

PROJET D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE TERRITORIALE

« La symbiose du territoire du SIPHEM »

Conférence organisée par le SIPHEM :

« les énergies renouvelables, nouveau moteur du développement des territoires ruraux »

19 novembre 2024, La Réole

Michel FEYRIT, GAREP

Groupe Aquitain de Recherche en Economie Prospective (GAREP)

Association de recherche regroupant :

- des chercheurs – citoyens
- des citoyens – chercheurs

Activités :

- Travaux sur les possibilités de **réorientation sociétale**, et sur les instruments et outils permettant de les étudier
- Développement d'un **modèle macro-économique de prospective** (le modèle ATHEMA *) et ses suites (CNRS)

- concept de « **prospective libre** » (P. Courrège, CNRS)
- **bioéconomie** (Georgescu – Roegen)
- **économie physique** (Koopmans – Kantorovitch)
- travaux sur **l'économie stationnaire** (Herman Daly)
- études sectorielles (énergie, ressources naturelles, ...)
- **catalogue des ressources du territoire (en préparation)**

- (*) le modèle ATHEMA a été créé au sein du laboratoire mixte PIRDES du CNRS

PROJET D'ÉCOLOGIE INDUSTRIELLE TERRITORIALE

« La symbiose du territoire du SIPHEM »

Sommaire :

- **1 - Situation actuelle , consommations et dépendance énergétique (4 à 6)**
- **2 - Exemple d'un scénario prospectif :**
 - politique énergétique, objectifs, hypothèses, limites (7 à 11)
 - ressources locales et lot de technologies disponibles (12 à 16)
 - zoom sur l'électricité et la mobilité électrique (17 à 20)
 - synthèse des résultats du scénario 1 - a (21 à 22)
- **3 - Autonomie territoriale : un projet **d'écologie industrielle territoriale intégré****
 - Objectifs et conditions d'une politique énergétique territoriale ambitieuse (23 à 24)
 - Projet bioéconomie et symbiose territoriale (25 à 33)

Situation actuelle : un territoire très peu autonome en énergie

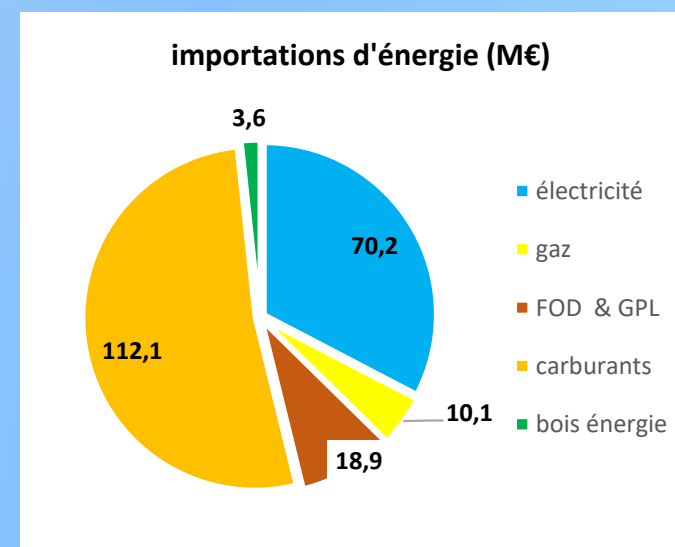
BILAN PHYSIQUE / BALANCE COMMERCIALE DE L'ENERGIE DU TERRITOIRE DU SIPHEM						
	consommations endogènes		dont importations			
	MWh	%	MWh	autonomie %	M€	% import
électricité	330020	22,4%	296449	10,2%	70,16	32,6%
gaz méthane	112788	7,7%	84107	25,4%	10,13	4,7%
fioul domestique	123124	8,4%	123124	0%	14,37	6,7%
GPL	28621	1,9%	28621	0%	4,57	2,1%
carburants	582448	39,5%	582448	0%	105,08	48,9%
GNR	67223	4,6%	67223	0%	7,04	3,3%
bois énergie	228733	15,5%	36482	84,1%	3,620	1,7%
total	1472957	100%	1218454	17,3%	214,97	100,0%
émissions de GES (t CO2 équiv)	263 326					

Consommations endogènes : strictement propres au territoire ; sont exclues les consommations de :

