



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



D1.3. Enquête sur la maintenance et l'industrie 4.0 en Tunisie

1. Introduction

Dans ce rapport, nous allons exposer le résultat de l'enquête qui a été menée auprès de 68 entreprises Tunisiennes. Puis, nous étudions les variables prédominantes dans l'application de la maintenance et de l'industrie 4.0 réalisé par le logiciel MICMAC (Matrice d'Impacts croisés-Multiplication Appliquée à un Classement). Enfin, nous allons définir des conclusions et des recommandations à travers les relations directes et indirectes des variables clés.

2. Méthodologie

2.1. Cadre de l'approche

La méthode retenue pour déterminer les variables clés qui influent directement sur le besoin en matière de maintenance passe par la collection des données à travers des questionnaires élaborés dans le cadre du projet Européen Erasmus + SM-TMC.

La deuxième étape sert à faire une analyse statistique descriptive à fin d'obtenir une vision globale sur notre échantillon.

La troisième étape consacrée à analyser spécifiquement les résultats des concepts des cas de notre échantillon. Nous obtenons donc des rapports dégagés par le MICMAC.

Finalement, cet outil nous ramène aux recommandations stratégiques des acteurs.

Le diagramme de l'approche proposée est présenté par la figure ci-dessous. :

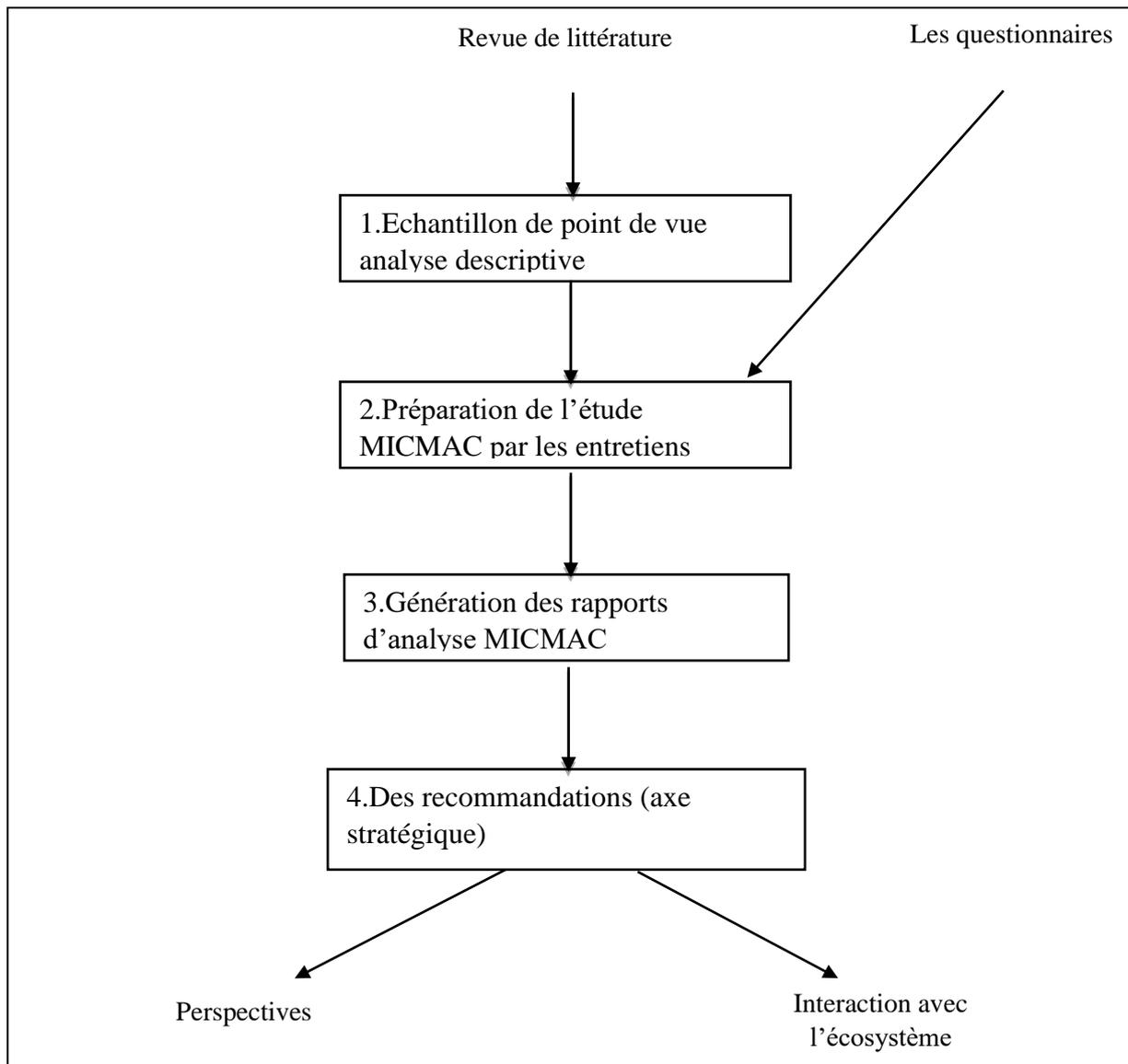


Figure 1: Diagramme de l'approche proposée

2.2. L'analyse descriptive

L'analytique descriptive est une étape préliminaire du traitement des données qui consiste à synthétiser des données historiques pour en tirer des informations utiles voire les préparer en vue

d'une analyse complémentaire. Elle permet d'organiser les données de façon à mettre en évidence des schémas et relations qui ne seraient pas visibles autrement d'une façon générale. (TechTarget, Analytique descriptive, 2016)

2.3.1. Répartition des entreprises selon les villes

D'après le diagramme suivant, on remarque que la répartition des entreprises couvre dix villes sur toute la Tunisie ; Sfax comprend le nombre d'entreprises le plus élevé, 42 entreprises, avec un pourcentage de 62% avec 42 villes. C'est à dire plus que la moitié. Les 9 autres villes représentent, toutes regroupées un pourcentage de 37% avec 26 entreprises.

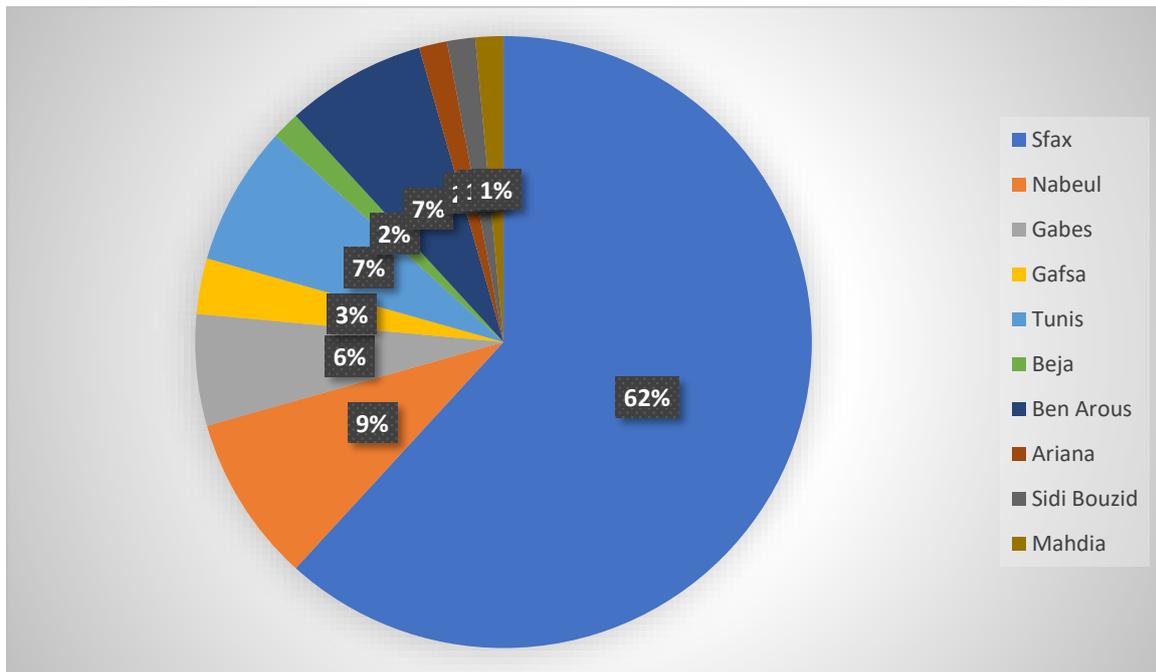


Figure 2: Répartition des entreprises selon les villes

2.3.2. Répartition des entreprises selon les secteurs d'activité

Le graphique suivant représente les différents secteurs de l'industrie et la répartition des entreprises, on trouve alors 13 entreprises dans l'industrie mécaniques et métallurgiques, 8 entreprises dans l'industrie électriques, électroniques et de l'électroménager, 7 entreprises dans l'industrie chimiques.

On peut conclure qu'on a plusieurs entreprises réparties selon leurs domaines d'activité

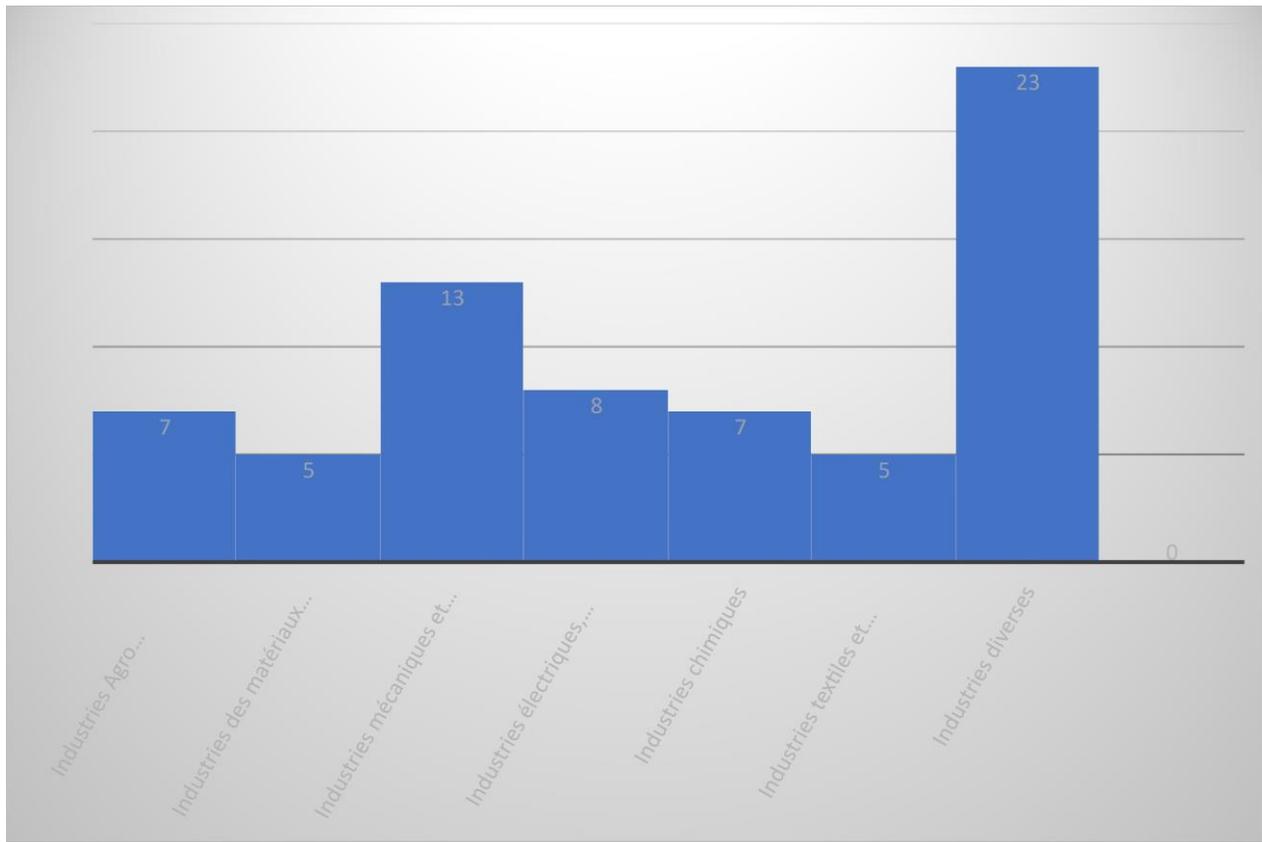


Figure 3: Répartition des entreprises selon les secteurs d'activité

2.3.3. Nombre d'employés des entreprises

D'après ce diagramme, on constate que le nombre des employés varie d'un secteur à un autre.

20% des entreprises comprennent un nombre d'employés inférieur à 10.

Les entreprises contenant des employés entre 10 et 50 sont à 29%.

29% des entreprises font travailler entre 50 et 100 employés.

11% des entreprises représentent un nombre d'employés supérieur à 500.

Plus de 500 employés travaillent dans les 10% des entreprises c'est-à-dire un nombre très réduit des entreprises avec un nombre de personnel considérable.

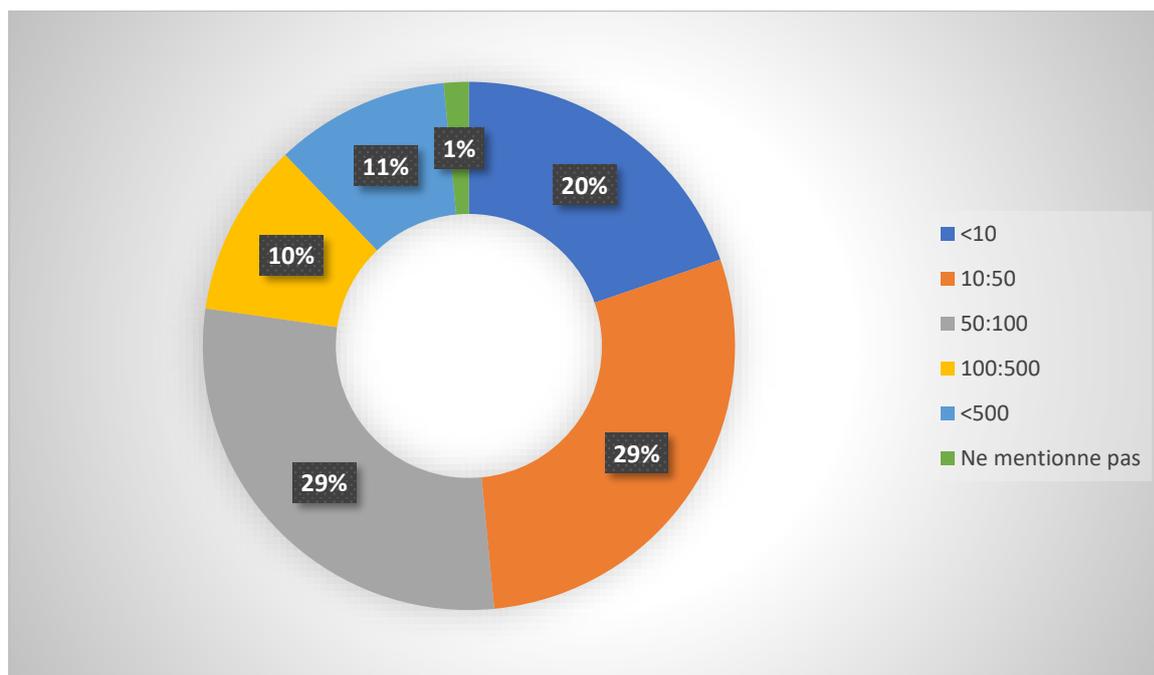


Figure 4: Nombre d'employés des entreprises

2.3.4. L'existence du département R&D

Comme il est montré dans le tableau suivant et sur 66 entreprises, on trouve 17 entreprises mettent en place le département de la recherche et du développement par contre on trouve 47 entreprises, plus que le double, négligeant ce département et seulement 2 entreprises ne mentionnent pas la présence de ce département.

Tableau 1: L'existence du département R&D

Nombres d'entreprises	+ R&D	- R&D	Ne mentionne pas
66	17	47	2

Or, on voit que 71% des entreprises négligent complètement le département R&D pour seulement 26% qui mettent en place ce département. Donc l'application de l'industrie 4.0 est très faible vu qu'elle est possible seulement dans les entreprises offrant des département RD, ce qui est seulement 26% du total.

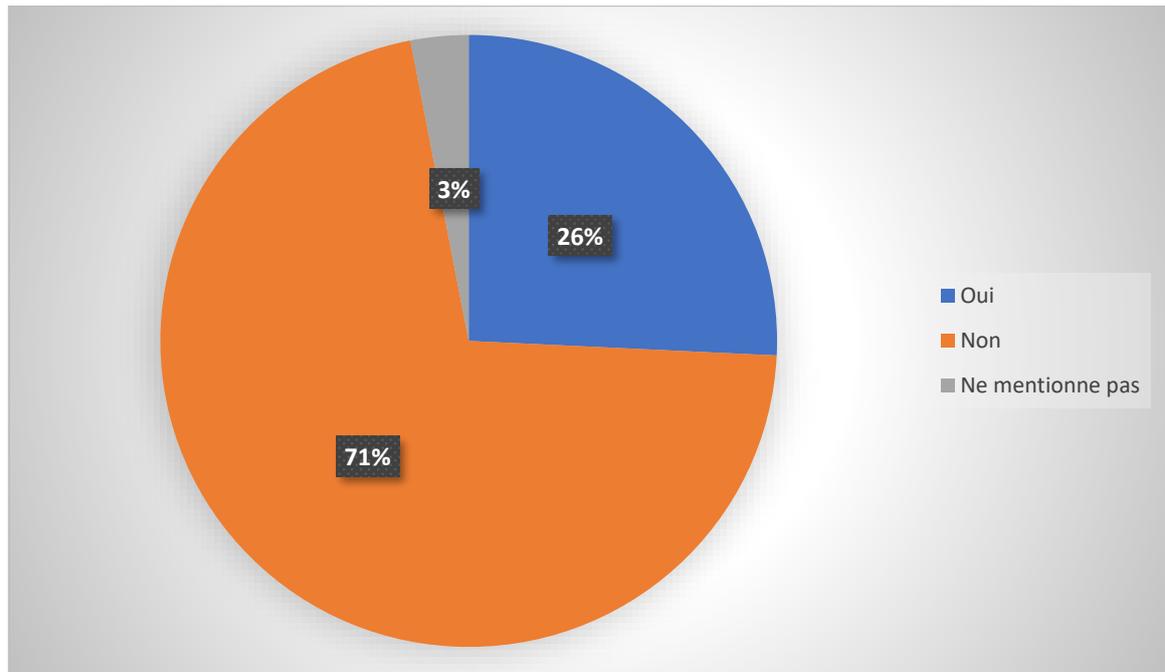


Figure 5: L'existence du département R&D par %

2.3.5. L'utilisation de l'impression 3D dans les entreprises

D'après le graphique suivant, on constate que 68% des entreprises n'utilisent pas l'impression 3D dans ses activités par contre 32% l'utilisent.

