée du projet de 3 jours. Proposer une solution au moindre coût. On précisera les nouveaux chemins critiques.
8. L'entreprise souhaite étudier la possibilité de réduire la durée du projet de 6 jours. Proposer une solution au moindre coût. On précisera les nouveaux chemins critiques.

6.2 PERT Probabiliste

Dans cette partie la durée d'exécution d'une tâche est donnée à une incertitude près. C'est-à-dire que la durée D_i de chaque tâche i est incertaine. Elle est une variable aléatoire, ce qui signifie que D_i peut prendre plusieurs valeurs, selon une distribution de probabilité. A partir de ces valeurs on pourra calculer la durée moyenne, la variance et l'écart type.

On dispose de trois informations sur la détermination de la durée d'une tâche :

- une estimation A_X optimiste de la durée minimale d'exécution de la tâche X si toutes les circonstances de déroulement s'avéraient particulièrement favorables en se posant la question quelle est la durée minimale de X ?
- une estimation B_X pessimiste de durée maximale d'exécution de l'activité si tout ce qui peut aller bien tournait mal, et prenait un maximum de temps (à l'exception des catastrophes, accidents, grèves, etc.) en se posant la question quelle est la durée maximale de X ?
- une estimation M_X modale, correspondant à la durée vraisemblable d'exécution de l'activité, soit le temps normal que l'estimateur juge sur la base de son expérience, devoir se produire dans des circonstances normales en se posant la question quelle est la durée la plus probable de X ?

Ces trois estimations vérifient la relation suivante :

$$A_X \leq M_X \leq B_X \quad (6.4)$$

La valeur E_X probable ou moyenne de la durée de la tâche x est l'espérance mathématique de la durée de la tâche X. Elle est définie par :

$$E_X = \frac{A_X + 4M_X + B_X}{6} \quad (6.5)$$

La variance de la durée moyenne d'une tâche x est définie par

$$\sigma_X^2 = \left(\frac{B_X - A_X}{6} \right)^2 \quad (6.6)$$

Cette variance permet de mesurer l'incertitude de la durée réelle de cette activité.

On détermine le(s) chemin(s) critique(s) du graphe correspondant du projet, en se plaçant dans un univers certain et en utilisant les durées moyennes des activités.

On considère ensuite que la durée du projet est aléatoire et égale à la somme des durées des activités du chemin critique identifié.

On peut appliquer le théorème central limite (lorsque le nombre de tâches est supérieur à 30) pour approcher la loi de la durée totale du projet par une loi normale.

L'espérance mathématique (resp. la variance) de cette loi est la somme des espérances (resp. des variances) des durées des tâches du chemin critique identifié, étant donné que ce sont des variables aléatoires indépendantes.

La distribution de la durée totale du projet est approximativement normale avec un temps d'achèvement moyen T_M avec une variance σ^2 et on a donc :

$$E(T_M) = \sum_{X \in \mathcal{C}} E_X \text{ et } \sigma^2 = \sum_{X \in \mathcal{C}} \sigma_X^2 \quad (6.7)$$

et où \mathcal{C} est l'ensemble des tâches critiques.

Dès lors que l'on connaît la moyenne et l'écart-type de la distribution du temps de réalisation des activités et même du projet, la probabilité des différentes dates peut être calculée à l'aide d'une table de distribution normale.

La loi de la durée totale du projet permet de calculer des intervalles de confiance (aléatoire) ou la probabilité pour qu'un projet dépasse le temps imparti, il suffit de calculer la valeur normale centrée réduite (lorsque le nombre de tâches dépasse 30).

Exercice 6.6. On considère le projet défini par le tableau suivant.