- véhicules en transit sur l'autoroute
- trafic ferroviaire en transit (90% du total)
- station de compression du gazoduc Terega

NB : montant des importations = somme des montants :

- ttc pour les consommateurs finaux
- + montants hors tva pour les entreprises



Situation actuelle : un territoire très peu autonome en énergie

1 – importance des consommations : le territoire du SIPHEM consomme **1 472 957 MWh/an** d'énergie = équivalent de **126 651 tonnes** de fioul = « mur » de cuves de fioul de **126,6 kms...**

2 – une « facture » totale d'énergie de **232 M€** qui pèse sur les ménages, les entreprises, les collectivités... ; **232 M€** = revenu médian disponible annuel **de 11 200 personnes**

3 – forte dépendance énergétique : il **importe 83 %** de l'énergie qu'il consomme : donc très faible maîtrise de ses approvisionnements

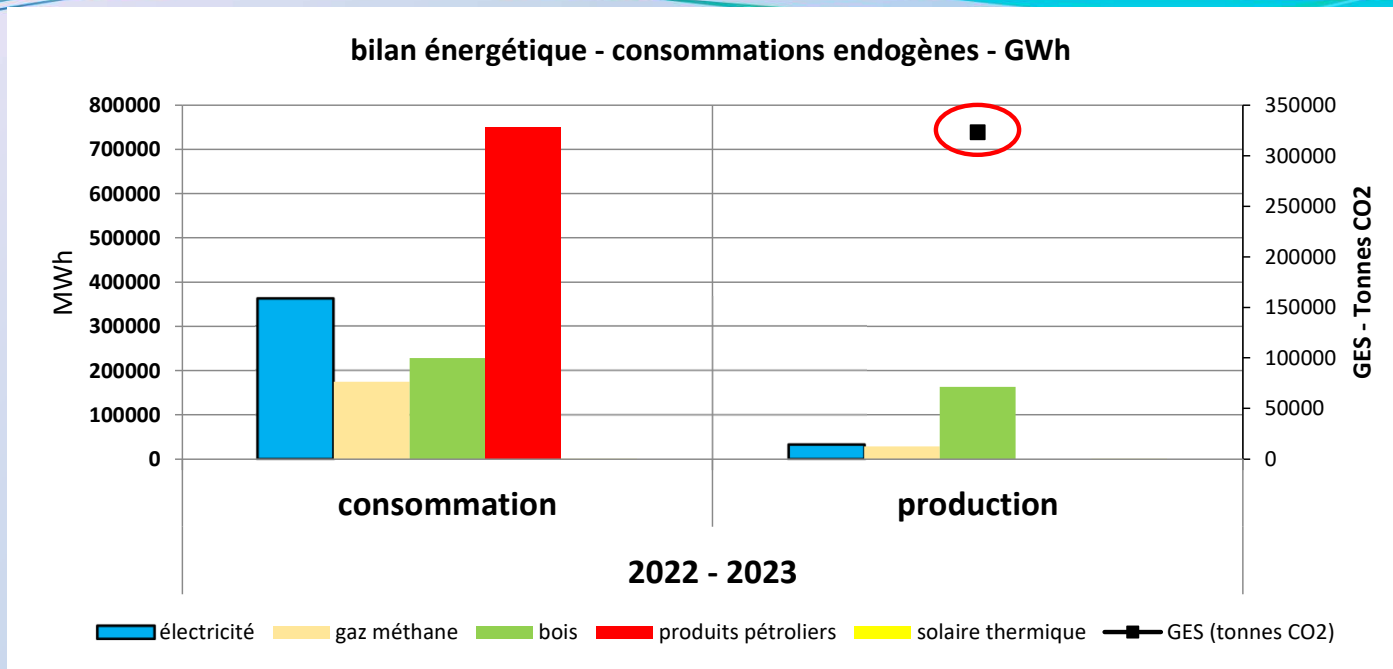
4 – des importations d'énergie très couteuses : **215 M€** en 2023 (> **17 % PIB local**) ;

* poids énorme des carburants (≈ 49 %)

* poids important de l'électricité (≈ 32 %)

