

**Léane TEXIER**  
**Lamine ZENATI**  
**GROUPE 1**

# **Rapport du projet d'ARO: Modélisation de cultures**

# SOMMAIRE

## **Première année :**

Maximisation du profit (Question 1).....	3
Maximisation des richesses (Question 2).....	5

## **Planification sur plusieurs années :**

Avec ajout d'engrais initial (Question 3).....	6
Sans ajout d'engrais initial (Question 4).....	10

## **Annexes :**

Annexe 1.....	11
Annexe 2.....	13
Annexe 3.....	15
Annexe 4.....	17

# Première année

## Maximisation du profit (Question 1):

Cette question a pour but de maximiser le profit, c'est-à-dire de maximiser l'argent gagné à la fin de la première année de culture.

Le code AMPL de cette question est disponible en Annexe 1.

Ce code contient 2 ensembles correspondant à l'ensemble des 7 parcelles (notées de A à G) sur lesquelles Bertrand cultive ses légumes et à l'ensemble des légumes (fruits, feuilles, racines, gousses, engrais verts) que Bertrand souhaite cultiver.

Les paramètres correspondent aux différentes informations données dans le sujet et rappelées dans les tableaux ci-dessous.

	rendement	prix_vente	besoin_richesse	apport_richesse
fruits	2.7	4.3	20.2	0
feuilles	2.6	1.2	10.1	0
racines	3.4	2.7	5.5	0
gousses	0.5	3.3	0	3.5
engrais Verts	0	0	0	25.8

*Tableau concernant les paramètres relatifs aux légumes*

paramètre	richesse_initiale
A	43.2
B	12.1
C	20.8
D	16.8
E	5.7
F	16.3
G	15.1

*Tableau concernant le paramètre relatif aux parcelles*

Une variable `est_affecte` dépendant du légume et de la parcelle est créée afin de savoir quel légume est planté sur quelle parcelle.

On impose comme contrainte que chaque parcelle ne peut contenir au maximum qu'un légume (`maximum_un_legume_par_parcelle`). Pour faire cela, nous faisons la somme des valeurs du tableau `est_affecte` pour chaque parcelle et nous vérifions que cela est bien inférieur à 1 qui est le nombre maximum de légume autorisé par parcelle.

On impose également que chaque légume doit au moins être planté une fois (`minimum_un_legume`). Nous avons donc vérifié que la somme des valeurs du tableau `est_affecte` pour chaque légume est bien supérieure à 1 qui est le nombre minimal de fois où le légume doit être planté.

Une contrainte `peut_contenir` est aussi créée afin de s'assurer que la parcelle a une richesse suffisante pour contenir le légume. Pour cela, nous vérifions que pour chaque parcelle et chaque légume, la parcelle a une richesse initiale assez importante après retrait des besoins en richesse du légume qu'on souhaite planter.

La formule permettant de maximiser le profit est calculé grâce à la variable `est_affecte` ainsi qu'au prix de vente et au rendement de chaque légume (\*1000 car le prix de vente est au kg, le rendement est par tonne et 1tonne = 1000 kg).

La résolution AMPL nous donne donc un profit de 46350€. Les légumes sont alors plantés de cette façon:

Parcelle	Légume planté
A	fruits
B	engraisVerts
C	fruits
D	feuilles
E	gousses
F	racines
G	racines

## Maximisation des richesses (Question 2) :

Cette question a pour but de maximiser la richesse totale de ces parcelles à la fin de la première année de culture.

Le code AMPL de cette question est disponible en Annexe 2.

Il est le même que celui à la question 1 excepté la formule de maximisation. Celle-ci est, en fait, calculé grâce à la variable `est_affecte` ainsi qu'à la `richesse_initiale` du sol, son `besoin_richesse` et son `apport_richesse`. En effet, nous calculons la valeur de la richesse du sol de chaque parcelle à la fin de l'année en fonction du légume qui a été planté sur cette parcelle.

La résolution AMPL nous donne une richesse totale des parcelles à la fin de cette année de 175,1. Les légumes sont alors plantés de cette façon:

Parcelle	Légume planté
A	engraisVerts
B	engraisVerts
C	fruits
D	engraisVerts
E	gousses
F	racines
G	feuilles

Les solutions de maximisation du profit (Q.1) et de maximisation de la richesse totale (Q.2) sont différentes. En effet, dans le premier cas on va chercher à planter le maximum de légumes rapportant le plus de profit. Tandis que dans le second cas, on va chercher à planter le maximum de légumes augmentant la richesse de la parcelle. De plus, on remarque que ceux qui rapportent le plus d'argent ne sont pas ceux qui augmentent le plus la richesse. Cela explique bien pourquoi dans les 2 cas les légumes plantés sont différents.