Tâches	Durées (j)	Prédécesseurs immédiats
A	1	-
B	3	A
C	10	B
D	5	B
E	3	D,F
F	3	C
G	1	F
H	2	F
I	20	E, G, H
J	4	I
K	5	J

TABLE 6.1 –

1. Tracer le graphe PERT.
2. Déterminer la durée minimale de réalisation du projet et le chemin critique.
3. Pour chaque événement, calculer la date au plus tôt et la date au plus tard.
4. Établir la marge totale pour chaque opération.
5. En réalité les durées d'exécution des tâches précédemment données sont des valeurs vraisemblables. Le tableau suivant présente les durées optimistes et pessimistes.

Tâches	Durée optimiste	Durée vraisemblable	Durée pessimiste
A	1	1	3
B	2	3	4
C	8	10	13
D	4	5	6
E	3	3	5
F	2	3	4
G	1	1	2
H	1	2	4
I	16	20	22
J	3	4	6
K	3	5	6

TABLE 6.2 – Table des durées.

- (a) Déterminer la durée minimale de réalisation du projet et le chemin critique.
- (b) Pour chaque événement, calculer la date au plus tôt et la date au plus tard.
- (c) Établir la marge totale pour chaque opération.
- (d) Soit D_m la durée minimale d'exécution du projet.
 - i. Déterminer la probabilité pour que le projet se termine avant la date $D_m - 2$
 - ii. Déterminer la probabilité pour que le projet se termine avant la date $D_m + 2$

Exercice 6.7. Une société pétrolière décide de construire un nouveau pipe-line. L'analyse des tâches élémentaires et de leurs interdépendances permet d'établir le tableau suivant :

Tâches	Désignation	Durée en jours	Tâches antérieurs
A	Dossier d'exécution	10	
B	Installation du chantier	20	A
C	Fabrication des canalisations	40	A
D	Fabrication des valves	28	A
E	Implantation du pipe-line	8	B
F	Tranchée et fouilles	30	B,E
G	Mise en place des canalisations	24	A.C.F
H	Ancrage béton	12	F.G
I	Terrassements spéciaux	10	c
J	Chambre à valves	20	C.F
K	Mise en place des valves	10	D.I. J
L	Essai du pipe-line	6	H.K
M	Remblais	10	H.K
N	Aménagement	4	L.M
O	Fin des chambres	6	H.K
P	Repli du chantier	4	N,O

1. Tracer le graphe PERT.
2. Déterminer la durée minimale de réalisation du projet et le chemin critique.
3. Pour chaque événement, calculer la date au plus tôt et la date au plus tard.
4. Établir la marge totale pour chaque opération.

Exercice 6.8. Nous reprenons l'exemple précédent.

1. Tracer le graphe MPM.
2. Déterminer la durée minimale de réalisation du projet et le chemin critique.
3. Pour chaque événement, calculer la date au plus tôt et la date au plus tard.
4. Établir la marge totale pour chaque opération.

Exercice 6.9. Une société met en oeuvre un projet industriel nécessitant la réalisation de 11 tâches pour lesquels nous disposons des informations suivantes :

En vous appuyant sur la construction d'un MPM, déterminez le programme permettant de réduire à son minimum la durée du projet puis le programme optimal en sachant que chaque réduction de la durée totale du projet d'une journée permet d'économiser 3200 euros.

Exercice 6.10. Une entreprise de distribution de vins et spiritueux envisage l'établissement du planning et de l'ordonnancement de la campagne promotionnelle du lancement d'un nouveau produit.

Vous avez recueilli les informations suivantes :

- La conception de la campagne publicitaire devrait prendre 1 mois. Cette campagne s'oriente simultanément vers trois directions : L'affichage, l'annonce presse, les actions auprès des distributeurs.
- La création serait confiée à une agence. Celle-ci demande 1 mois pour créer l'affiche, 8 jours pour créer l'annonce-presse.
- La réalisation de l'affiche par un imprimeur devrait prendre 2 mois.
- Les délais pour louer des emplacements pour l'affichage sont habituellement de 3 mois.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
A		x									
B			x	x							
C						x					
D					x						
E				x							
F					x		x	x			
G									x		
H									x		
I										x	
J											x
K											