5 – impact environnemental : ces énergies consommées émettent **263 326 t CO₂**

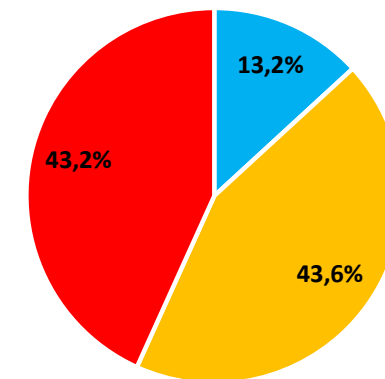
Situation actuelle



BESOINS en énergie classés en 3 USAGES :

- électricité spécifique (éclairage, moteurs , électronique,...)
- chaleur (chauffage locaux, eau chaude, cuisson , fours industriels,...)
- mobilité (transport, traction)

bilan suivant les 3 usages de l'énergie (%)



■ électricité spécifique ■ chaleur ■ transport mobilité - traction

Éléments d'une politique énergétique territoriale

- pour réduire cette très forte dépendance,
- pour un développement économique plus autonome
- pour participer à la lutte contre le changement climatique
- pour participer aux objectifs gouvernementaux de « transition écologique »

→ 2 leviers :

- Agir sur la demande : **faire baisser les consommations** : programme d'économies d'énergie (cf SIPHEM, ADEME, CD 33, Région NA...)

- Agir sur l'offre : **produire localement** l'énergie dont nous avons besoin . Cette production **doit être massive** pour être efficace du point de vue économique

Autonomie territoriale : objectifs et conditions

- Postulat de base :

L'autonomie énergétique est **techniquement et économiquement possible** pour les territoires ruraux développés, sans aucun « effondrement » (travaux antérieurs du GAREP avec le modèle ATHEMA)

- Corollaire : il faut un **programme massif**, seul capable de répondre aux enjeux

- Objectifs :

- **autonomie** énergétique à terme ;
- **maîtrise territoriale** des projets ;
- **bénéfices macroéconomiques pour le territoire** (forte réduction des importations coûteuses)
- **environnement** : forte réduction des GES

- Contraintes :

- **intermittence** de certaines énergies renouvelables (PV, éolien,...)
- **investissements (lourds)**
- autres secteurs économiques à considérer : (**ressource en eau** – irrigation, **mutation d'une partie du vignoble**, ...)
- **pauvreté** (16,9 % des ménages = 4250 ménages)

Un scénario vers l'autonomie : les hypothèses techniques et socio - économiques

Jeu d'hypothèses du GAREP pour ce travail :

- Population : de 24000 en 2022 à 26460 en 2045 (+ 10%)
- Niveau de vie 2045 = 2022 : économies « techniques » d'énergie → aucune restriction (en particulier sur la mobilité)
- consommations endogènes (= propres au territoire : sans l'autoroute, ni autres exogènes)
- économies d'énergie moyenne dans les bâtiments limitées à 35 % (hypothèse ANAH actuelle) ; mais il faudra rénover au moins 500 logements /an, contre 100/an aujourd'hui !
- mutation du chauffage électrique vers les pompes à chaleur (consommation divisée par 3)
→ cette économie d'électricité permet d'alimenter la moitié du parc de véhicules électriques en 2045

NB : le scénario présenté n'est qu'un exemple, parmi bien d'autres possibilités !

Un scénario vers l'autonomie : les hypothèses techniques et socio - économiques

Jeu d'hypothèses du GAREP pour ce travail (suite) :

- réseaux d'irrigation : multipliés par 3
- **mutation complète des transports routiers et des engins agricoles :**
 - Voitures et utilitaires légers : 90 % électricité ; 10 % biométhane
 - Poids lourds : 100% biométhane (discutable)
 - Tracteurs agricoles et EMNR : 20 % électricité ; 80 % biométhane
- fort développement du solaire thermique (eau chaude sanitaire, chauffage, process industriels)
- fort développement des réseaux de chaleur
- fort développement de la méthanisation
- développement des combustibles bois (plaquettes, granulés) remplaçant progressivement les bûches
- fort développement du solaire photovoltaïque (alternatives partielles ou mix avec éolien ; hydroélectricité,...)