# Planification sur plusieurs années

## Avec ajout d'engrais initial (Question 3) :

Cette question a pour but de maximiser la richesse totale de ces parcelles à la fin des six années de culture suite à un apport initial d'engrais.

### Preuve qu'il est impératif de faire un apport initial d'engrais :

La preuve sera effectuée pour la parcelle E. En effet, pour cette parcelle on remarque qu'il est impératif de faire un apport d'engrais qu'importe la culture plantée la première année.

### Si on commence par planter des fruits :

Année	Plantation (suivant le cycle)	Richesse de la parcelle à la fin de l'année
0	////////	5,7
1	Fruits	-14,5

On voit bien que dès la première année, la richesse est négative et que ce n'est donc pas possible de commencer par les fruits.

### Si on commence par planter des feuilles :

Année	Plantation (suivant le cycle)	Richesse de la parcelle à la fin de l'année
0	////////	5,7
1	Feuilles	-4,4

On voit bien que dès la première année, la richesse est négative et que ce n'est donc pas possible de commencer par les feuilles.

### Si on commence par planter des racines :

Année	Plantation (suivant le cycle)	Richesse de la parcelle à la fin de l'année
0	////////	5,7
1	Racines	0,2
2	Gousses	3,7
3	Engrais verts	29,5
4	Fruits	9,3
5	Feuilles	-0,8

On voit bien qu'à la cinquième année, la richesse est négative et que ce n'est donc pas possible de commencer par les racines.

Si on commence par planter des gousses :

Année	Plantation (suivant le cycle)	Richesse de la parcelle à la fin de l'année
0	////////	5,7
1	Gousses	9,2
2	Engrais verts	35
3	Fruits	14,8
4	Feuilles	4,7
5	Racines	-0,8

On voit bien qu'à la cinquième année, la richesse est négative et que ce n'est donc pas possible de commencer par les gousses.

Si on commence par planter des engrais verts :

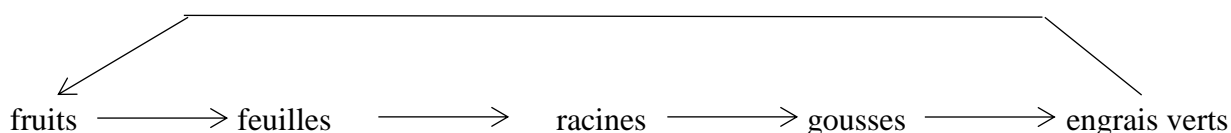
Année	Plantation (suivant le cycle)	Richesse de la parcelle à la fin de l'année
0	////////	5,7
1	Engrais verts	31,5
2	Fruits	11,3
3	Feuilles	1,2
4	Racines	-4,3

On voit bien qu'à la quatrième année, la richesse est négative et que ce n'est donc pas possible de commencer par les engrais verts.

- ⇒ Cela prouve bien que quel que soit la culture de départ sur la parcelle E, il n'est pas possible de suivre le cycle pendant 6 ans. Cela signifie donc qu'il est nécessaire de faire un apport initial en engrais pour augmenter la richesse initiale de la parcelle afin que le programme ait une solution.

Le code AMPL de cette question est disponible en Annexe 3.

Les paramètres ainsi que les ensembles des questions présentes sont repris. A cela, est ajouté un paramètre N (initialisé à 6) correspondant au nombre d'années durant lesquelles on souhaite faire des cultures. Grâce à cela, deux ensembles définissant les années sont définis (un commençant à l'année 0 et l'autre commençant à l'année 1). Un paramètre (kilos\_engrais initialisé à 500) permettant de représenter les kilos d'engrais disponibles avant le début de la première année est défini. L'ensemble des LEGUMES est transformé en un ensemble circulaire afin de suivre le cycle imposé par Bertrand.



La variable `est_affecte` dépend toujours des légumes et des parcelles et maintenant également des années. Cela nous permet donc de savoir quel légume est planté sur chaque parcelle chaque année.

De nouvelles variables sont définies. La variable `minimum_richesse` est définie afin de calculer la richesse minimum des parcelles. La variable `richesse_parcelle_annee` dépendant des années (année 0 contenue) et des parcelles permet de savoir la richesse de la parcelle à la fin de chaque année. La variable `ajout_engrais` dépendant des parcelles représente les kilos d'engrais ajoutés afin d'augmenter la richesse des parcelles avant la première culture.