TABLE 6.3 – Matrice d'antériorité immédiate

Tâches	Durées (j)	Réduction possible (j)	Coût supplémentaire en euros
A	1		
B	3		
C	10	3	9000
D	5	1	2000
E	3	2	3200
F	3		
G	1		
H	2	1	3000
I	20	5	25000
J	4	1	2500
K	5	2	3000

TABLE 6.4 –

- La campagne d'affichage est prévue durant 3 semaines et les annonces-presse paraîtront chaque semaine durant 3 semaines, 8 jours après le début de la campagne.
- En ce qui concerne l'action vers les distributeurs, la réalisation de l'argumentaire devrait prendre 8 jours. La formation des représentants peut être réalisée en 15 jours. La présentation de l'argumentaire à l'ensemble des distributeurs commencera 60 jours après le lancement de la campagne publicitaire de manière à précéder l'affichage et les parutions des annonces dans la presse ; elle devrait prendre 25 jours.

Au jour <J> du lancement du produit, une campagne de promotion des ventes aura lieu sur les points de vente. Il est envisagé que ce jour soit 5 mois après le début de la conception de la campagne promotionnelle.

1. Cette échéance vous semble-t-elle réaliste ?

Exercice 6.11. Un projet de recensement de la population contient 5 phases notées A, B, C, D, E, F, G, H, I, J. Chaque phase contient plusieurs activités telles que le tableau ci-dessous l'indique.

<i>Activités</i>	<i>Tâches antérieures</i>	<i>Durée optimiste</i>	<i>Durée vraisemblable</i>	<i>Durée pessimiste</i>
<i>A</i>	-	5	6	7
<i>B</i>	-	1	3	5
<i>C</i>	-	1	4	7
<i>D</i>	<i>A</i>	1	2	3
<i>E</i>	<i>B</i>	1	2	9
<i>F</i>	<i>C</i>	1	5	9
<i>G</i>	<i>C</i>	2	2	8
<i>H</i>	<i>E, F</i>	4	4	10
<i>I</i>	<i>D</i>	2	5	8
<i>J</i>	<i>G, H</i>	2	2	8

La durée d'exécution de chaque tâche X estimée en semaine est une variable aléatoire suivant une loi normale d'espérance mathématique m_X et d'écart-type σ_X

1. Organiser le projet par niveau.
2. Déterminer la durée moyenne de chaque tâche.
3. Représenter le graphe MPM du projet.
4. Donner la durée minimale moyenne d'exécution du projet.
5. Déterminer les marges totales et libres.
6. Déterminer le ou les chemin(s) critiques.
7. Déterminer la probabilité que le projet s'achève avant 22 semaines.

Quelques outils d'analyse et de conception des projets et programmes : la Planification des Interventions Par Objectifs (PIPO), Approche du cadre logique (ACL)-Méthode PERT

7.0.1 Idées de base et les facteurs de réussite de la PIPO

La planification par objectif (PPO) aussi appelée planification intégrée de projets par objectif (PIPO) ou Ziel Orientiert Projekt Planung (ZOPP) en allemand, Objective Oriented Project Planning (OOPP) en Anglais, est un outil participatif de planification de projets / programmes qui s'appuie sur l'Approche Cadre Logique à laquelle il est intégré des techniques de communication et une planification participative. Elle a pris corps en 1980 sur l'initiative de la Coopération allemande au développement la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) autrefois appelée GTZ. En effet, la GTZ, consciente des faiblesses fondamentales du cadre logique, lui ajoute la phase d'analyse et y introduit la technique visuelle (panneaux muraux et cartons de couleurs, colle etc.) appelée Meta plan». Les résultats obtenus avec cette méthode font qu'une grande partie de la coopération internationale l'utilise pour la planification des projets. L'approche PPO est constituée par la connaissance, l'expérience et les idées du groupe et a pour objectif d'améliorer la qualité de la planification. Les principaux objectifs de l'approche sont :

- a) assurer une bonne participation de toutes les parties prenantes ;
- b) définir des objectifs réalistes et univoques ;
- c) stimuler la communication et la coopération entre les responsables d'un projet et les bailleurs de fonds du projet ;
- d) clarifier les responsabilités des exécutants du projet et d'autres personnes intéressées ;
- e) fournir des indicateurs pour le suivi (monitoring) ainsi que pour l'évaluation du projet.