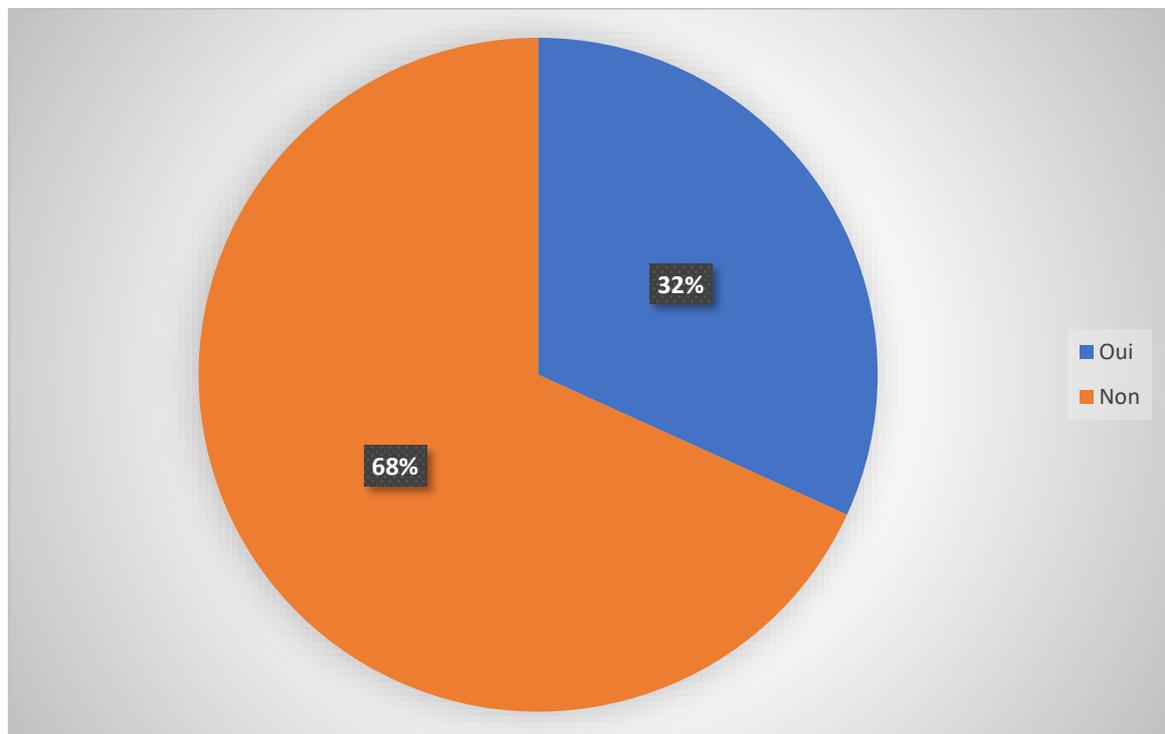


Figure 6: L'utilisation de l'impression 3D dans les entreprises

2.3.6. L'utilisation de l'impression 3D dans les entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

Parmi les entreprises qui appliquent l'impression 3D, 53% des entreprises ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0.

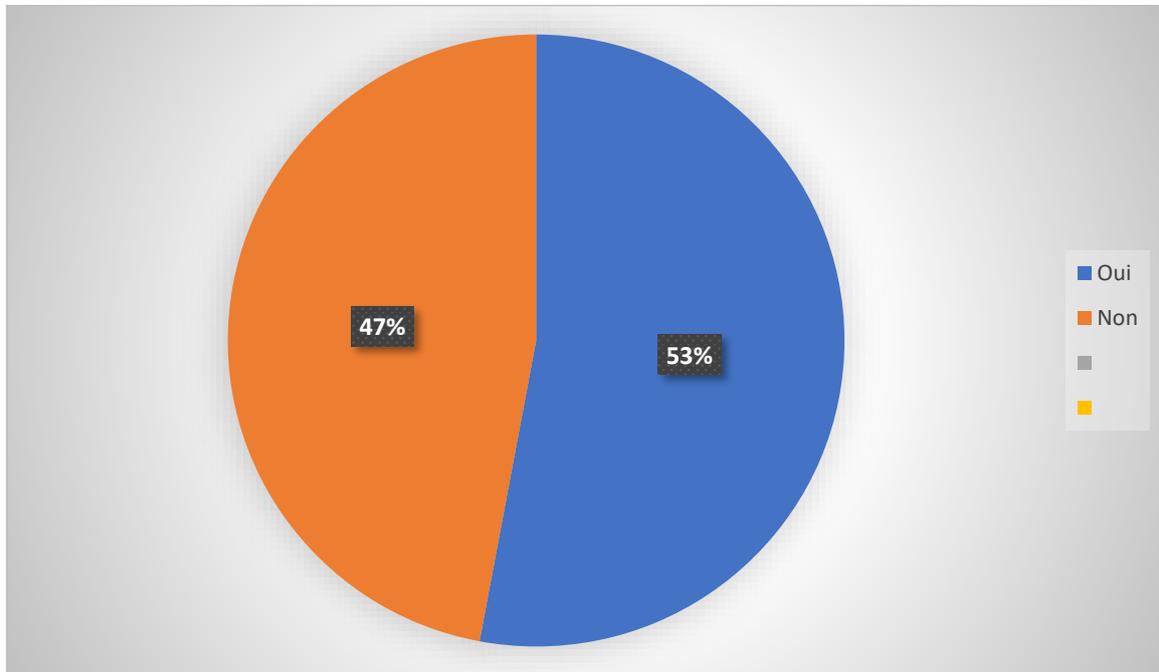


Figure 7: L'utilisation de l'impression 3D dans les entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

2.3.7. La maintenance 4.0 sert pour digitaliser le service maintenance

D'après ce graphique on trouve que 66% des entreprises pensent que la maintenance 4.0 peut servir pour digitaliser le service de maintenance.

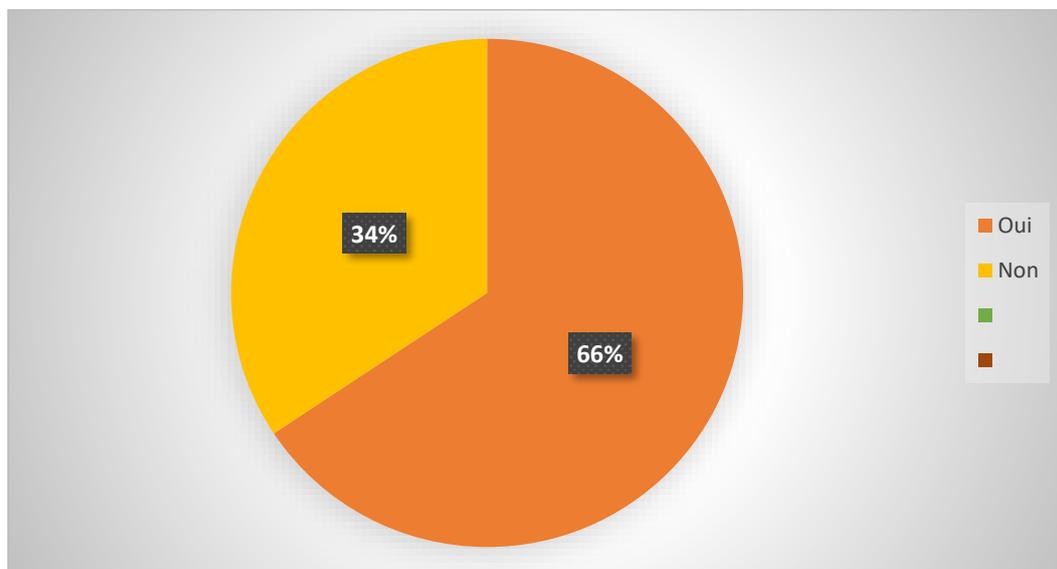


Figure 8 : La maintenance 4.0 sert pour digitaliser le service maintenance

2.3.8. Les niveaux TECHPALogiques dans les entreprises

On remarque que 58% des entreprises représente un niveau TECHPALogique moyen, 24% des entreprises un haut niveau TECHPALogique et 17% représentent un niveau TECHPALogique faible. Donc on peut déduire que la majorité des entreprises ont un niveau moyen ce qui est déjà bon signe.

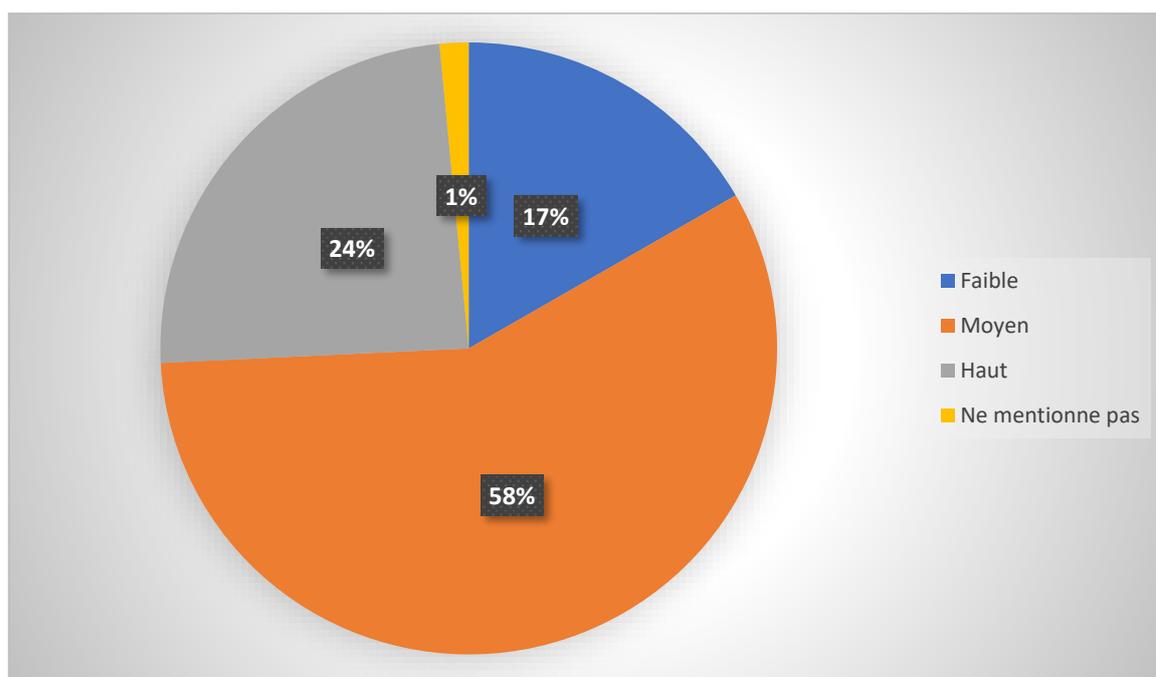


Figure 9: Les niveaux TECHPALogiques dans les entreprises

2.3.9. La certification des entreprises

Sur 66 entreprises, 33 sont certifiées dans les domaines suivants : le système de management de la qualité, business social compliance initiative, qualité dans l'industrie automobile, la sécurité, l'environnement, la sécurité des denrées alimentaires et 31 sont non certifiées.

Tableau 2: La certification des entreprises

Certification	Certifié	Non certifié	Ne mentionne pas
	33	31	2

2.3.10. Les entreprises a un besoin du soutien d'un Centre de formations spécialisé en maintenance pour assurer la formation de l'équipe maintenance

D'après les recherches faites, on a constaté que 16 entreprises ont mentionné qu'ils ont besoin des centres de formation spécialisés dans la maintenance au sein de leur société pour la bonne formation de l'équipe. Par contre 30 entreprises ne présentent aucun intérêt pour ce genre de formations et 2 entreprises seulement n'ont pas mentionné ni besoin ni non besoin.

Tableau 3: Besoin du centre de formation

Besoin du centre de formation	Occasionnellement	Non	Oui
	16	30	22

2.3.11. Un programme de formation périodique du personnel chargé par la maintenance

Pour les programmes de formation, on a remarqué que 22 entreprises offrent à leur équipe maintenance des programmes de formations périodiques pour assurer le bon apprentissage et d'une manière continue. Or 44 entreprises, le double, ne mettent en place aucun programme pour la formation de leur équipe.

Tableau 4: Un programme de formation périodique

Formation périodique	Non	Oui
	44	22

2.3.12. Équipe de maintenance

On constate que 36 entreprises ont leur propre équipe de maintenance au sein de la société et 30 entreprises n'ont pas cet avantage.

Tableau 5: Équipe de maintenance

Équipe de maintenance	Non	Oui
	36	30

2.3.13. Les types d'équipements dans les entreprises

D'après le diagramme suivant, on constate que les entreprises utilisent plusieurs types d'équipements : 27% des équipements mécaniques, 25% des équipements électriques, 23%

d'équipements électroniques. Il y a aussi d'autres équipements comme l'hydraulique avec un pourcentage de 18% et le pneumatique avec 4%.

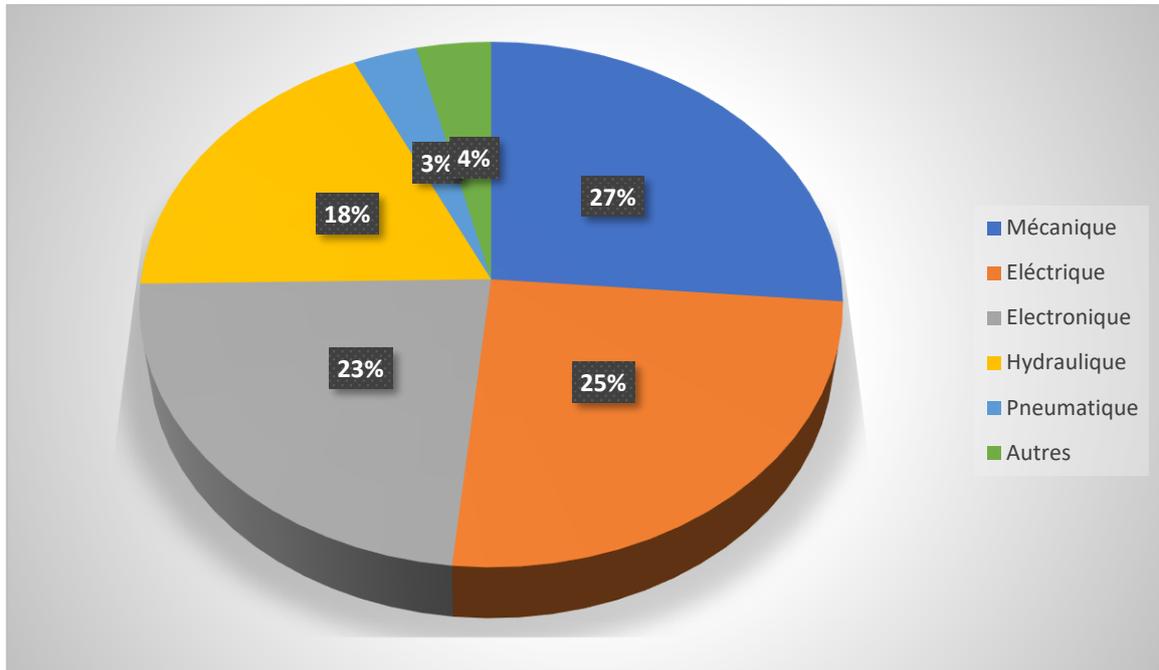


Figure 10: Les types d'équipements dans les entreprises

Parmi tous ces équipements, il y a ceux qui sont manuels 25 éléments, 37 automatisés et 39 semi automatisés. Donc, on a une diversité d'équipements variant d'une société à une autre et d'un secteur à un autre.