Les contraintes (`minimum_un_legume` et `peut_contenir`) sont gardées mais adaptées pour que cela convienne à chaque année. On impose que chaque parcelle doit être cultivée chaque année (exactement\_un\_legume\_par\_parcelle). On vérifie donc que la somme des valeurs du tableau `est_affecte` pour chaque parcelle est bien égale à 1 qui est le nombre de légume devant être planté sur chaque parcelle.

On fait également attention à ce que la somme des kilos d'engrais ajoutée sur chaque parcelle avant la première culture soit bien inférieure ou égale au nombre de kilos d'engrais disponible.

Les contraintes `richesse_annee` et `richesse_annee_zero` permettent de calculer les richesses des parcelles à la fin de chaque année. La contrainte `richesse_annee_zero` est calculée grâce à l'addition de la richesse initiale et des kilos d'engrais ajoutés avant la première plantation multipliés par 0,1 étant donné que chaque kilo d'engrais ajouté augmente la richesse du sol de 0,1. La contrainte `richesse_annee` est calculée grâce à la richesse de l'année précédente et au légume planté qui ajoute ou retire de la richesse à la parcelle en fonction du légume.

La contrainte de cycle permet de s'assurer que les légumes sont bien plantés suivant le cycle défini par Bertrand, c'est-à-dire que le légume planté à l'année  $a$  est bien le légume qui précède celui planté à l'année  $a+1$ .

La contrainte `est_minimum_richesse` permet de sélectionner la richesse de la parcelle ayant la plus petite richesse à la fin des N années pour ensuite la maximiser.



Suite à la résolution AMPL de ce problème, on a une maximisation du minimum des richesses au bout des 6 ans égale à 5,56. Les légumes sont alors plantés de cette façon:

Parcelle	Légume planté année 1	Légume planté année 2	Légume planté année 3	Légume planté année 4	Légume planté année 5	Légume planté année 6
A	fruits	feuilles	racines	gousses	engraisVerts	fruits
B	engraisVerts	fruits	feuilles	racines	gousses	engraisVerts
C	feuilles	racines	gousses	engraisVerts	fruits	feuilles
D	racines	gousses	engraisVerts	fruits	feuilles	racines
E	gousses	engraisVerts	fruits	feuilles	racines	gousses
F	gousses	engraisVerts	fruits	feuilles	racines	gousses
G	gousses	engraisVerts	fruits	feuilles	racines	gousses

Les parcelles ont une richesse à la fin de chaque année définie dans le tableau suivant:

	A	B	C	D	E	F	G
0	43.2	12.1	22.16	17.56	8.56	16.32	15.1
1	23	37.9	12.06	12.06	12.06	19.82	18.6
2	12.9	17.7	6.56	15.56	37.86	45.62	44.4
3	7.4	7.6	10.06	41.36	17.66	25.42	24.2
4	10.9	2.1	35.86	21.16	7.56	15.32	14.1
5	36.7	5.6	15.66	11.06	2.06	9.82	8.6
6	16.5	31.4	5.56	5.56	5.56	13.32	12.1

## Sans ajout d'engrais initial (Question 4) :

Cette question a pour but de maximiser la richesse totale de ces parcelles à la fin des six années de culture (sans apport initial d'engrais).

Nous n'avons pas réussi cette question malgré différentes idées testées. Nous vous mettons tout de même l'idée que nous avons eu qui nous semble la plus proche de la solution mais qui ne convient pas au langage AMPL du fait que celui-ci n'accepte pas le « ou ».

Pour cette question, nous nous sommes basés sur la question 3 en enlevant l'apport d'engrais initial. Nous avons créé 2 nouveaux sous-ensembles circulaires permettant de mettre d'un côté les engrais verts et de l'autre tous les autres légumes que Bertrand souhaite cultiver. Cela permet alors de créer 2 contraintes correspondant aux 2 cycles différents. Le premier (cycle) vérifie que pour tous les légumes autres que les engrais verts, le légume précédent est bien conforme au cycle de Bertrand. Le deuxième (cycle 2) vérifie que, pour les engrais verts, le légume précédent est bien soit les engrais verts soit le légume précédent suivant le cycle (=gousses).