NB : le scénario présenté n'est qu'un exemple, parmi **bien d'autres possibilités !**

Un scénario vers l'autonomie : limites de l'exercice

- ce travail n'est issu que du GAREP (avec des données du SIPHEM et de l'ALEC), alors qu'il devrait **résulter d'une large concertation**
- il a donc un caractère « technocratique » → **à corriger** par la concertation
- il vise l'autonomie énergétique totale , ce qui n'est pas « raisonnable »
- le terme de 20 ans est probablement optimiste
- la question de **l'intermittence du PV** n'est pas encore traitée dans cette version (prévue en 2025)
- il n'est pas actuellement complet ; il manque **l'étude économique** (printemps 2025):
 - investissements (lourds)
 - amortissements
 - taux de rentabilité interne
 - coûts de production des énergies locales (LCOE)
 - prix des énergies livrées aux consommateurs
 - partage local de la valeur
- Mais ce n'est qu'un **exercice prospectif**, permettant :
 - d'éclairer les possibilités offertes par les ressources locales
 - de déjouer les fausses informations
 - de fournir des ordres de grandeur réalistes (par exemple sur les surfaces de sol)
- « techno », oui ; « crate », non (le GAREP n'a aucun pouvoir !)

Un scénario vers l'autonomie : le territoire et ses ressources

Territoire SIPHEM - données recensements RP et RGA 2020, et données SIPHEM											
	population	logements	conso élec endogène	surface territoire	Sols forestiers	dont peupleraie	SAU	vignes	céréales	oléagineux	UGB bovins
	hab	nb	MWh	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	nb
TOTAL SIPHEM	56191	24738	330021	137680	72145	1702	47711	20991	7782	3012	9512

1 MWh = 1000 kWh =

- 5880 kms en « Zoé » ;
- 100 litres de fioul ou de gazole ;
- chauffage annuel de 7,8 m² d'un logement moyen du SIPHEM

évaluation du potentiel des énergies renouvelables (territoire du SIPHEM)					
		théorique	réaliste	scénario 1	souhaitable
		MWh	MWh	MWh	MWh
électricité	Photovoltaïque	>> 5 000 000	2 000 000	596 211	?
	éolien	>> 1000 000	227 000	0	?
	hydro-élec	> 200 000	100 000	0	?
méthane	méthaniseur	550 000	412 000	186427	?
	méthaneur	440 000	330 000	90520	?
	gazéification hydro - thermique	?	?	0	?
bois énergie	exploitation 85% accroissement	400 000	306 000	229887	?
solare thermique	Concurrence avec PV sur toitures !	>> 500 000	100 000	43 582	?
total		>> 7 790 000	3 481 000	1 146 627	?