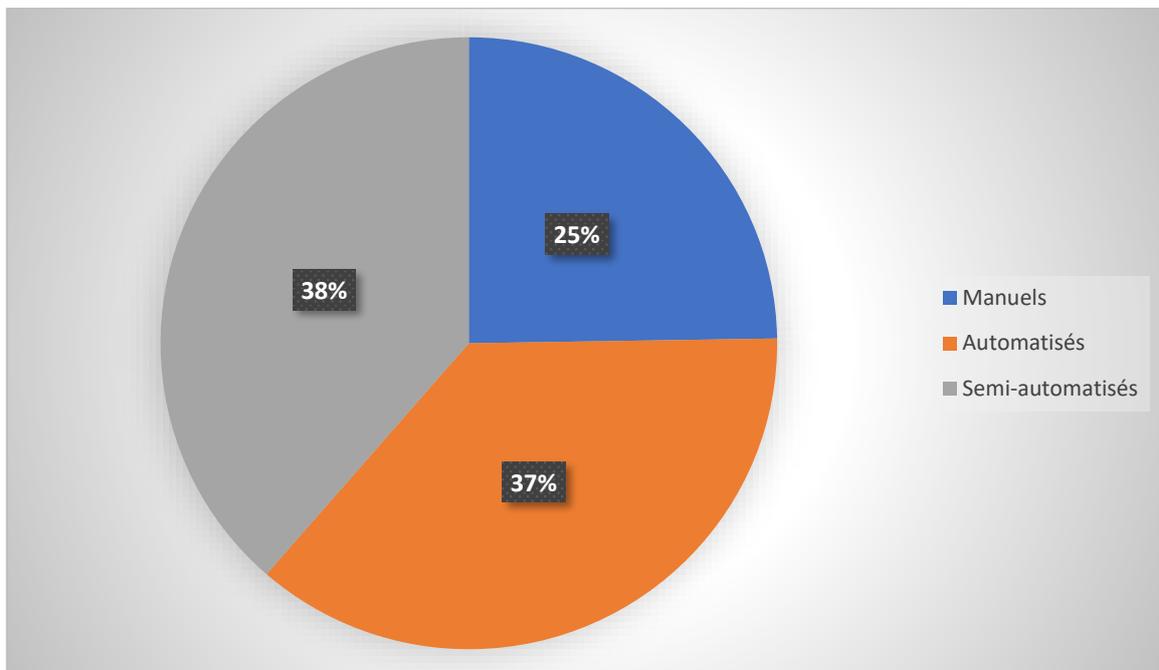


Figure 11: Les équipements

2.3.14. La stratégie pour la transformation vers l'industrie 4.0

Le diagramme suivant présente le pourcentage des entreprises mettant en place une stratégie pour la migration vers l'industrie 4.0, en effet 17 entreprises ont déjà mis en place cette stratégie avec un pourcentage de 26%. Par contre 16 entreprises travaillent toujours sans aucune stratégie ni intention de migration vers l'industrie 4.0 avec un pourcentage de 24% et les 33 entreprises restantes n'ont pas encore l'intention de mettre en place cette stratégie avec un pourcentage considérable de 50%.

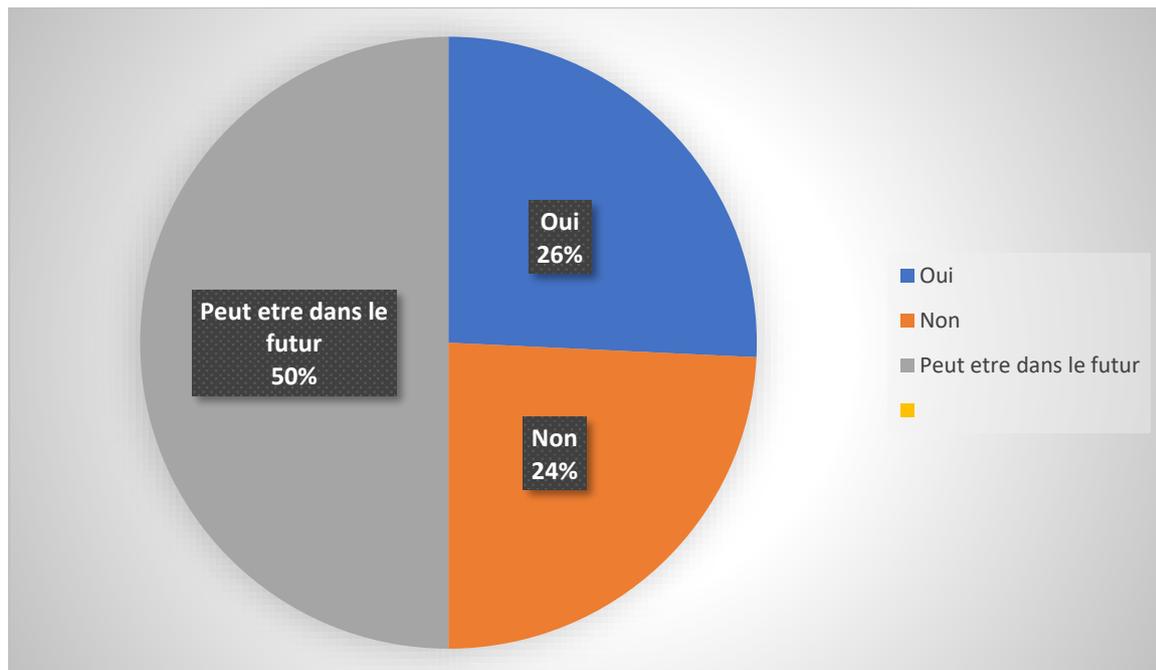


Figure 12: Stratégie pour la transformation vers l'industrie 4.0

2.3.15. Nombre d'entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0 selon le niveau TECHPAlogique

On constate que 63% des entreprises ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0 selon le niveau TECHPAlogique moyen et pour seulement 37% de ces entreprises ayant une haute TECHPAlogie et aucune entreprise à faible niveau TECHPAlogique intention d'appliquer cette même stratégie.

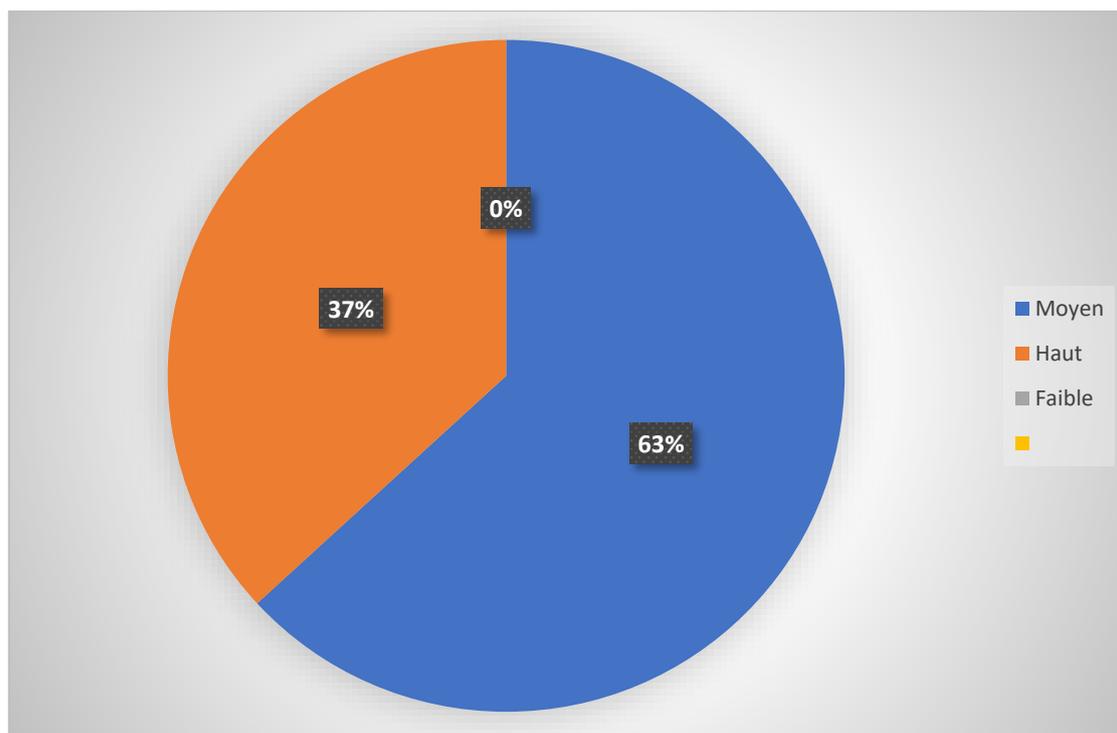


Figure 13: Nombre d'entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0 selon le niveau TECHPALogique

2.3.16. L'application de l'industrie 4.0 pour ces qui ont un département R&D

Ce diagramme représente les entreprises ayant déjà un département RD avec l'application de l'industrie 4.0. En fait, 53% des entreprises ont déjà ce département et ont appliqué cette stratégie. 29% des entreprises ont le département mais pas la stratégie pour l'application de cette industrie 4.0.

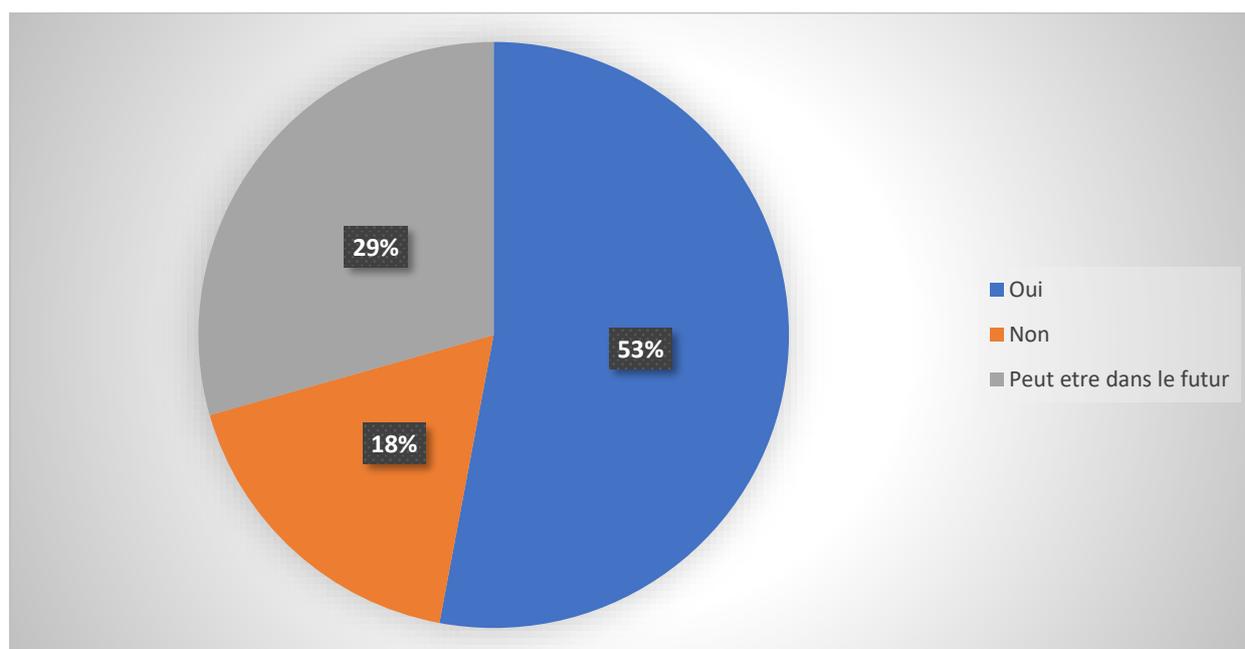


Figure 14: Nombre d'entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0 et qui ont un département R & D

2.3.17. Le service maintenance doit être modernisé par les nouvelles TECHPAologies pour les entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

D'après ce diagramme, on voit que 82% des entreprises pensent que leur service maintenance doit être modernisé par les nouvelles TECHPAologies et seulement 18% des entreprises n'ont pas cette vision de la mise en place des nouvelles TECHPAologies pour la modernisation de leur service maintenance.

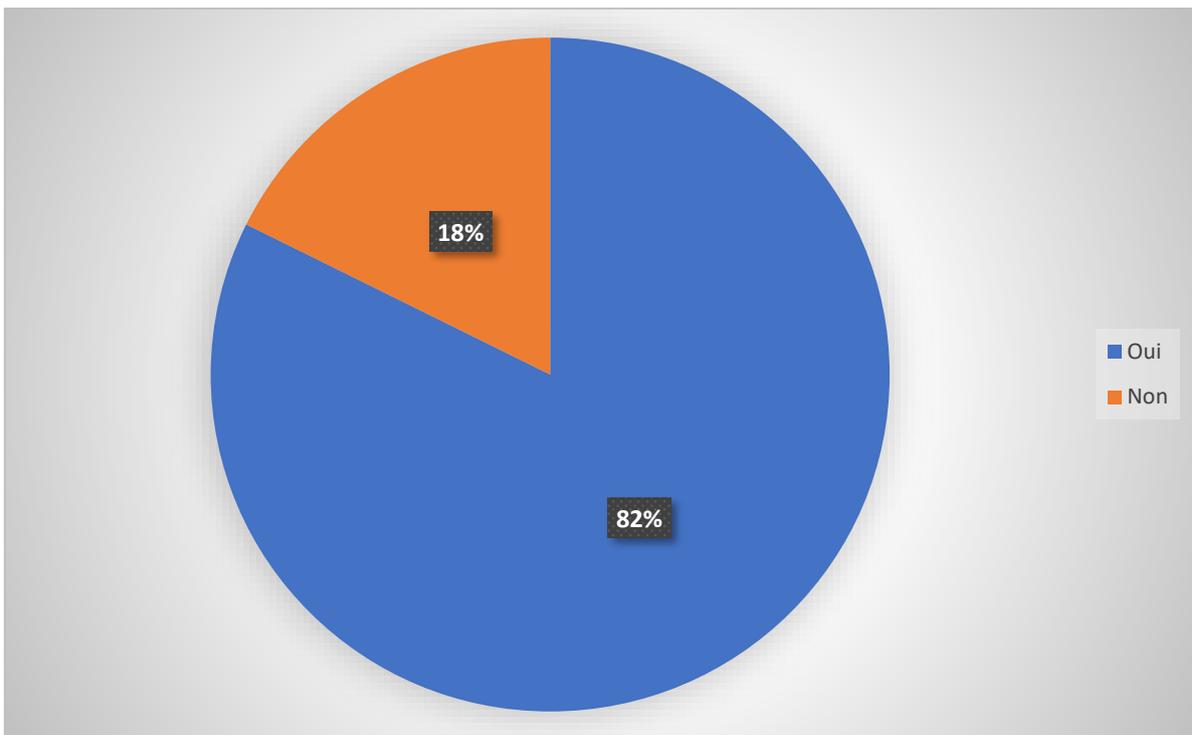


Figure 15: Le service maintenance doit être modernisé par les nouvelles TECHPAologies pour les entreprises qui ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

2.3.18. Le recrutement de diplômés qui maîtrisent les nouvelles TECHPAologies en maintenance

Ce diagramme représente 87% des entreprises ayant l'intention d'embaucher les jeunes diplômés maîtrisant les nouvelles TECHPAologies de maintenance et seulement 13% des entreprises qui n'ont pas encore cette même intention.

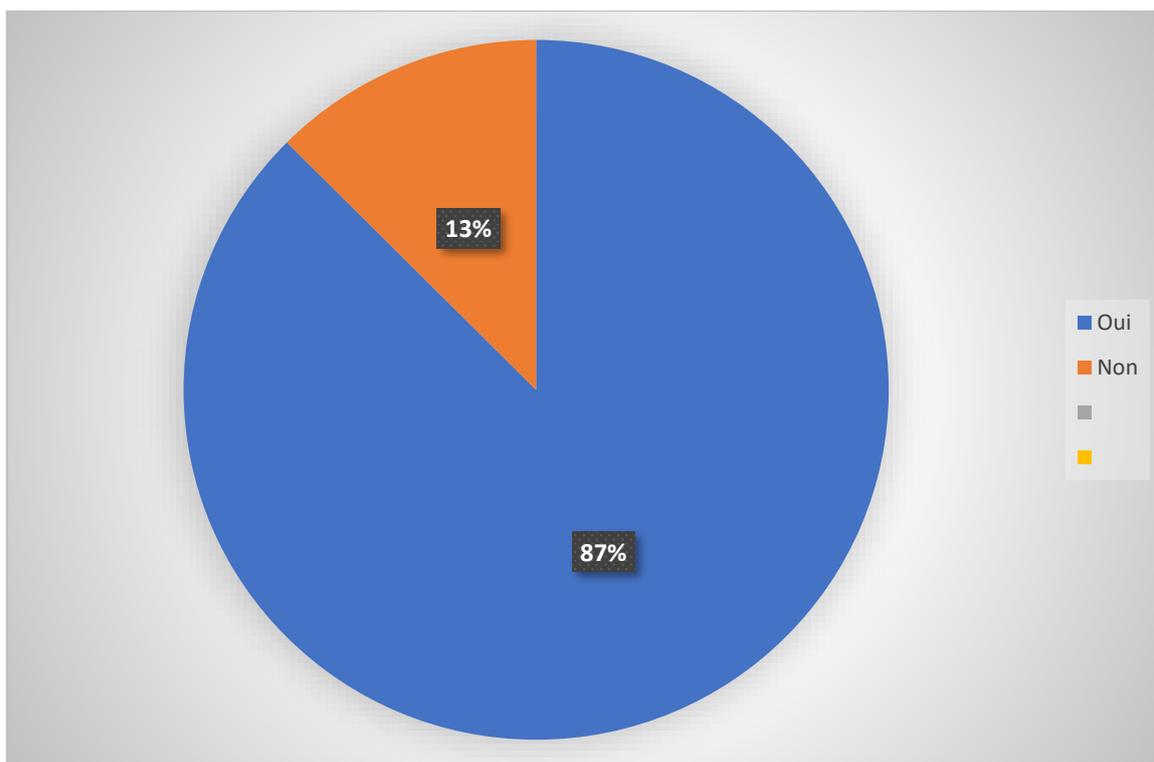


Figure 16: Le recrutement de diplômés qui maîtrisent les nouvelles TECHPAologies en maintenance

2.3.19. L'application de l'industrie 4.0 selon les secteurs

Selon ce graphique, on constate que 38% des entreprises dans le secteur de l'industrie électriques, électroniques et de l'électroménager ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0, après les industries chimiques et l'industries mécaniques et métallurgiques ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0 avec un pourcentage de 16%.