# Annexes

## Annexe 1 :

set PARCELLES;

set LEGUMES;

/\* Paramètres concernant les légumes \*/

param rendement{LEGUMES} >= 0; /\* tonne/parcelle/an \*/

param prix\_vente{LEGUMES} >= 0; /\* €/kg \*/

param besoin\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* besoin par an \*/

param apport\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* apport en richesse par an \*/

/\* Paramètre concernant les parcelles \*/

param richesse\_initiale{PARCELLES} >= 0;

/\* Variable permettant de savoir quel légume a été affecté suivant la parcelle \*/

var est\_affecte{LEGUMES,PARCELLES} binary;

/\* Contrainte pour savoir si un légume peut être cultivé sur la parcelle \*/

subject to peut\_contenir{p in PARCELLES, l in LEGUMES} :  
(richesse\_initiale[p]-besoin\_richesse[l]\*est\_affecte[l,p]) >= 0;

/\* Contrainte indiquant qu'une parcelle peut contenir au maximum un légume \*/

subject to maximum\_un\_legume\_par\_parcelle {p in PARCELLES} :  
sum {l in LEGUMES} est\_affecte[l,p] <= 1;

/\* Contrainte indiquant que chaque légume doit être cultivé au moins une fois \*/

subject to minimum\_un\_legume {l in LEGUMES} :  
sum {p in PARCELLES} est\_affecte[l,p] >= 1;

/\* Maximisation du profit \*/

maximize profit :

sum {l in LEGUMES, p in PARCELLES} (est\_affecte[l,p]\*prix\_vente[l]\*1000\*rendement[l]);

/\* Données connues \*/

data;

set PARCELLES:= A B C D E F G;

set LEGUMES:= fruits feuilles racines gousses engraisVerts;

param:	rendement	prix_vente	besoin_richesse	apport_richesse:=
fruits	2.7	4.3	20.2	0
feuilles	2.6	1.2	10.1	0
racines	3.4	2.7	5.5	0
gousses	0.5	3.3	0	3.5
engraisVerts	0	0	0	25.8;

```
param: richesse_initiale:=  
A      43.2  
B      12.1  
C      20.8  
D      16.8  
E      5.7  
F      16.3  
G      15.1;  
  
/* Résolution */  
option solver gurobi;  
solve;  
display est_affecte, profit;
```

## Annexe 2 :

set PARCELLES;

set LEGUMES;

/\* Paramètres concernant les légumes \*/

param rendement{LEGUMES} >= 0; /\* tonne/parcelle/an \*/

param prix\_vente{LEGUMES} >= 0; /\* €/kg \*/

param besoin\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* besoin par an \*/

param apport\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* apport en richesse par an \*/

/\* Paramètre concernant les parcelles \*/

param richesse\_initiale{PARCELLES} >= 0;

/\* Variable permettant de savoir quel légume a été affecté suivant la parcelle \*/

var est\_affecte{LEGUMES,PARCELLES} binary;

/\* Contrainte pour savoir si un légume peut être cultivé sur la parcelle \*/

subject to peut\_contenir{p in PARCELLES, l in LEGUMES} :  
(richesse\_initiale[p]-besoin\_richesse[l]\*est\_affecte[l,p]) >= 0;

/\* Contrainte indiquant qu'une parcelle peut contenir au maximum un légume \*/

subject to maximum\_un\_legume\_par\_parcelle {p in PARCELLES} :  
sum {l in LEGUMES} est\_affecte[l,p] <= 1;

/\* Contrainte indiquant que chaque légume doit être cultivé au moins une fois \*/

subject to minimum\_un\_legume {l in LEGUMES} :  
sum {p in PARCELLES} est\_affecte[l,p] >= 1;

/\* Maximisation de la richesse des parcelles \*/

maximize richesse\_parcelle :

sum {l in LEGUMES, p in PARCELLES} (est\_affecte[l,p]\*(richesse\_initiale[p]-  
besoin\_richesse[l]+apport\_richesse[l]));

/\* Données connues \*/

data;

set PARCELLES:= A B C D E F G;

set LEGUMES:= fruits feuilles racines gousses engraisVerts;

param:	rendement	prix_vente	besoin_richesse	apport_richesse:=
fruits	2.7	4.3	20.2	0
feuilles	2.6	1.2	10.1	0
racines	3.4	2.7	5.5	0
gousses	0.5	3.3	0	3.5
engraisVerts	0	0	0	25.8;

```
param: richesse_initiale:=
```

```
A      43.2
```

```
B      12.1
```

```
C      20.8
```

```
D      16.8
```

```
E       5.7
```

```
F      16.3
```

```
G      15.1;
```

```
/* Résolution */
```

```
option solver gurobi;
```

```
solve;
```

```
display est_affecte, richesse_parcelle;
```