Elle comprend deux (02) grandes phases :

7.0.2 La phase préparatoire et d'analyse qui comprend les étapes :

1. Analyse de la participation
2. Analyse des problèmes
3. Analyse des objectifs
4. Analyse des alternatives

7.0.3 La phase de planification du projet :

1. Objectifs et activités
2. Hypothèses importantes
3. Indicateurs qui sont objectivement vérifiables
4. Méthode de vérification.

Avant la mise en œuvre de l'approche PPO, il y a un préalable important : En effet, l'application de l'approche PPO présuppose que le problème à aborder ou la situation à améliorer soit déjà identifiée globalement (UN CHOIX). Sur la base de ce choix, le groupe de planification sera constitué et composé de représentants des organismes qui, potentiellement, participeront à l'exécution du projet. Ce groupe limité certes de (cinq (5) à dix (10) personnes) se réunit pour discuter sur les points clés indiqués ci-dessus et développés comme suit.

7.0.4 Les différentes étapes

ETAPE UN : Analyse de la participation

Ici les tâches à mener sont les suivantes :

1. Les objectifs de l'étape sont : inventorier les attentes et les intérêts des différentes personnes et groupes ; Assurer la participation de ces individus/groupes de personnes dans la mesure où c'est important pour le projet.
2. Les activités de l'étape sont : inventorier et classer le (s) groupe(s) cible(s) prévus du projet ainsi que d'autres organismes qui puissent être affectés par le projet.

La démarche est ainsi donc :

1. Inventorier – sans systématiser – tous les groupes qui seront affectés directement ou indirectement par le projet prévu ;
2. Déterminer si ces groupes sont homogènes ou s'il y a des sous-unités importantes qui devront être identifiées séparément ;
3. L'équipe de planification établit les critères pour l'analyse de ces groupes ;
4. Classifier et établir les priorités, les intérêts, les problèmes de ces groupes.

ETAPE DEUX : Analyse des problèmes

Elle est une technique qui facilitera :

1. Une analyse de la situation dans laquelle figure un certain problème ;
2. L'identification des problèmes principaux dans ce contexte ;
3. Une définition du problème majeur dans ce contexte et la visualisation des relations
4. "causes-effets" sous forme d'une hiérarchie des problèmes.
 - (a) Les objectifs de l'étape sont : déterminer le problème clé / central et relier ce dernier à ses causes et conséquences (effets)
 - (b) Les activités sont : Examiner les problèmes reconnus afin d'en identifier le problème central.
 - (c) La démarche :
 - i. En terme d'une description négative, chaque membre du groupe (de l'atelier) de planification décrit individuellement son problème (et pas des problèmes) central

-
- ii. Après discussion avec les autres, les membres de l'équipe expliqueront leur choix individuel pour arriver à un problème commun. Le problème (et pas les problèmes) est central.

Pour faciliter l'analyse des causes et des effets du problème central, l'approche conseillée est de construire une « hiérarchie des problèmes » : the problem tree. C'est une hiérarchie dans laquelle les relations directes et substantielles entre le problème et ses causes et effets sont clairement identifiées et élaborées.

Les étapes pour la construction d'une telle hiérarchie sont :

1. Déterminer le problème central ;
2. Fixer les causes ;
3. Déterminer les effets de ce problème ;
4. Construire un schéma liant les causes et les effets au problème central sous la forme d'une hiérarchie et,
5. Analyser ce schéma dans sa totalité et vérifier sa validité et son exhaustivité (test de cohérence).