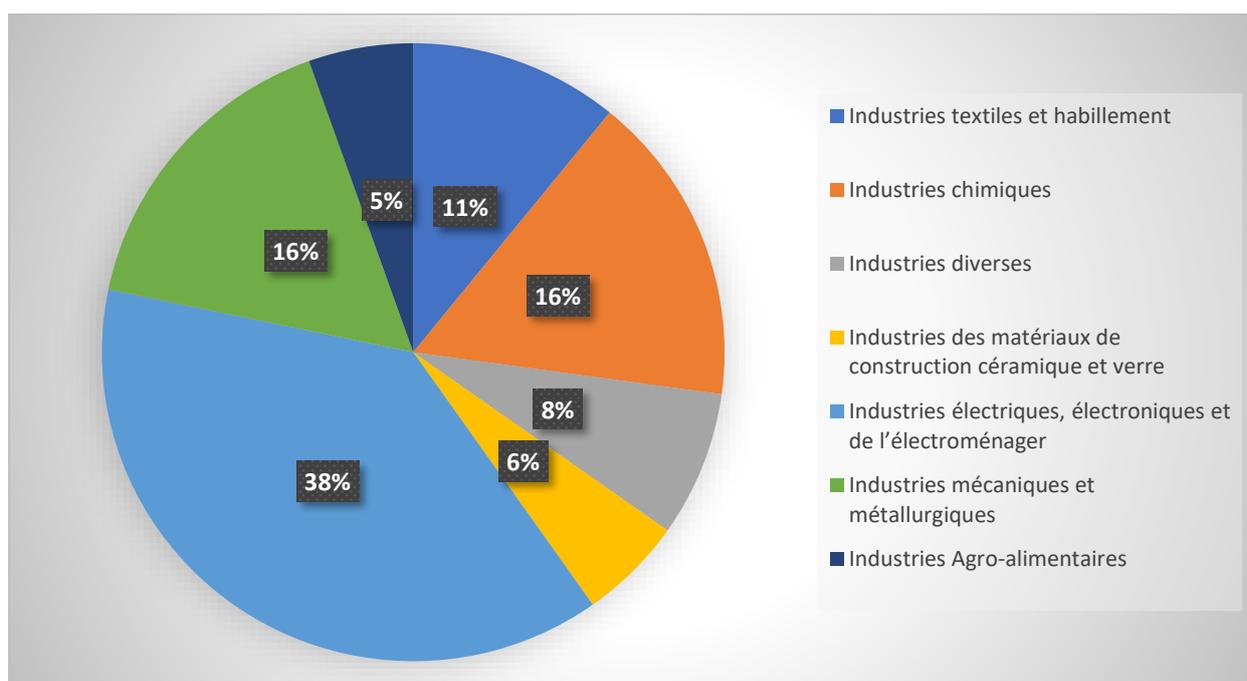


Figure 17: L'application de l'industrie 4.0 selon les secteurs

2.3. La méthode MICMAC

Le logiciel Micmac (Matrice d'Impacts croisés-Multiplication Appliquée à un Classement) a été développé par l'Institut d'Innovation Informatique pour l'Entreprise à la suite d'une demande du Laboratoire d'Investigation en Prospective, Stratégie et Organisation LIPSOR.

La méthode Micmac donne l'opportunité de traiter des éléments interactifs à l'aide d'une matrice. En étudiant ces relations, la méthode met l'accent sur les variables qui permettent le fonctionnement des éléments en interaction. Il est possible de l'utiliser seule (comme aide à la réflexion et/ou à la décision), ou de l'intégrer dans une démarche prospective plus complète (scénario). Cette méthode est complémentaire à l'analyse descriptive qu'on a utilisée précédemment. En effet l'outil MICMAC est plus spécifique que celle de l'analyse descriptive. La méthode micmac est composée de trois phases :

• Phase 1 : le recensement des variables

La première étape consiste à recenser l'ensemble des variables caractérisant le système étudié et son environnement (variables internes autant qu'externes) ; il convient lors de cette phase d'être le plus exhaustif possible, et de n'exclure, a priori, aucune voie de recherche.

• Phase 2 : Description des relations entre les variables

Dans une vision systémique, une variable n'existe que par les relations qu'elle entretient avec les autres variables. Aussi l'analyse structurelle s'attache-t-elle à repérer ces relations entre variables, en utilisant un tableau à double entrée appelé matrice d'analyse structurelle. Le remplissage est qualitatif. Pour chaque couple de variables, on se pose les questions suivantes : existe-t-il une relation d'influence directe entre la variable i et la variable j ? si non, on note 0, dans le cas contraire, on se demande si cette relation d'influence directe, est faible (1), moyenne (2), forte (3) ou potentielle (P) ?

• Phase 3 : identification des variables clés avec MICMAC

Cette dernière phase consiste à identifier les variables clés. L'analyse englobe : - les matrices qui constituent les éléments d'entrée de l'étude Micmac. * Matrice des Influences Directes (MID) * Matrices des Influences Directes Potentielles (MIDP) - Caractéristiques de la matrice - Stabilité de la matrice d'influences directes - Classement des variables par influences - Classement des variables par dépendances.

2.3.1. Traitement des matrices par le biais de MICMAC

Toutes les matrices d'analyse structurelle ci-dessus ont été établies uniquement à partir de relations directes entre les variables. Or, il est évident qu'une variable peut aussi exercer son

influence sur d'autres variables de façon indirecte, soit par l'intermédiaire d'une autre variable, soit par l'intermédiaire de plusieurs autres exerçant leur influence en cascade, par des "chemins" de plus en plus longs, et qui peuvent d'ailleurs boucler sur eux-mêmes. Le classement des motricités peut en être sensiblement modifié, et la compréhension des mécanismes du système pareillement. Etablir directement des matrices de relations indirectes, de chemins de longueur deux, puis trois... puis N deviendrait vite inextricable. Un traitement mathématique relativement simple (multiplication d'une matrice par elle-même, et élévation de matrices à la puissance N) permet de résoudre ce problème. Bénéficiant de la diffusion de l'informatique, puis de l'informatique personnelle, la méthode MICMAC (Matrice d'Impacts Croisés- Multiplication Appliquée à un classement) en est une version commercialisée. Comme on pouvait s'y attendre, les classements des variables par motricité/influence décroissante (ou par dépendance) s'en trouvent généralement modifiés. Mais l'expérience a montré que ces classements deviennent quasi stables au bout de trois ou quatre élévations à la puissance, et ils font bien ressortir l'importance nouvelle de certaines variables en fonction de leurs influences indirectes. Les résultats précédemment évoqués en termes d'influence et de dépendance de chaque variable peuvent être représentés sur un plan (l'axe des abscisses correspondant à la dépendance et l'axe des ordonnées à l'influence).

La Figure suivante montre le résultat d'un traitement MICMAC appliqué à la matrice structurale pondérée d'un cas.

	1 : Ind agro	2 : Nom sala	3 : N ch pro	4 : tech	5 : eco	6 : str indu 4	7 : cap hu	8 : qua pro	9 : fin ind 4	10 : amo maté	11 : paln digi	12 : main prev	13 : imp 3d	14 : reg main
1 : Ind agro	0	3	3	2	2	P	3	3	P	3	P	2	0	1
2 : Nom sala	1	0	3	2	1	P	3	3	2	3	3	3	0	1
3 : N ch pro	1	3	0	1	2	P	1	2	1	1	2	3	1	1
4 : tech	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5 : eco	3	3	3	3	0	P	3	1	3	1	P	1	3	2
6 : str indu 4	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	3	3	1	3
7 : cap hu	2	2	3	2	3	3	0	3	3	3	3	2	1	1
8 : qua pro	1	3	3	3	2	1	1	0	3	3	3	3	0	3
9 : fin ind 4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
10 : amo maté	1	3	2	1	1	3	2	2	3	1	3	1	1	1
11 : paln digi	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12 : main prev	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2
13 : imp 3d	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14 : reg main	2	2	2	2	1	P	P	P	P	3	3	2	1	0

© LPSOR-EPITA-MICMAC

Figure 18: Le résultat d'un traitement MICMAC

La somme des éléments de chaque ligne sont les totaux de lignes de variable, ainsi la somme des éléments de chaque colonne sont les totaux de colonnes de variable. La figure ... suivante illustre le calcul de lignes et des colonnes.

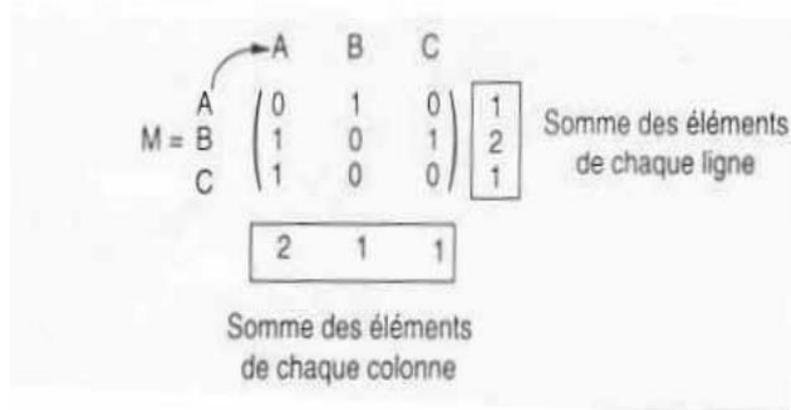


Figure 19: Somme de lignes et de colonnes de la matrice

2.3.2. Règle de décisions dans l'utilisation des matrices croisées

La répartition du nuage de points variables dans ce plan permet d'identifier quatre catégories de variables qui correspondent aux quatre quadrants. Le premier quadrant regroupe les concepts les plus prédominants dans la dynamique de l'application de TECHPAlogie de l'industrie 4.0. Le deuxième quadrant regroupe les variables relais qui sont par définition à la fois très influentes et très dépendantes de la réflexion ou de la prévision de la possibilité de l'application de l'industrie 4.0. Le troisième quadrant correspond aux variables dépendantes ou résultantes. Elles sont à la fois peu influentes et très dépendantes en d'autres thème hostile dans l'intervention des intervenants de notre enquête. Le quatrième quadrant regroupe les variables autonomes qui sont simultanément peu influentes et peu dépendantes. Elles sont relativement exclues de la dynamique de la réflexion des entrepreneurs qui adoptent l'effectuation.

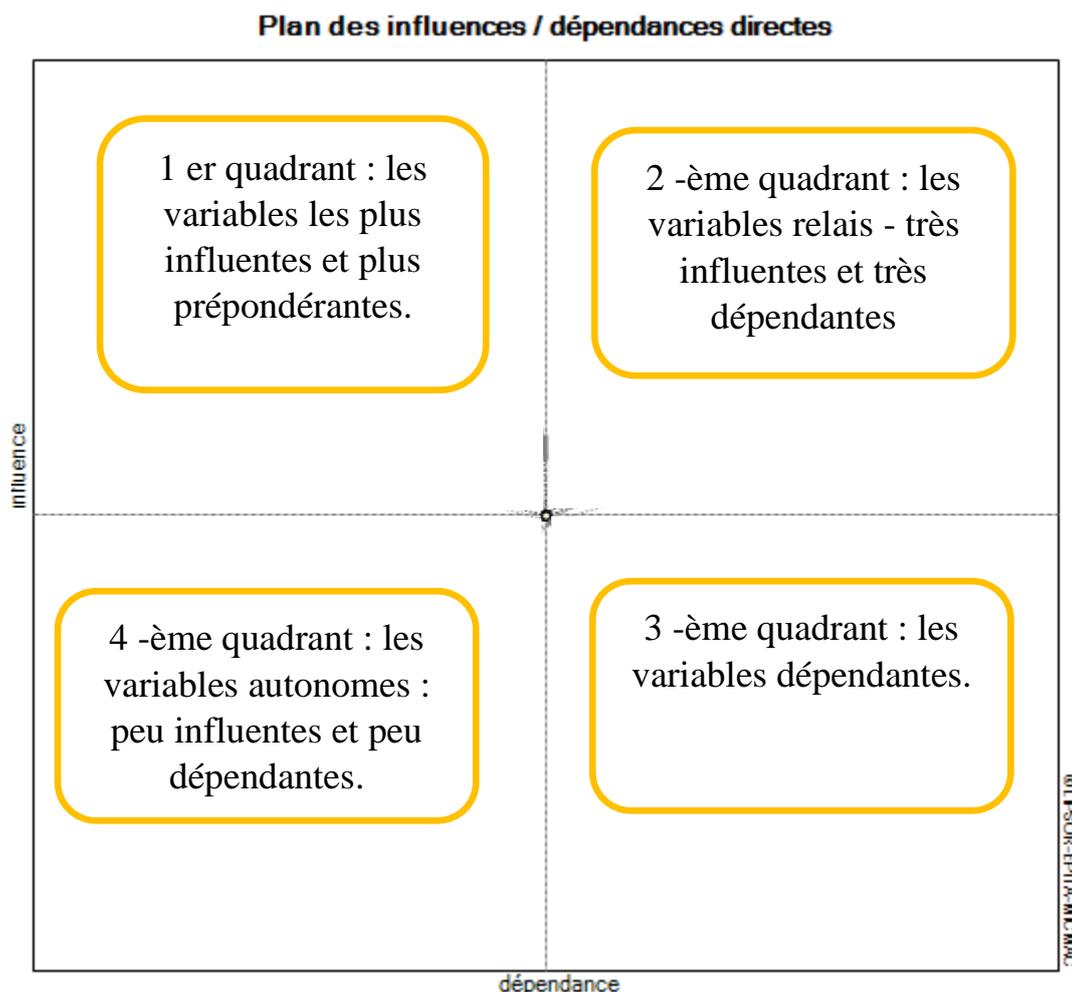


Figure 20: La répartition du nuage

2.3.3. Identification des variables qui ont une influence sur l'industrie 4.0

❖ Les cas de l'échantillon

Les critères de sélection sont :

1. Secteur
2. Branche
3. Diagnostic

Tableau 6: Un aperçu sur les cas

Critère	Secteur	Branche	Diagnostic
Société Vitastor	Agroalimentaires	Laitier	Ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0
TEHPA	Electronique	Composants électroniques	Ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

SOMMI	Mécanique	Montage et maintenance industrielle	Ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0
CAPTON	Agroalimentaires	Meunerie	Ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0
SILO Electric	Electronique	Matériel de distribution et commande électrique.	Ont une stratégie d'appliquer l'industrie 4.0

2.3.4. Les résultats de l'étude

❖ Cas Vitastor :

Le premier cas étudié est celui de l'entreprise Vitastor dans le secteur agro-alimentaire en laitier. Toute au long des rencontre avec le gérant de l'entreprise, il nous informe que l'effectifs d'employés est plus que cinq-cents personnels. Ainsi, la société à un département recherche et développement. Elle a une capacité de production de 650 000 litres de lait par jour.

L'entreprise est certifiée dans plusieurs domaines :

- **L'ISO 22000** : est une norme internationale, relative à la sécurité des denrées alimentaires.
- **La norme ISO 14001** : définit une série d'exigences que doit satisfaire le système de management environnemental d'une organisation
- **La norme ISO 45001** : Systèmes de management de la santé et de la sécurité au travail - Exigences et lignes directrices pour leur utilisation

Finalement cette entreprise à une stratégie pour la transformation vers l'industrie 4.0.

L'étude de la grille systématique nous amène à retenir les variables suivantes :

1. Industrie agro-alimentaire (Ind agro)
2. Nombre de salariés (Nom sala)
3. Nombre de chaines de production (N ch pro)
4. TECHPAlogie (tech)
5. Ecosystème (eco)
6. Stratégie industrie 4.0 (str indu 4)
7. Capital humain (cap hu)
8. Quantité produite (qua pro)
9. Financement indu 4.0 (fin ind 4)
10. Amortissement matériiaux (amo maté)

- 11. Planification de la digitalisation (paln digi)
- 12. Maintenance preventive (main prev)
- 13. Impression 3d (imp 3d)
- 14. Registre des maintenances (reg main)

Le tableau suivant est une description de la centralité des concepts. Il nous guide à comprendre l'importance relative de chacun des concepts. Le degré d'interconnexion est un indicateur de la densité de la carte cognitive. Le calcul de cette densité se fait de la manière suivante : soit de diviser le total des lignes par le total des colonnes.

Selon Garoui (2012), un niveau d'intégration type de calcul de l'application de l'industrie 4.0 est basé sur le ratio simple (l/n) qui devrait se situer entre 1.15 et 1.25. Cossette (2004) fait appel à l'intérêt de la topographie des graphes via l'importance de chacun des concepts.

Tableau 7: Une description de la centralité des concepts : Cas Vitastor

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
11	Planification de la digitalisation	39	34	1.15	73
6	Stratégie industrie 4.0	37	34	1.08	71
9	Financement indu 4.0	39	32	1.21	71
4	TECHPAlogie	39	28	1,08	67
2	Nombre de salariés	28	34	0.83	62
7	Capital humain	31	31	1	62
8	Quantité produite	29	31	1,33	60
5	Ecosystème	32	27	1.18	59
1	Industrie agro-alimentaire	31	25	1.24	56
3	Nombre de chaines de production	22	34	0.65	56
10	Amortissement matériaux	24	32	0.75	56
14	Registre des maintenances	30	25	1.2	55
12	Maintenance préventive	21	30	0.7	51
13	Impression 3d	13	18	0.72	31
	Totaux	382	382		

En se basant sur le tableau 11, nous pouvons constater que la planification de la digitalisation occupe une place importante dans la conception et la planification au passage à l'industrie 4.0. L'industrie tunisienne cherche des pièces robustes pour attaquer le marché crée et développé par les industries nouvelles. Dans sa planification, la société Vitastor est en train d'explorer découvrir et analysé l'écosystème. Dans cette logique, une analyse minutieuse de l'écosystème est

impossible car l'incertitude marque l'industrie tunisienne. Pour cette raison la variable écosystème n'est pas une force d'influence décisive dans la réflexion stratégique de la société Vitastor. Le tableau précédent met en lumière ce constat ou on trouve que le poids de l'écosystème ne dépasse pas le poids 59. Au contraire la variable planification de la digitalisation et la stratégie industrie 4.0 occupe une place vitale dans la préparation de l'application de l'industrie 4.0 dans la société Vitastor. Ce résultat va être détaillé dans le plan d'influence direct du cas Vitastor.