## Annexe 3 :

set PARCELLES;  
set LEGUMES circular;

/\* Paramètre et ensembles concernant les années \*/

param N integer>=0;  
set ANNEES:= 1 .. N;  
set ANNEES\_DONT\_0:= 0 .. N;

/\* Paramètres concernant les légumes \*/

param rendement{LEGUMES} >= 0; /\* tonne/parcelle/an \*/  
param prix\_vente{LEGUMES} >= 0; /\* €/kg \*/  
param besoin\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* besoin par an \*/  
param apport\_richesse{LEGUMES} >= 0; /\* apport en richesse par an \*/

/\* Paramètre concernant les parcelles \*/

param richesse\_initiale{PARCELLES} >= 0;

/\* Paramètre concernant l'ajout d'engrais initial aux parcelles \*/

param kilos\_engrais >=0;

/\* Variable permettant de savoir quel légume a été affecté suivant la parcelle \*/

var est\_affecte{LEGUMES, PARCELLES, ANNEES} binary;

/\* Variable du minimum des richesses \*/

var minimum\_richesse >= 0;

/\* Variable permettant de savoir la richesse de la parcelle en fin d'année\*/

var richesse\_parcelle\_annee{ANNEES\_DONT\_0,PARCELLES} >=0;

/\* Variable permettant de savoir le nombre de kilos d'engrais ajouté à chaque parcelle \*/

var ajout\_engrais{PARCELLES} integer>= 0;

/\* Contrainte pour savoir si un légume peut être cultivé sur la parcelle \*/

subject to peut\_contenir{p in PARCELLES, l in LEGUMES, a in ANNEES} :  
    (richesse\_parcelle\_annee[a-1,p]-besoin\_richesse[l]\*est\_affecte[l,p,a]) >= 0;

/\* Contrainte indiquant qu'une parcelle contient un unique légume \*/

subject to exactement\_un\_legume\_par\_parcelle {p in PARCELLES,a in ANNEES} :  
    sum {l in LEGUMES} est\_affecte[l,p,a] = 1;

/\* Contrainte indiquant que chaque légume doit être cultivé au moins une fois \*/

subject to minimum\_un\_legume {l in LEGUMES,a in ANNEES} :  
    sum {p in PARCELLES} est\_affecte[l,p,a] >= 1;

/\* Ajout maximal de kilos\_engrais de kilos d'engrais sur les parcelles \*/

subject to ajout\_engrais\_parcelle :  
    sum {p in PARCELLES} ajout\_engrais[p] <= kilos\_engrais;

/\* Calcul de la richesse au début (avant les premières plantations) après l'apport en engrais\*/

subject to richesse\_annee\_zero{p in PARCELLES} :  
    richesse\_parcelle\_annee[0,p] = richesse\_initiale[p]+(ajout\_engrais[p]\*0.01);

```

/*Calcul de la richesse du sol en fin d'année à partir de la première année de plantation*/
subject to richesse_annee{p in PARCELLES , a in ANNEES} :
    richesse_parcelle_annee[a,p] = sum{l in LEGUMES}(est_affecte[l,p,a]*(apport_richesse[l]-
besoin_richesse[l]))+richesse_parcelle_annee[a-1,p];

/* Calcul du minimum des richesses à la fin des N années */
subject to est_minimum_richesse{p in PARCELLES} :
    minimum_richesse <= richesse_parcelle_annee[N,p];

/* Verification que cela fait bien un cycle*/
subject to cycle{l in LEGUMES, p in PARCELLES , a in 1..N-1}:
    est_affecte[l,p,a+1] = est_affecte[prev(l),p,a];

/* Maximisation du minimum des richesses */
maximize minimum_richesse_derniere_annee :
    minimum_richesse;

/* Données connues */
data;
set PARCELLES:= A B C D E F G;
set LEGUMES := fruits feuilles racines gousses engraisVerts;
param N:= 6;
param kilos_engrais:=500;

param:          rendement    prix_vente    besoin_richesse    apport_richesse:=
fruits          2.7          4.3          20.2          0
feuilles        2.6          1.2          10.1          0
racines         3.4          2.7          5.5          0
gousses         0.5          3.3          0            3.5
engraisVerts    0            0            0            25.8;

param: richesse_initiale:=
A            43.2
B            12.1
C            20.8
D            16.8
E            5.7
F            16.3
G            15.1;

/* Résolution */
option solver gurobi;
solve;
display richesse_parcelle_annee, minimum_richesse;