ETAPE TROIS : Analyse des objectifs.

1. L'objectif de l'étape : obtenir des objectifs clairs, univoques et inter liés et identifier des alternatives potentielles
2. Les activités au cours de l'étape : Transformer les problèmes en objectifs et analyses lesdits objectifs
3. La démarche :
 - (a) Tous les problèmes décrits dans la hiérarchie des problèmes seront transformés dans une hiérarchie d'objectifs. La terminologie négative sera remplacée par une terminologie positive par une description d'une situation positive à réaliser dans l'avenir. Le problème central sera normalement, incorporé dans la hiérarchie des objectifs et ne sera plus accentué.
 - (b) Points à vérifier :
 - i. Difficultés relatives à cette transformation peuvent indiquer que l'analyse des problèmes est suffisante ;
 - ii. Si la première étape a pour résultat des objectifs sans aucun sens, ces objectifs devront être remplacés ;
 - iii. Vérifier que les objectifs formulés seront suffisants pour atteindre l'objectif au-dessus dans la hiérarchie des objectifs ;
 - iv. Assurer que les relations causes-effets seront transformées dans des relations moyen-objectif.

ETAPE QUATRE : Analyse des alternatives ou des stratégies

- ✓ L'objectif de l'étape : Choisir la stratégie la plus appropriée pour réaliser l'objectif ;
- ✓ Les activités au cours de l'étape : Balancer le pour et le contre des différentes alternatives qui apparaissent dans la hiérarchie des objectifs
- ✓ La démarche : dans la hiérarchie des objectifs, différentes alternatives apparaissent c'est-à-dire différentes relations entre moyens et objectif pour réaliser un certain objectif.

Dans ce cas, il sera utile de présenter ces alternatives dans la hiérarchie des objectifs. Il est possible qu'à cette phase, il soit déjà indiqué que certains ne sont pas réalisables et souhaitables. Ceux-ci peuvent être éliminés. Ensuite les différentes possibilités seront étudiées. Dans ce cas, il sera nécessaire de déterminer en avance quels critères utilisés pour juger/peser ces alternatives. Des critères qu'on peut utiliser sont entre autres :

- ✓ Les priorités de développement ;
- ✓ Les conditions spécifiques du pays, de la zone, de la région, de la Commune, etc. ;
- ✓ Les caractéristiques de l'assistance technique et financière disponible ;
- ✓ Les ressources nationales, régionales, communales ou de la zone (ressources humaines, matérielles et financières, ...) disponibles ;
- ✓ Une analyse des coûts et bénéfices ;
- ✓ La complémentarité ou la compétition d'activités d'autres bailleurs de fonds ;
- ✓ La pertinence ;
- ✓ Le temps disponible.

Le résultat de cette analyse, qui constitue la fin de la phase préparatoire est que maintenant on a une stratégie ou plusieurs stratégies de projet sous forme d'une relation entre objectifs et moyens.

ETAPE CINQ : La planification d'un projet

Pour la planification d'un projet, il est conseillé dans le cadre de l'approche PPO d'utiliser ce que l'on appelle le "Project Planning Matrix" ou la Matrice de planification par objectif. Cette matrice MPPO permet de voir rapidement :

- ✓ La raison d'être du projet ;
- ✓ Les objectifs à atteindre ;
- ✓ La manière par laquelle ces objectifs seront atteints ;
- ✓ Quels facteurs externes et importants sont à considérer pour le succès du projet ou les risques pour son échec (présuppositions ou hypothèses majeures) ;
- ✓ Comment déterminer ce succès ;
- ✓ Où trouver les informations pour mesurer les succès et combien ça coûte.

La matrice de planification par objectif se présente de façon générale comme suit :