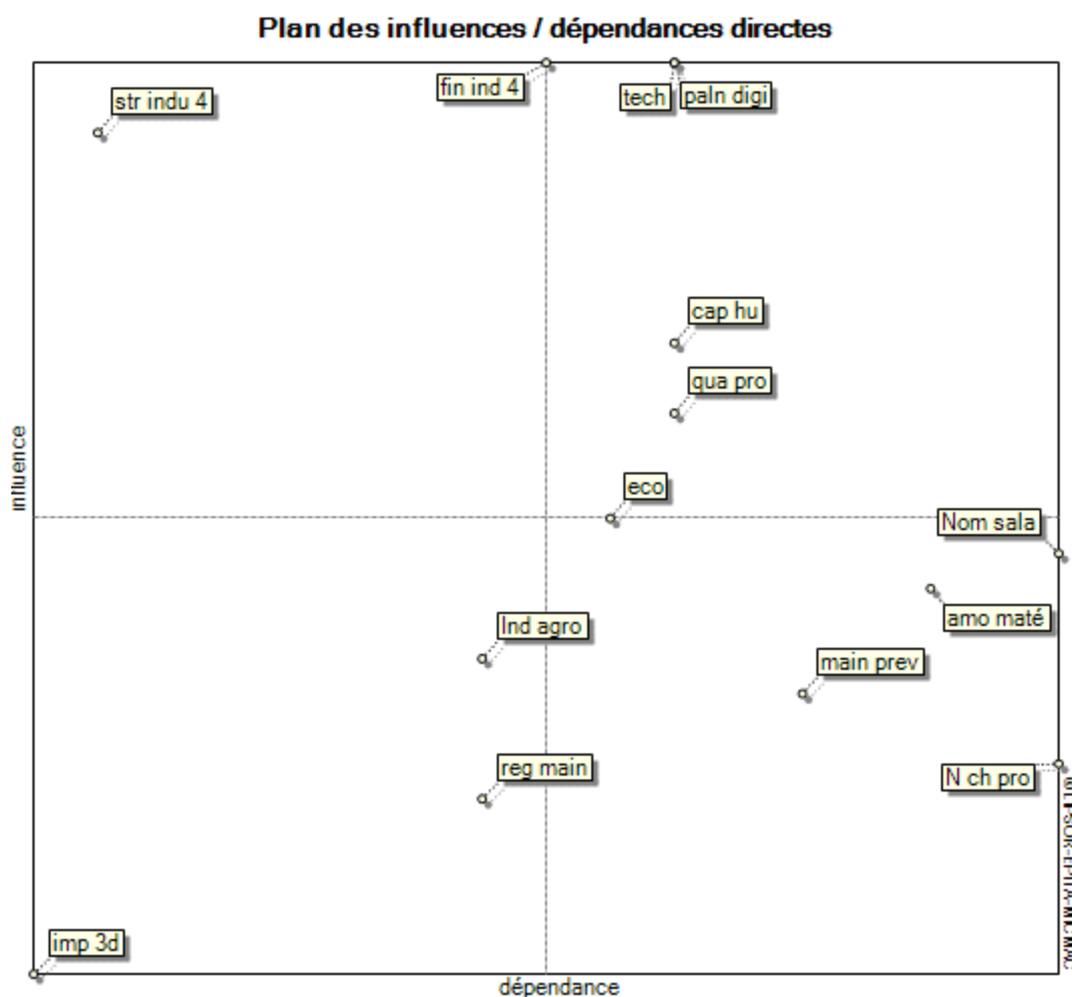


Figure 21: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas société Vitastor

Dans la répartition des nuages de concept nous pouvons constater que le concept stratégie industrie 4.0 et le concept financement industrie 4.0 sont le plus dominants et le plus prépondérants dans la réflexion organisationnelle de la société vitalit. La préparation de financement suite au passage à l'industrie 4.0 facilite la stratégie. Dans ses affirmations M. BOUCHNAK le chef de service technique de la société Vitastor a mis en accent la volonté de la direction a consacré une allocation budgétaire afin de préparer le passage au l'industrie 4.0. Les graphes d'influences directes et indirectes permettent de décortiquer cette idée.

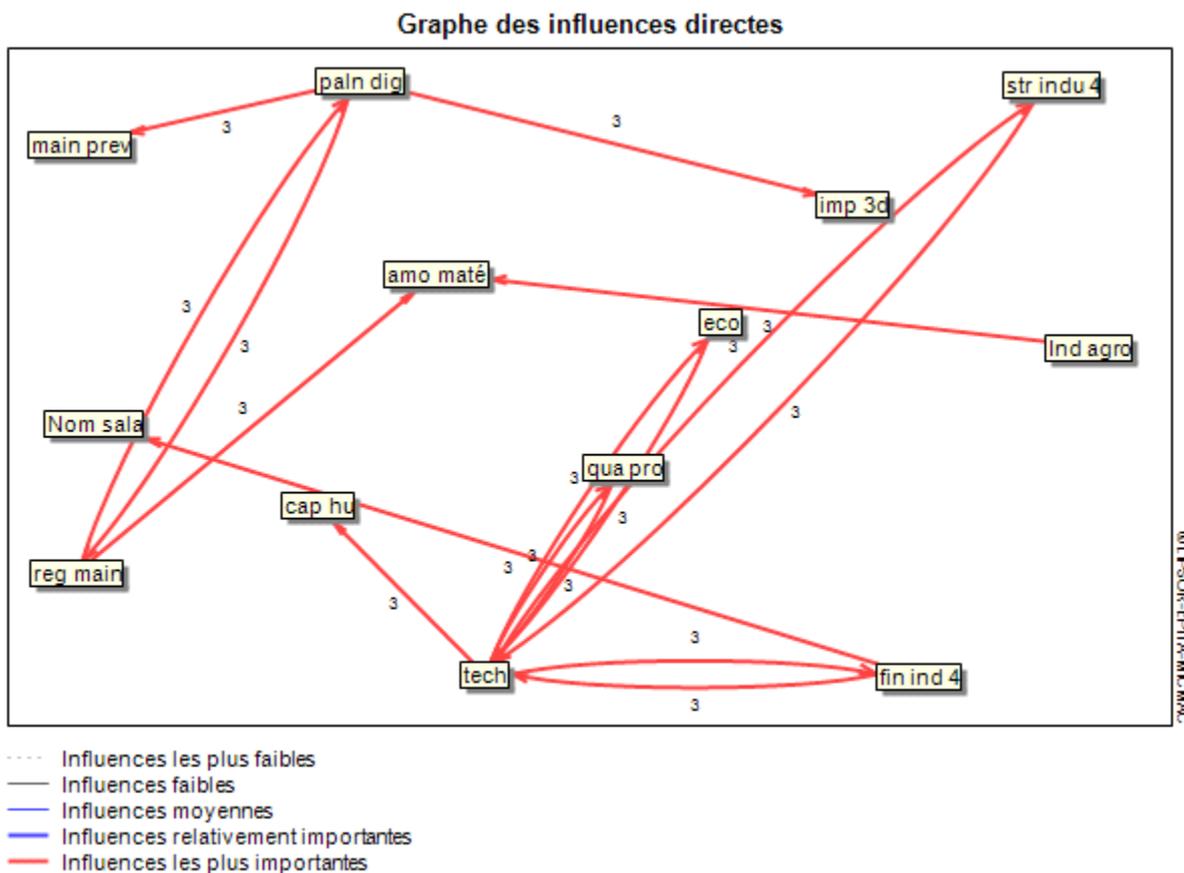


Figure 22: Graphe des influences directes

Le graphe précédent représente une sélection des influences directes. Les concepts identifiés sont : str indus 4, tech, plan dig, main prev, imp 3d, nom sala, amo matè,eco, qua pro,cap hu,reg main et fin ind 4 électr. Nous pouvons constater une ine liaison directe et forte entre l’application indus 4 et la TECHPAlogie moyenne qui se concentre sur la maintenance préventive exige une comprehension avancée du secteur d’activité et des ses branches.

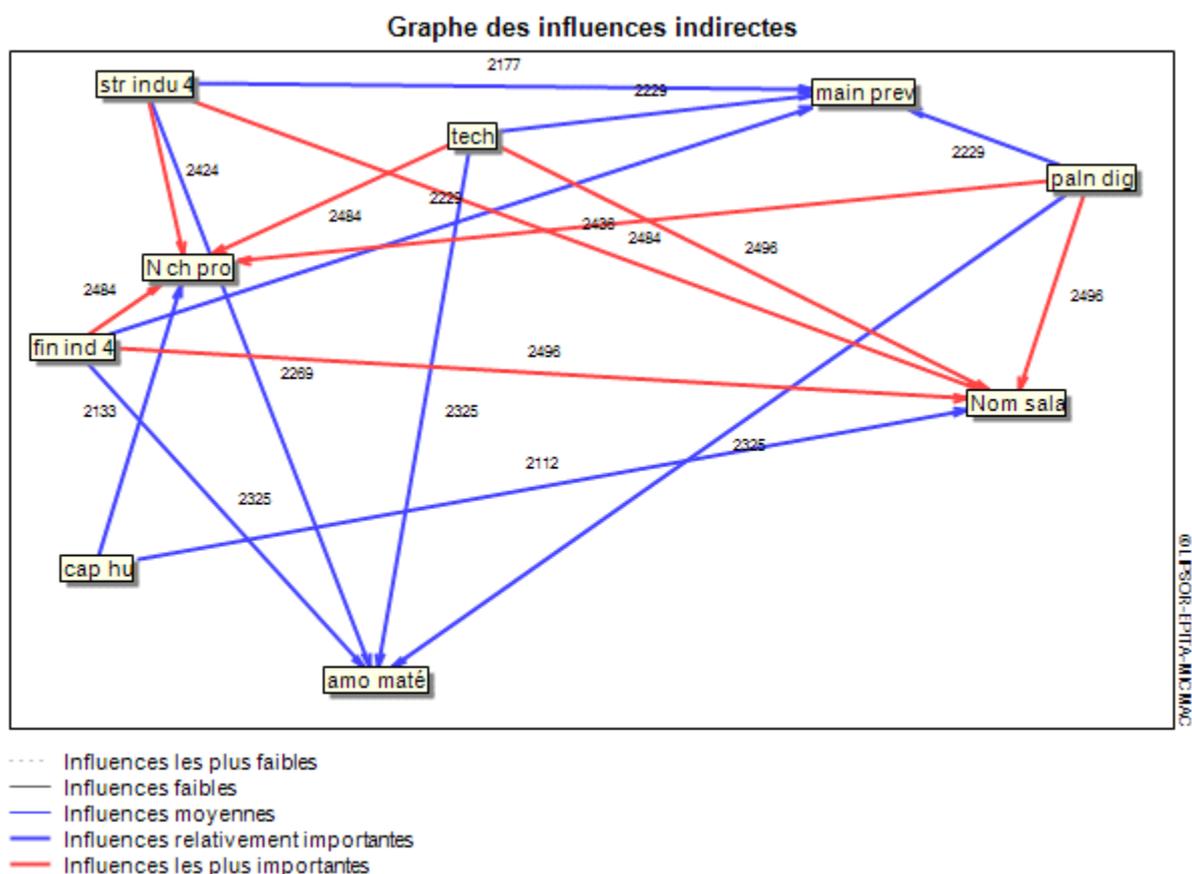


Figure 23: Graphe des influences indirectes

Dans la même sphère des influences directes, les influences indirectes ont une place importante dans la configuration stratégique de l’application de l’industrie 4.0 dans la société Vitastor. Les influences indirectes les plus importantes relient la stratégie industrie 4.0 aux nombres de machines de production (18 machines) et les grands nombres de salariés (plus que 500 salariés)

❖ **TECHPA SARL :**

- ❖ Industrie électrique, électroniques et de l’électroménager (elc électr)
- ❖ Département R & D (R & D)
- ❖ Niveau TECHPAlogique (TECHPA)
- ❖ Formation périodique (training)
- ❖ Equipe de maintenance (maint)
- ❖ Amortissement matériaux (amor mat)
- ❖ Stratégie indus 4 (indus 4)
- ❖ Entretien préventif (prév)
- ❖ Impression 3D (3D)

La société TECHPA est une société à responsabilité limitée. Elle fonctionne dans les composants électroniques. Elle est une société totalement exportatrice implantée dans la région

de Nabeul et gérée par M. Lanni Tiziano. Les partenaires des sociétés sont des italiens. Dans l'étude de ce cas Nous avons contacté N. Hosni Ferjani un responsable dans cette société.

Tableau 8: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas société TECHPA sarl

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
1	Industrie électrique, électroniques et de l'électroménager	22	21	1,05	43
7	Stratégie indus 4	23	15	1,53	38
8	Entretien préventif	18	17	1,06	37
3	Niveau TECHPAlogique	16	20	0,8	36
4	Formation périodique	14	17	0,82	31
6	Amortissement matériaux	15	15	1	30
9	Impression 3D	12	16	0,75	28
5	Equipe de maintenance	7	17	0,41	24
2	Département R & D	16	5	3,2	21
	Totaux	143	143		

La représentation de la société envers l'industrie 4.0 a été exprimé par M. Hosni. Dans sa réflexion le secteur d'activité est le pilier de toute discussion du sujet. Ce secteur est dans une large partie en évolution positive rapide. Outre, elle est dynamique à l'échelle internationale. Pour renforcer l'agressivité compétitive de cette société une vision en termes stratégiques qui trace les contours d'une démarche d'application de l'industrie 4.0. Une stratégie dans une conception classique se base sur la fixation des objectifs à long termes. Une stratégie n'a pas de sens sans une capacité stratégique cohérente avec la vision et les objectifs stratégiques. Pour cette raison nous pouvons constater un poids important de la stratégie indus 4.0 (poids =38 avec un degré d'interconnexion 1.53). Dans cette stratégie les procédures préventifs sont vitaux ce qui permet d'expliquer la présence du concept « 8 » entretien préventif en troisième position avec un poids de concepts est égale à 37.

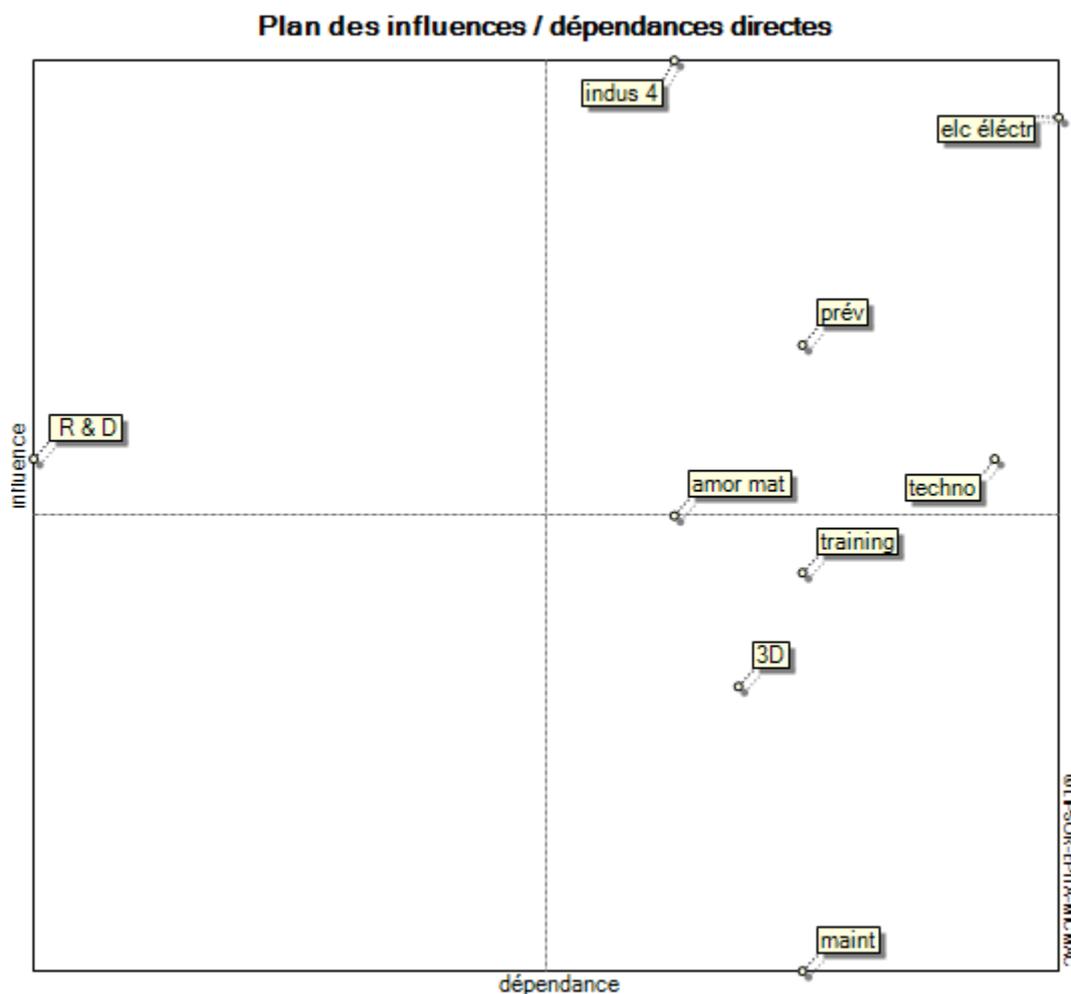


Figure 24: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas société Vitastor : Cas TECHPA sarl

Dans la répartition des nuages de concept nous pouvons constater que le concept recherche et développement est le plus dominant et le plus prépondérant dans la réflexion organisationnelle de la société TECHPA. La fonction R&D est le noyau des inventions et des innovations dans les firmes industrielles. Elle nécessite une stratégie détaillée et une capacité stratégique renforcée par des compétences et des ressources financières. Dans ses affirmations M. Hosni a mis en accent la volonté de la direction a consacré une allocation budgétaire afin de préparer et d'appliquer une démarche innovante propre à cette SARL en termes TECHPAlogiques d'industrie 4.0. Le budget n'a pas un sens sans une logique analytique et un état d'esprit préparé soit en se positionner en tant qu'organisation qui englobe une culture et des valeurs, soit en termes d'acteurs (parties prenantes) qui sont en interaction temporaire et permanente forte ou faible. Le premier critère qui est influent est le secteur car il englobe les concurrents et les segments des clients. En plus cette société est totalement exportatrice elle doit prendre en compte les clients étrangers. Le renforcement de sa position concurrentielle passe par une adéquation entre sa capacité stratégique, sa capacité en

recherche et développement, sa capacité à proposer innover et créer de nouveaux produits TECHPAlogiques. Ces trois paramètres sont primordiaux à appliquer une stratégie industrie 4.0. Les graphes d'influences directes et indirectes permettent de décortiquer cette idée.