```



## Annexe 4 :

```
set PARCELLES;  
set LEGUMES circular;  
set LEG circular;  
set ENG circular;
```

```
/* Paramètre et ensembles concernant les années */  
param N integer>=0;  
set ANNEES:= 1 .. N;  
set ANNEES_DONT_0:= 0 .. N;
```

```
/* Paramètres concernant les légumes */  
param rendement{LEGUMES} >= 0; /* tonne/parcelle/an */  
param prix_vente{LEGUMES} >= 0; /* €/kg */  
param besoin_richesse{LEGUMES} >= 0; /* besoin par an */  
param apport_richesse{LEGUMES} >= 0; /* apport en richesse par an */
```

```
/* Paramètre concernant les parcelles */  
param richesse_initiale{PARCELLES} >= 0;
```

```
/* Variable permettant de savoir quel légume a été affecté suivant la parcelle */  
var est_affecte{LEGUMES, PARCELLES, ANNEES} binary;  
/* Variable du minimum des richesses */  
var minimum_richesse >= 0;  
/* Variable permettant de savoir la richesse de la parcelle en fin d'année*/  
var richesse_parcelle_annee{ANNEES_DONT_0,PARCELLES} >=0;
```

```
/* Contrainte pour savoir si un légume peut être cultivé sur la parcelle */  
subject to peut_contenir{p in PARCELLES, l in LEGUMES, a in ANNEES}:  
    (richesse_parcelle_annee[a-1,p]-besoin_richesse[l]*est_affecte[l,p,a]) >= 0;
```

```
/* Contrainte indiquant qu'une parcelle contient un unique légume */  
subject to exactement_un_legume_par_parcelle {p in PARCELLES,a in ANNEES} :  
    sum {l in LEGUMES} est_affecte[l,p,a] = 1;
```

```
/* Contrainte indiquant que chaque légume doit être cultivé au moins une fois */  
subject to minimum_un_legume {l in LEGUMES,a in ANNEES} :  
    sum {p in PARCELLES} est_affecte[l,p,a] >= 1;
```

```
/* Calcul de la richesse au début (avant les premières plantations) après l'apport en engrais*/  
subject to richesse_annee_zero{p in PARCELLES}:  
    richesse_parcelle_annee[0,p] = richesse_initiale[p];
```

```
/*Calcul de la richesse du sol en fin d'année à partir de la première année de plantation*/  
subject to richesse_annee{p in PARCELLES , a in ANNEES} :  
    richesse_parcelle_annee[a,p] = sum{l in LEGUMES}(est_affecte[l,p,a]*(apport_richesse[l]-  
    besoin_richesse[l]))+richesse_parcelle_annee[a-1,p];
```

```

/* Calcul du minimum des richesses à la fin des N années */
subject to est_minimum_richesse{p in PARCELLES} :
    minimum_richesse <= richesse_parcelle_annee[N,p];

/* Verification que cela fait bien un cycle pour les légumes autres que les engraisVerts*/
subject to cycle{1 in LEG, p in PARCELLES , a in 1..N-1}:
    est_affecte[l,p,a+1] = est_affecte[prev(1,LEGUMES),p,a];

/* Verification que cela fait bien l'un des cycles pour les engraisVerts*/
subject to cycle2{1 in ENG, p in PARCELLES , a in 1..N-1}:
    est_affecte[l,p,a+1] = est_affecte[prev(1,ENG),p,a] /*or
    est_affecte[l,p,a+1] = est_affecte[prev(1,LEGUMES),p,a]*/;

/* Maximisation du minimum des richesses */
maximize minimum_richesse_derniere_annee :
    minimum_richesse;

/* Données connues */
data;
set PARCELLES := A B C D E F G;
set LEGUMES := fruits feuilles racines gousses engraisVerts;
set LEG := fruits feuilles racines gousses;
set ENG := engraisVerts;
param N := 6;

param:          rendement    prix_vente    besoin_richesse    apport_richesse:=
fruits          2.7          4.3          20.2          0
feuilles        2.6          1.2          10.1          0
racines         3.4          2.7          5.5          0
gousses         0.5          3.3          0            3.5
engraisVerts    0            0            0            25.8;

param: richesse_initiale:=
A            43.2
B            12.1
C            20.8
D            16.8
E            5.7
F            16.3
G            15.1;

/* Résolution */
option solver gurobi;
solve;
display richesse_parcelle_annee, minimum_richesse;

```