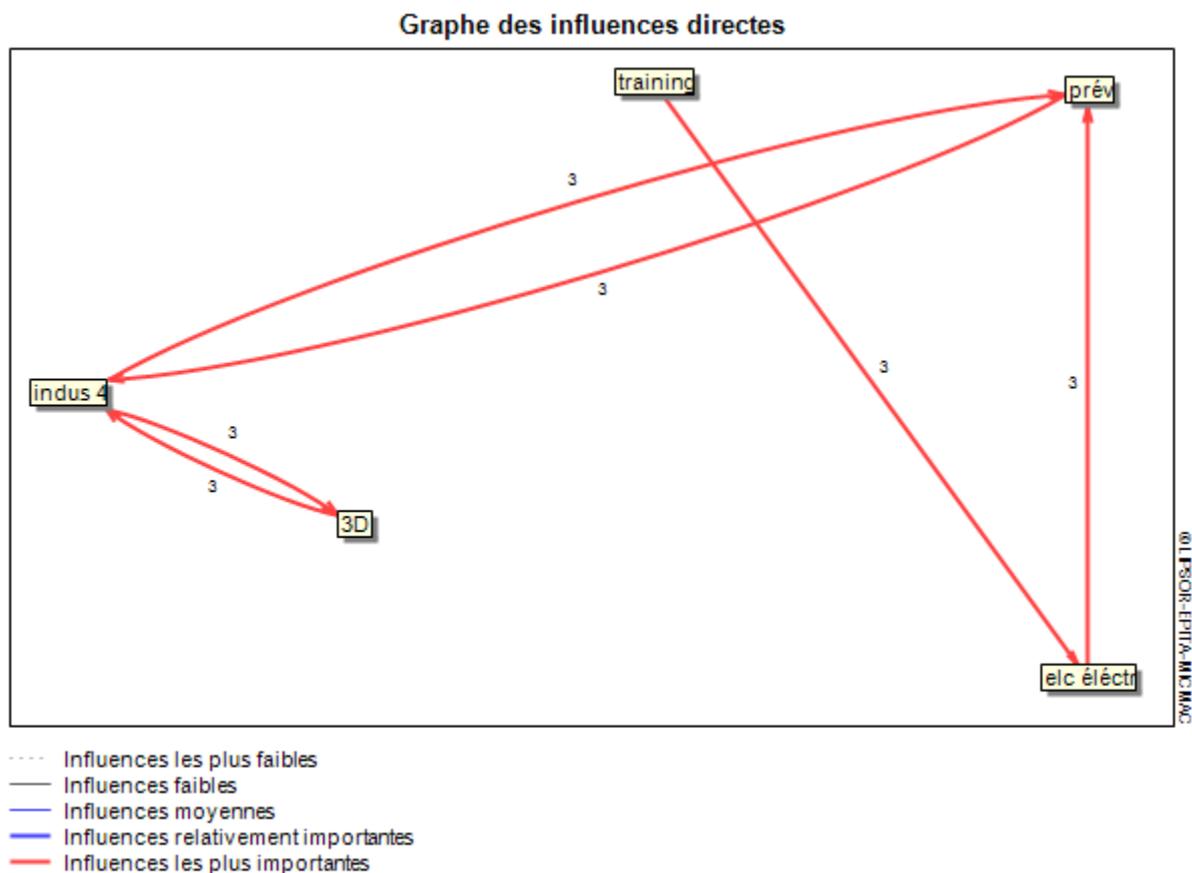


Figure 25: Graphe des influences directes

Le graphe précédent représente une sélection des influences directes. Les concepts identifiés sont : indus 4, training, prév, 3d et elc élect. Nous pouvons constater une ine liaison directe et forte entre l’application indus 4 et la maintenance préventive. Cette liaison est logique la conversion d’une organisation qui dispose d’une TECHPAlogie moyenne qui se concentre sur la maintenance préventive à une industrie qui se concentre sur une TECHPAlogie avancée exige une compréhension avancée du secteur d’activité et des ses branches. Outre, l’apprentissage au sein du même secteur est conditionné par la capacité stratégique , l’apprentissage et les objectifs fixés qui peuvent configurer la stratégie 4.0

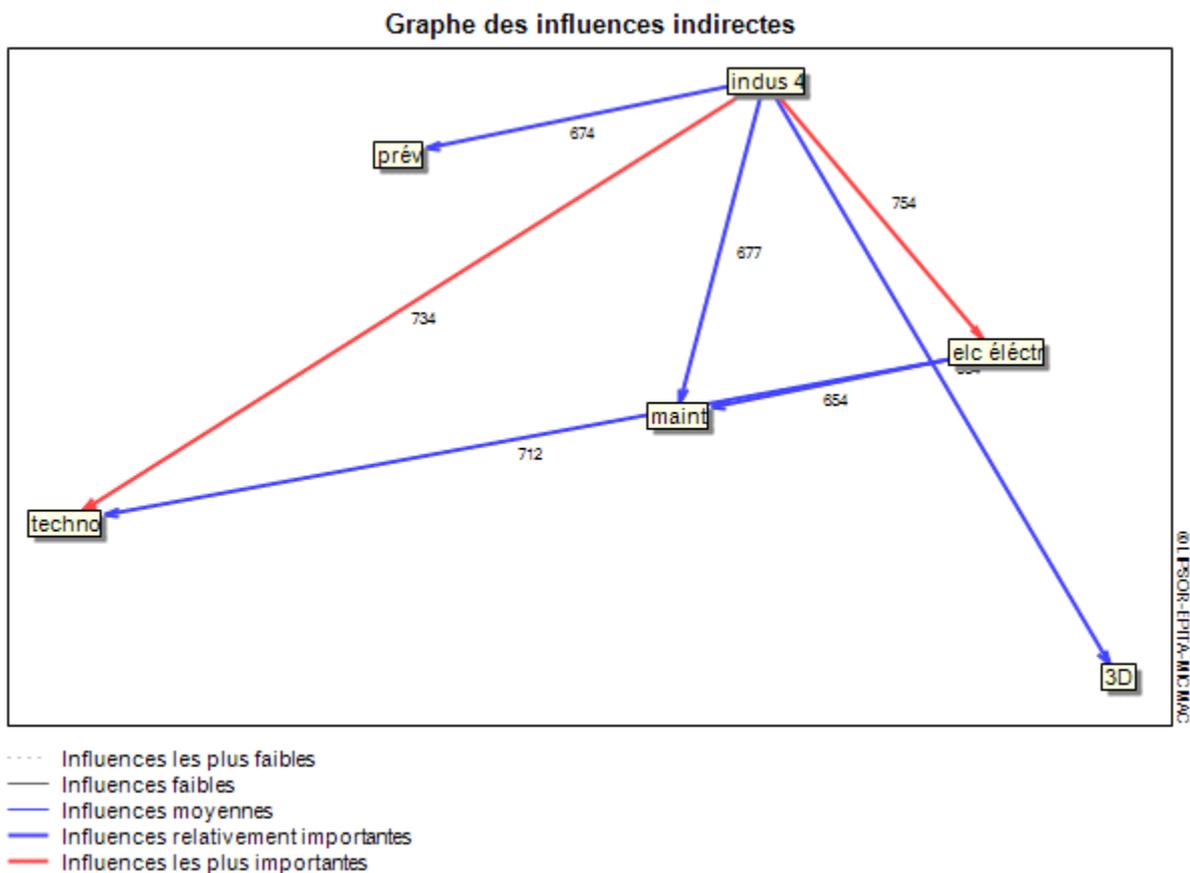


Figure 26: Graphe des influences indirectes

Dans la même sphère des influences directes, les influences indirectes ont une place importante dans la configuration stratégique de l’application de l’industrie 4.0. Les influences indirectes les plus importantes relient la stratégie indus 4 à la TECHPAlogie et au secteur. Ce trio s’avère fortement interrelié car une industrie 4.0 ne peut pas être appliquée sans la compréhension du secteur en profondeur. Ensuite une TECHPAlogie est toujours en mutation et en évolution rapide. Du coup, une stratégie industrie 4.0 ne peut pas être appliquée sans une étude approfondie des TECHPAlogies dominantes dans le secteur d’activité

❖ **SOMMI :**

1. Indus mécaniques (mécanique)
2. Employés (empl)
3. TECHPAlogie (tech)
4. Capacité (cap)
5. Périodique (perio)
6. indus 4.0 (ind 4.0)
7. Entretien (entr)

Tableau 9: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas Sommi

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
1	Indus mécaniques	18	18	1	36
2	Employés	16	17	0,94	33
3	TECHPAlogie	17	15	1,13	32
4	Capacité	16	15	1,06	31
5	Périodique	15	16	0,935	31
6	indus 4.0	18	18	1	36
7	Entretien	14	15	0,93	29
	Totaux	111	111		

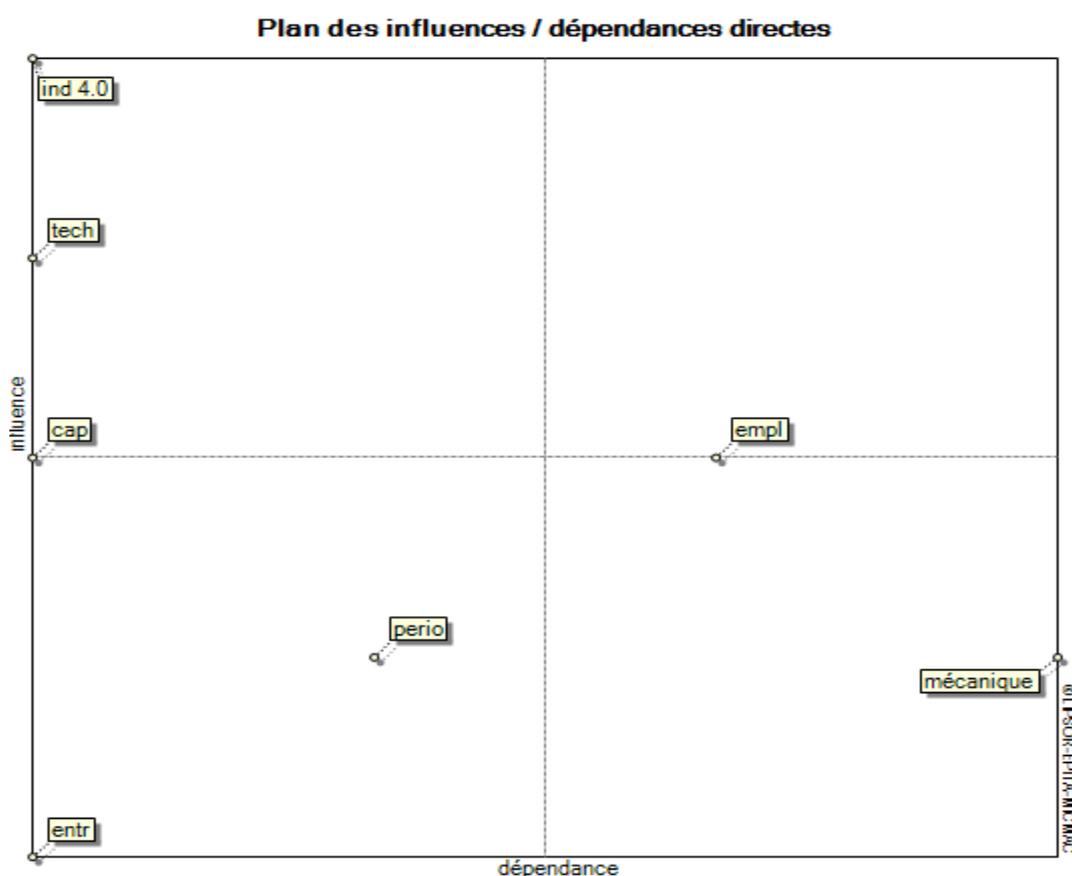


Figure 27: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas société SOMMI

La figure précédente montre que la variable ind 4.0, tech, et cap sont les variables les plus influentes et les prépondérantes. Depuis sa création la Société de Montage & Maintenance Industrielle (SOMMI) s'est investie dans la réalisation des grands chantiers en Tunisie et à l'étranger. Son personnel a acquis, sur le terrain, une expérience majeure :

- L'entreprise SOMMI a été créée en 1990, sa première vocation a été la réalisation de projets industriels dans le secteur privé et public.

- SOMMI est devenue l'entreprise privilégié des grandes sociétés nationales et internationales.
- Spécialisée dans le domaine de montage, maintenance et l'assistance technique en Tunisie et à l'étranger, notre société a participé dans la réalisation des plus grands projets industriels.
- Spécialiste depuis des années dans la pose de gazoduc et oléoduc .
- Notre personnel a acquis une bonne expérience dans divers domaines (mécanique, soudure, chaudronnerie, charpente, tuyauterie, électricité, gaz...).
- SOMMI dispose d'une gamme la plus étendue en matériel de montage, soudure, outillage de chantier et équipements de bâtiment et poses des conduites. Dans sa démarche stratégique la société SOMMI cherche à attaquer le monde de la digitalisation et de l'industrie 4.0. Dans sa conception la société trouve une logique de croisement entre une stratégie 4.0 et la TECHPAlogie nécessaire qui permet d'appliquer cette industrie. Une telle logique ne peut pas être légitime sans une capacité stratégique basée sur compétences confirmées et une TECHPAlogie sophistiquée. La société dispose d'une expertise entrepreneuriale et managériale avancée alimentée par de ressources stratégiques dynamiques.

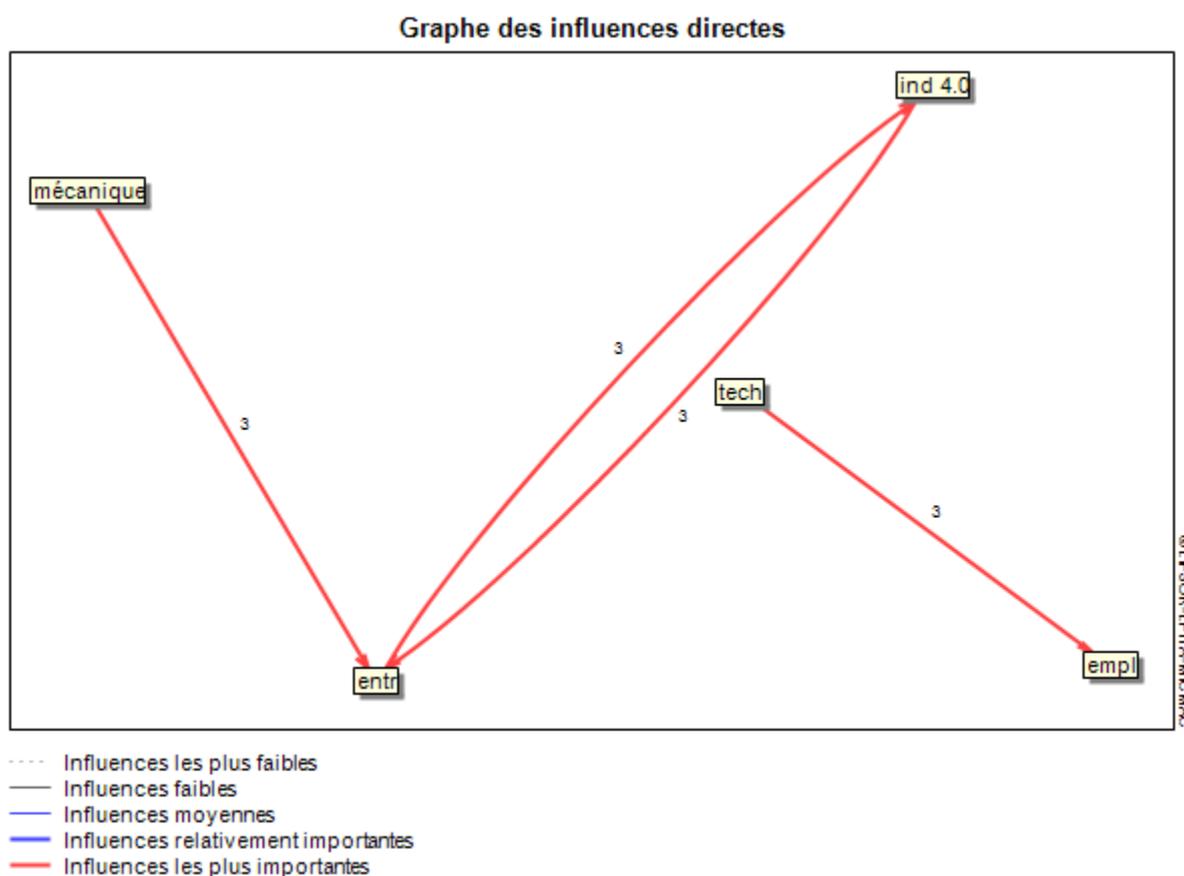


Figure 28: Graphe des influences directes : Cas Sommi

Les influences les plus importantes relient l'industrie 4.0 au cadre organisationnel et humain qui va être chargé de l'application de l'industrie 4.0. Un recrutement est vital pour sélectionner les

meilleurs profils qui peuvent faciliter l'application de l'industrie 4.0. Ces profils sont rattachés dans la réflexion des dirigeants de la société à la mécanique. Ces nouveaux profils doivent approuver une flexibilité mentale, culturel et technique vis-à-vis le personnel de la société typiquement les anciens.

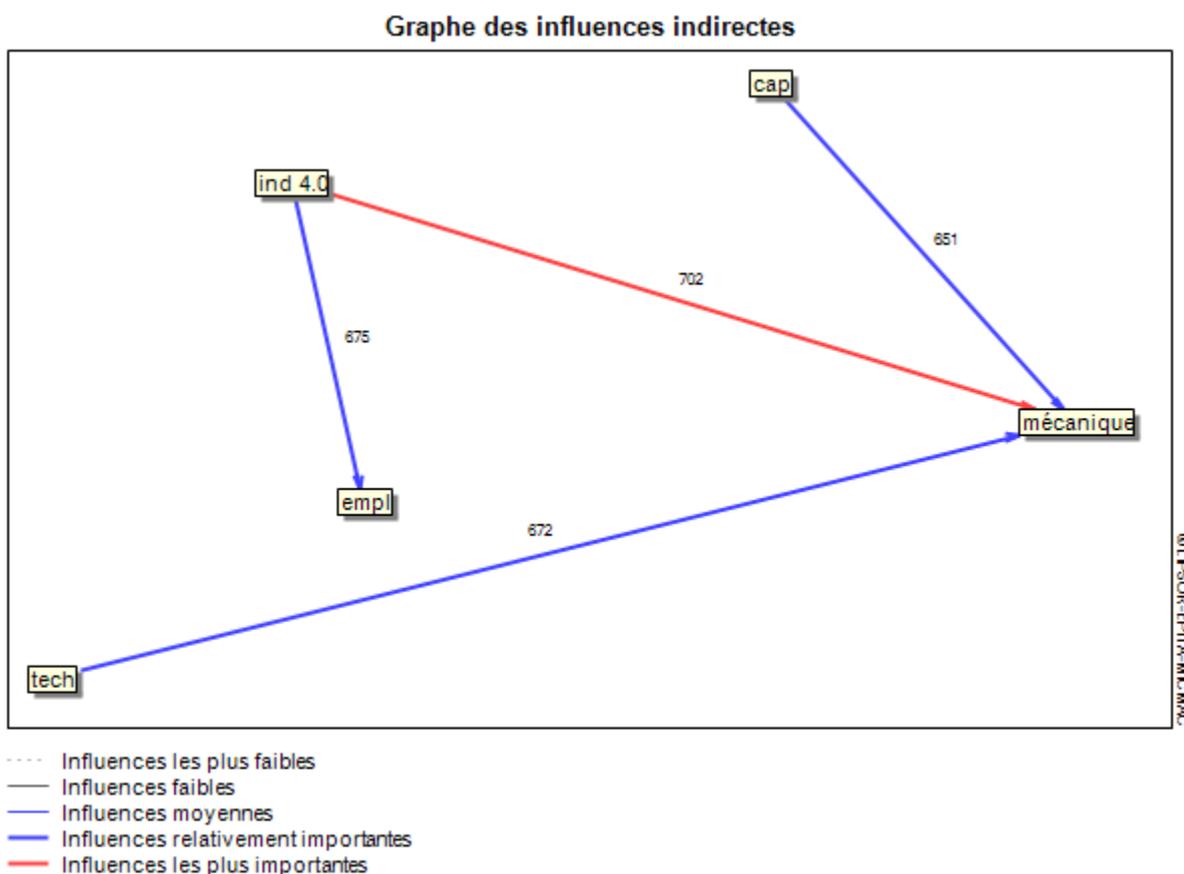


Figure 29: Graphe des influences indirectes : cas sommi

Dans la même logique des influences directes l'industrie 4.0, la TECHPAlogie, et la capacité stratégique semble très influents et mutuellement influents. Mais la fonction mécanique s'impose comme une variable importante dans la conception de la société SOMMI et qui va être influencé par la démarche d l'application d l'industrie 4.0.

❖ **La société CAPTON**

1. Indus agro-alimentaires (Indus agro)
2. Employés (Emp)
3. R et D (R et D)
4. Niveau TECHPAlogique (TECHPA)
5. Nombre de machines (nb machine)
6. Capacité (cap)

- 7. Certification (Cert)
- 8. 3D (3D)
- 9. Recrutement (Rec)

La société CAPTON est basée à Nabeul spécialisée en farines, semoule. Dans l'étude de ce cas Nous avons contacté un responsable d'achats dans cette société.

Tableau 10: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas Cap Bon

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
1	Indus agro-alimentaires	24	24	1	48
2	Employés	21	18	1,16	39
3	R et D	17	19	0,89	36
4	Niveau TECHPAlogique	19	18	1,05	37
5	Nombre de machines	17	19	0,89	36
6	Capacité	17	20	0,85	37
7	Certification	15	17	0,88	32
8	3D	14	14	1	28
9	Recrutement	16	16	1	32
10	Industrie 4.0	25	20	1,25	45
	Totaux	185	185		

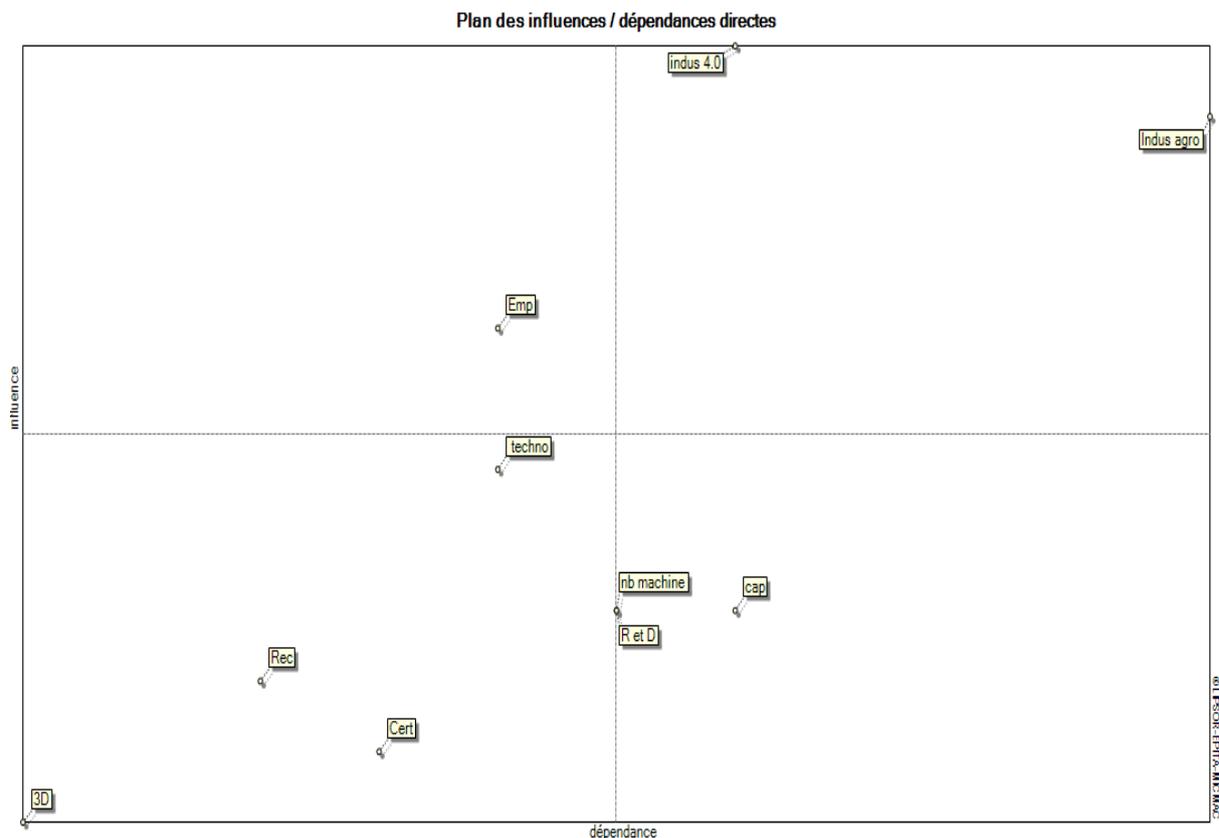


Figure 30: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : Cas CAP-BON

Dans la répartition des nuages de concept nous pouvons constater que le concept employé et la variable le plus influent et plus prépondérant. Dans ses affirmations A. Khalfallah le responsable d’achats de cette entreprise a mis en accent la volonté de la direction a consacré une allocation budgétaire afin de préparer le passage au l’industrie 4.0. Les graphes d’influences directes et indirectes permettent de décortiquer cette idée.

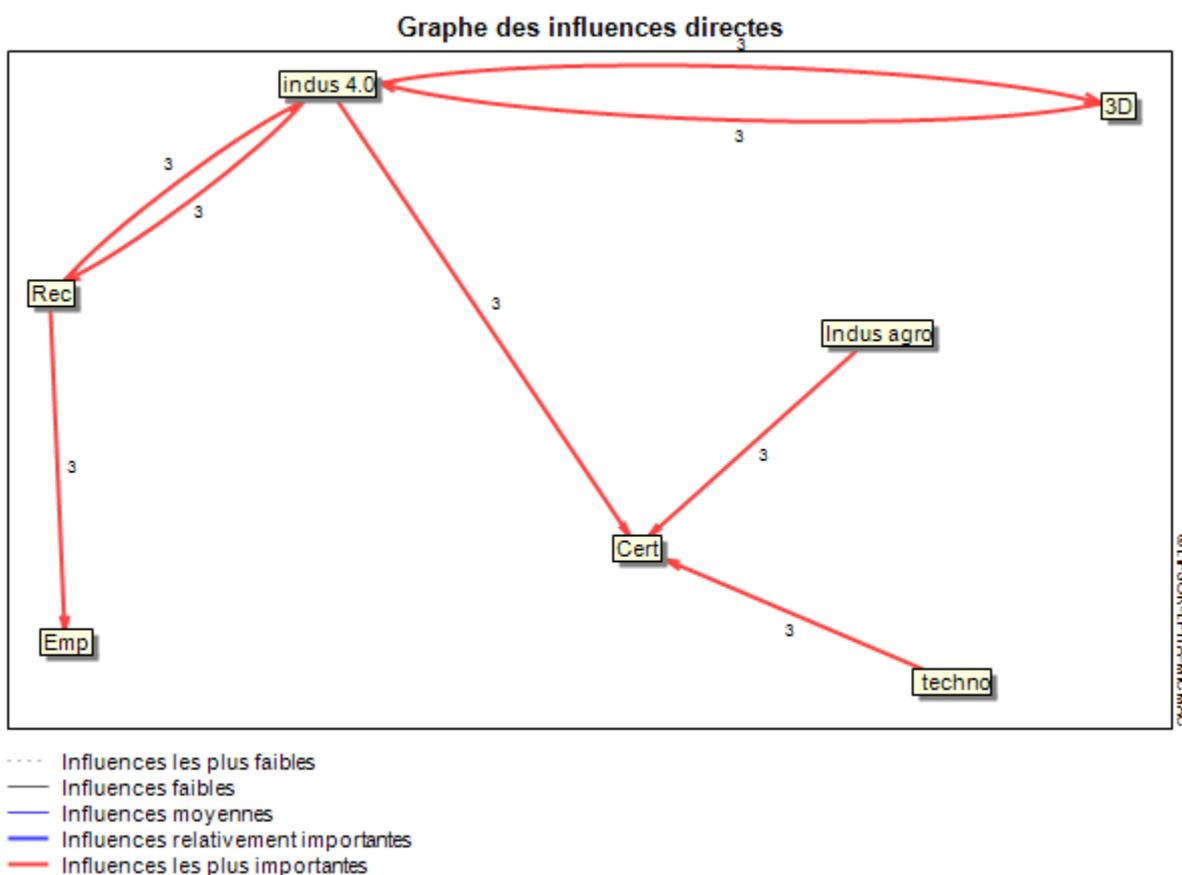


Figure 31: Graphe des influences directes

Le graphe précédent représente une sélection des influences directes. Nous pouvons constater une liaison directe et forte entre l’application industrie 4.0 et l’impression 3D . Cette liaison est logique car la fabrication additive regroupe les procédés de fabrication de pièces en volume par ajout de matière en couches successives depuis une modélisation 3D.

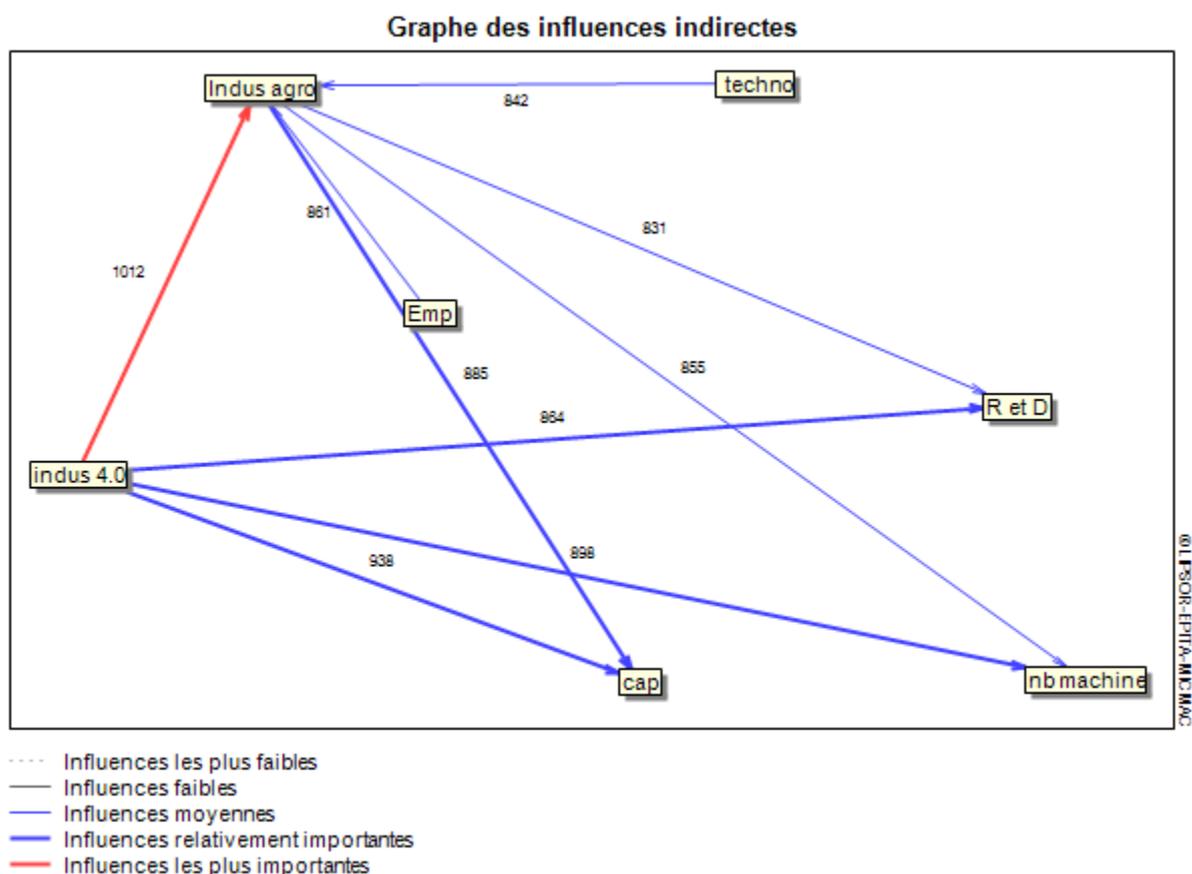


Figure 32: Graphe des influences indirectes

Dans la même sphère des influences directes, les influences indirectes ont une place importante dans la configuration stratégique de l'application de l'industrie 4.0 dans la société CAPTON. Les influences indirectes les plus importantes relient la stratégie industrie 4.0 avec le département R&D et la capacité (600 semoules et farine 390T/J) et nombre des machines équivalent à 350 machines.

❖ **SILO Electric :**

1. Electronique (elec)
2. Employés (empl)
3. Niveau TECHPAlogique (TECHPA)
4. Formation (forma)
5. Recrutement (recrutemen)
6. Maintenance (maint)
7. Indu 4.0 (4.0)
8. Financière (finance)

La société SILO Electric est basée à Tunis spécialisée en électronique. Dans l'étude de ce cas nous avons contacté B.Taieb le gérant de cette société.

Tableau 11: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
1	Electronique	21	21	1	42
7	Indu 4.0	21	21	1	42
6	Maintenance	20	19	1.05	39
3	Niveau TECHPAlogique	16	17	0.94	33
5	Recrutement	16	15	1.06	31
8	Financière	17	14	1.21	31
2	Employés	13	16	0.82	29
4	Formation	13	14	0.93	27
	Totaux	137	137		

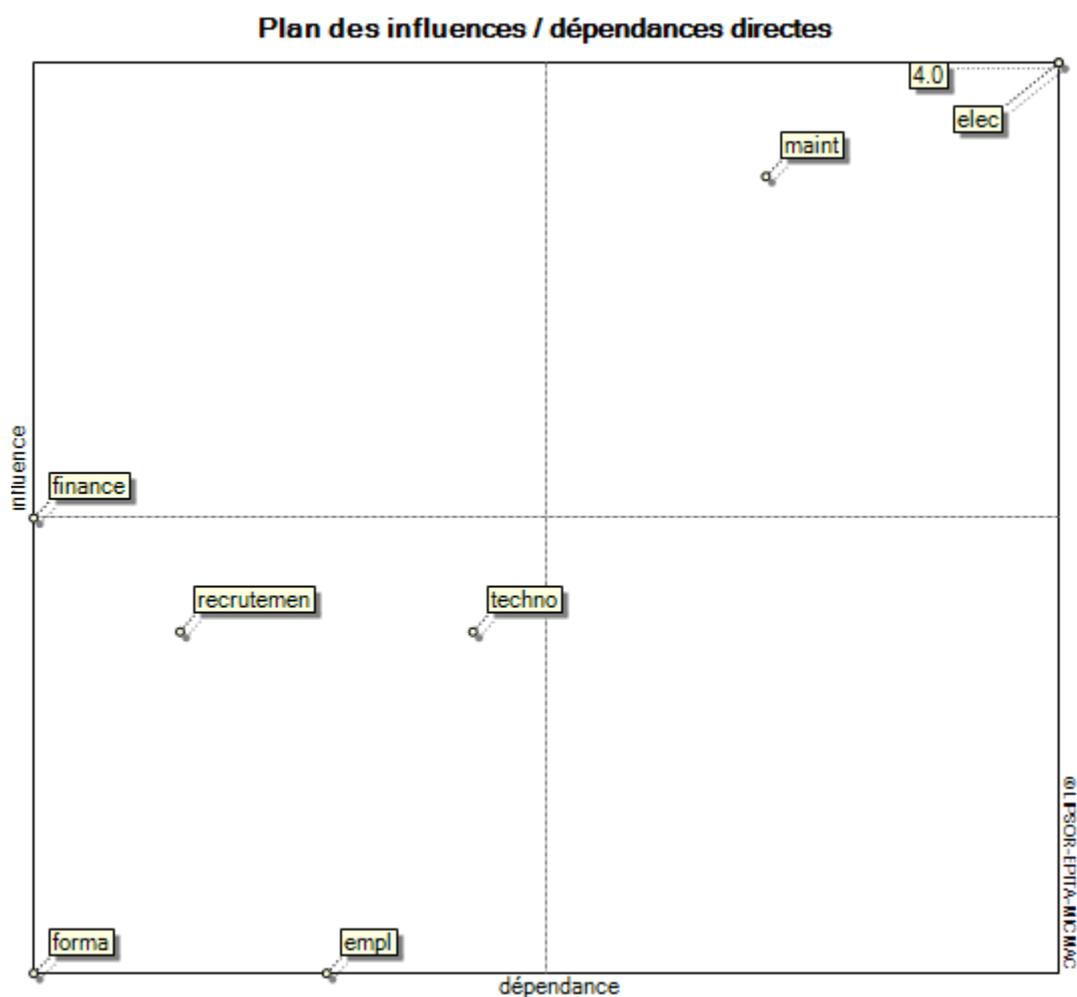


Figure 33: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas SILO electric

Dans la répartition des nuages de concept nous pouvons constater que le concept financement et la variable le plus influent et plus prépondérant. Dans ses affirmations B.Taieb a mis en accent la

volonté de la direction a consacré une allocation budgétaire afin de préparer le passage au l'industrie 4.0. Les graphes d'influences directes et indirectes permettent de décortiquer cette idée.

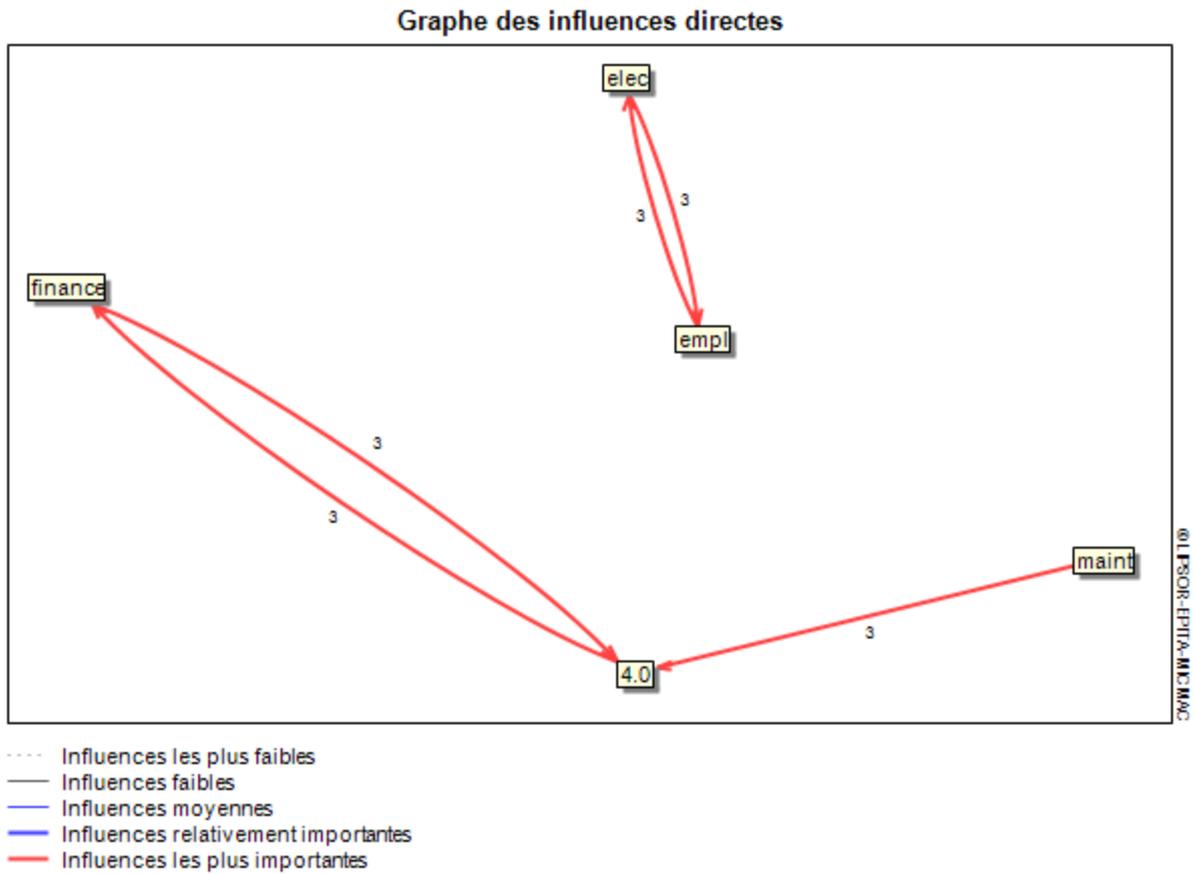


Figure 34: Graphe des influences directes

Le graphe précédent représente une sélection des influences directes. Nous pouvons constater une liaison directe et forte entre l'application industrie 4.0 et la maintenance ainsi entre l'application de l'industrie 4.0 et le financement.

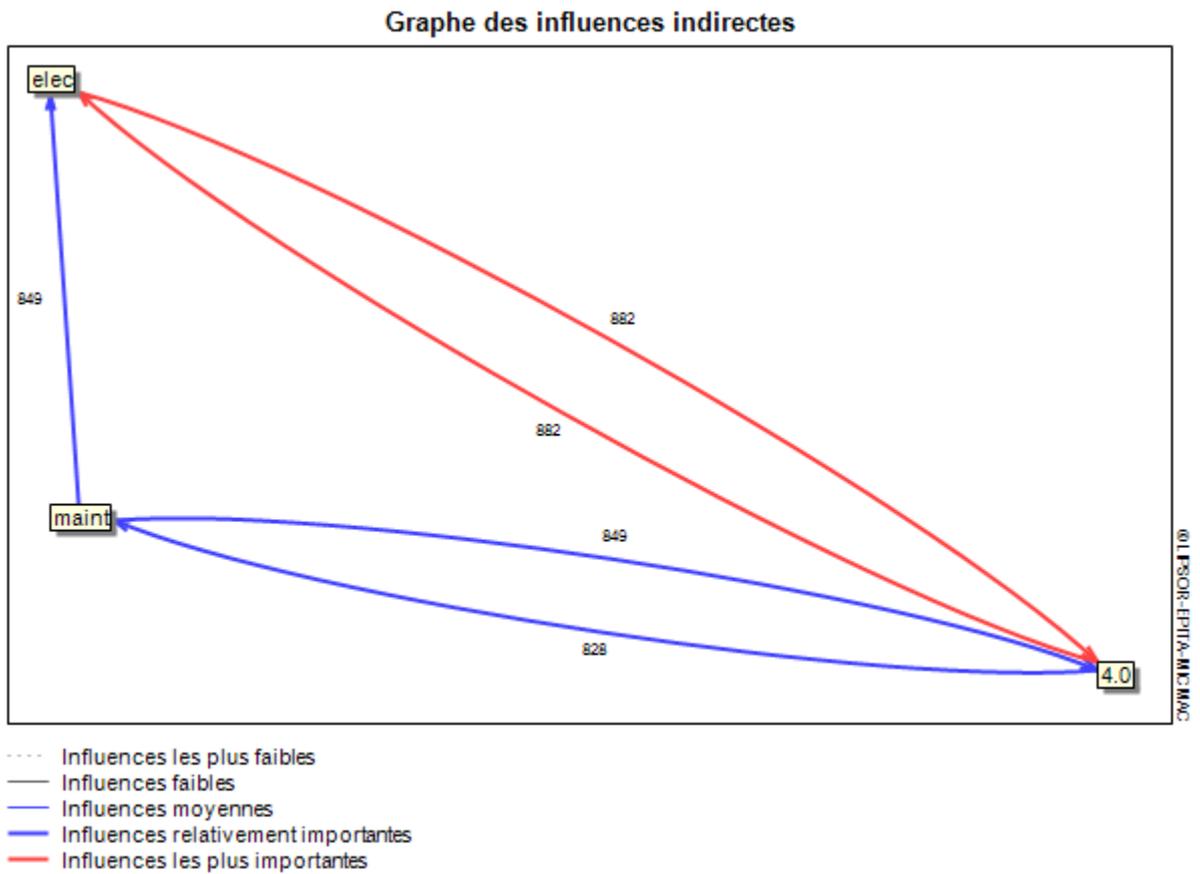


Figure 35: Graphe des influences indirectes

Dans la même sphère des influences directes, les influencent indirectes ont une place importante dans la configuration stratégique de l'application de l'industrie 4.0. L'influence indirecte le plus importante relie la stratégie industrie 4.0 avec la maintenance préventive.

❖ Cas récapitulatif

Tableau 12: Cartographie cognitive à travers le plan influences dépendances : cas récapitulatif

N°	VARIABLE	TOTAL DES LIGNES	TOTAL DES COLONNES	DEGRE D'INTERCONNEXION	POIDS DES CONCEPTS
2	Stratégie industrie 4.0	124	108	1,15	232
21	Employés	109	116	0,94	225
4	TECHPAlogie	107	98	1,09	205
3	Financement indu 4.0	56	48	1,16	104
7	Nombre de chaines de production	39	53	0,74	92
11	Formation périodique	32	46	0,69	78
10	Maintenance préventive	39	47	0,83	86
16	Capacité	33	35	0,94	68
1	Planification de la digitalisation	39	34	1,15	73
19	Recrutement	29	31	0,94	60
5	Quantité produite	29	31	0,94	60
6	Ecosystème	32	27	1,18	59
15	Département R & D	33	24	1,37	57
8	Amortissement matériaux	24	32	0,75	56
13	Impression 3D	25	30	0,83	55
9	Registre des maintenances	30	25	1,2	55
20	Maintenance	20	19	1,05	39
18	Certification	15	17	0,88	32
12	Amortissement matériaux	15	15	1	30
17	Entretien	14	15	0,93	29
14	Equipe de maintenance	7	17	0,41	24
	Totaux	851	868		

En se référant au tableau précédent nous pouvons constater qu'il y a une logique dominante dans l'étude de l'application de l'industrie 4.0. La stratégie en tant que telle est primordiale pour mobiliser et affecter les ressources et fixer les objectifs. Cette stratégie n'a pas un sens sans un capital humain dynamique, interactif et compétent. Le déploiement d'une stratégie industrie 4.0 est une approche globale définie au niveau hiérarchique supérieur et tend vers un axe temporel qui dépasse les 5 ans. Ce capital humain ne peut pas avancer sans TECHPAlogie. Dans nos entretiens

avec les cas de notre étude la TECHPALogie a été mentionnée à plusieurs reprises et de plusieurs façons. Chaque cas a sa propre configuration de la TECHPALogie. Cela est relatif aux secteurs, branches, écosystèmes, budget et l'implantation géographique de la société. La TECHPALogie est la dynamo de toute évolution industrielle car par nature elle est le résultat des processus de recherche et développement. Mais dans le tableau le département R & D n'a pas un grand poids comme concept d'une étude MICMAC. Ce constat est catégoriquement significatif car elle représente l'état de l'industrie tunisienne. Les centres de l'industrie 4.0 sont dans cette situation un refuge privilégié à nos sociétés puisqu'un département R&D nécessite des années de recherche et des ressources financières énormes pour proposer, appliquer et améliorer les innovations proposées. Dans ce cadre les centres de l'industrie 4.0 proposent une meilleure alternative pour identifier et appliquer les démarches stratégiques de l'industrie 4.0. Cela nous ramène à faire appeler le concept financement indu 4.0. Comme une variable indépendante cette variable représente l'ensemble des ressources financières et monétaires consacrés à l'application de l'industrie 4.0.

Bref, les variables les plus influentes et les prépondérantes de notre étude sont : la conception stratégique alimentée par des compétences qui maîtrisent et qui manipulent la TECHPALogie adéquate aux axes stratégiques dont on a consacré des budgets qui peuvent mobiliser les parties prenantes et achever les objectifs.

❖ Comparaison entre l'évaluation de l'application de l'industrie 4.0 en Tunisie et en Turquie

En se référant à une évaluation empirique de l'industrie 4.0 dans les entreprises turques élaboré par Hilmi Yüksel en 2020 on distingue que :

- La majorité des sociétés qui appliquent l'industrie 4.0 ou bien qui ont une stratégie d'appliquer cette révolution ont un département R&D.
- Le budget alloué à l'application de l'industrie 4.0 est plus élevé en Turquie qu'en Tunisie.
- Le niveau d'implémentation de TECHPALogie est plus élevé en Turquie qu'en Tunisie.
- D'après les deux études on peut affirmer que l'industrie 4.0 augmente la productivité et réduire les coûts.

3. Conclusion :

Dans ce dernier chapitre, l'objectif de la recherche était de présenter l'application de l'industrie 4.0 comme un modèle conceptuel et décisionnel. Dans ce chapitre, nous avons appliqué l'analyse descriptive et nous avons identifié les concepts et leurs influences sur l'application de l'industrie 4.0 par la technique de MICMAC pour vérifier les relations entre eux pour identifier

des axes stratégiques de l'industrie 4.0. Enfin nous avons construit des stratégies prospectives et des questions clés pour l'avenir

Conclusion générale

Dans ce rapport, nous avons mis l'accent sur le besoin en maintenance en Tunisie. Aujourd'hui, la maintenance est devenue une exigence et un défi mondial. Nous avons présenté notre méthodologie qui est composée d'un séquentiel de 5 étapes (1) La collection des données à travers des questionnaires élaborés dans le cadre du projet Européen Erasmus + SM-TMC (2) Analyse statistique descriptive à fin d'obtenir une vision globale sur notre échantillon (3) La troisième étape est consacrée à analyser spécifiquement les résultats des concepts des cas de notre échantillon. Nous obtenons donc des rapports dégagés par le MICMAC. (4) Proposer des recommandations. Conformément aux résultats de cette étude. Nous pouvons constater que l'application la maintenance et de l'industrie 4.0 doit être cadrée dans une vision globale attachée à la stratégie de l'organisation. Cette vision ne peut pas avancer sans un personnel qui est conscient par les spécificités techniques et organisationnelles de cette pratique. La stratégie globale est orientée par la capacité stratégique de l'organisation dont une partie est consacrée à l'application de l'industrie 4.0 et la maintenance 4.0. Un budget et des ressources financières importantes doivent être consacrées et débloquées afin d'alimenter le process d'application de l'industrie 4.0.

En Tunisie l'application de l'industrie 4.0 et des nouvelles technologies de maintenance ne manque pas de motivation ou d'engagement mais d'un déséquilibre de fonctionnement dans les écosystèmes particulièrement les écosystèmes d'innovation. Le projet SMTMC a un rôle primordial pour promouvoir cette pratique par la sélection et le développement des plateformes qui engagent les parties prenantes dans le développement de la maintenance et de l'industrie 4.0. La préparation d'un outil de veille stratégique qui évalue la participation et l'engagement des parties prenantes dans l'application de l'industrie est d'une nécessité vitale pour promouvoir cette pratique incontournable.