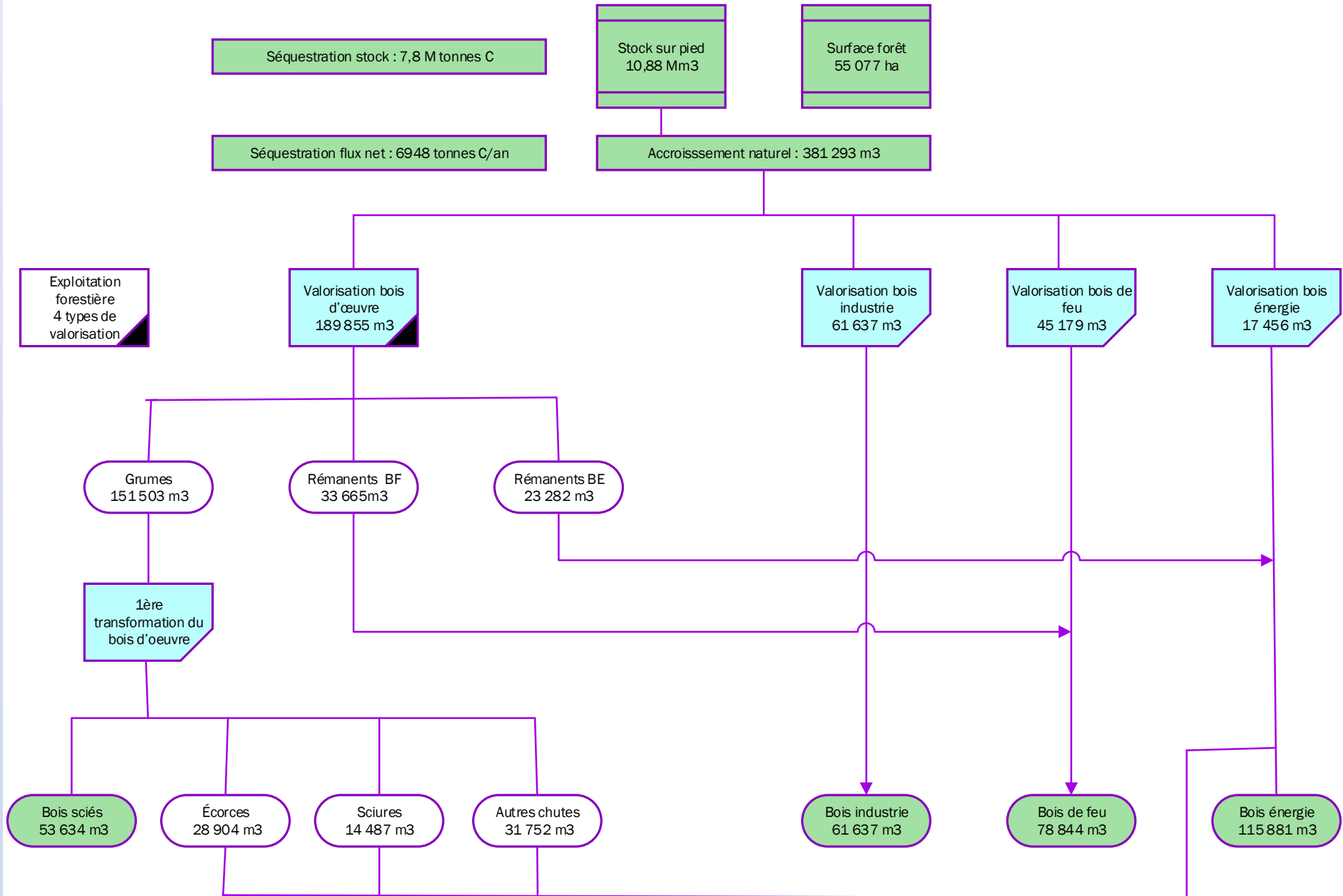
Le scénario 1 utilise 1/3 du potentiel « techniquement réaliste »

Ressources locales : massif forestier et possibilités d'exploitation (SIPHEM)

(données provisoires)

CARACTERISATION DES GISEMENTS DE BOIS DES FORETS DES TERRITOIRES DU SIPHEM

Flux potentiels annuels tous peuplements confondus pour un taux global d'exploitation de 85 % de l'accroissement net



Scénario 1 - a : électricité photovoltaïque

petites toitures (maisons)

22081 maisons individuelles

332 000 m² toitures équipables (≈ 30% des surfaces de toitures)

332 580 m² panneaux PV

76 MW_c

Production **totale** : 80 370 MWh/an

grandes toitures, ombrières de parking

60% des grandes toitures

198 000 m² panneaux PV

45 MW_c

Production **totale** : 47 000 MWh/an



Scénario 1 - a : électricité photovoltaïque

trackers 2 axes (photo : dans une station de traitement des eaux)

72 m² ; 21 kWc ; 36,4 MWh/an

Socle 12 m²

Industrie, agriculture, collectivités, besoins ponctuels,...

Nombre : à déterminer



centrale au sol ; panneaux PV fixes ou sur trackers 1 axe

Module : terrain de 10 ha

40 000 m² panneaux PV

9,2 MWc

Production : **10 330 MWh/an** (par module 10 ha)



Scénario 1 - a : électricité photovoltaïque

Agrivoltaïsme type 1 : panneaux verticaux

Module : terrain 10 ha

20702 m² panneaux PV

4,8 MW_c

Production : **5960 MWh/an par module 10 ha**



Agrivoltaïsme type 2 : panneaux fixes structure

Module : terrain 10 ha

37440 m² panneaux PV

8,6 MW_c

Production : **8940 MWh/an par module 10 ha**



Agrivoltaïsme type 3 : « PV dynamique »

Module : terrain 10 ha

30720 m² panneaux PV sur structure orientable

7 MW_c

Production : **7200 MWh/an par module 10 ha**



Scénario 1 - a : électricité photovoltaïque

production d'électricité sur le territoire - scénario 1 variante a										
	existant 2023		prospective 2045							
	MWh	%		MWc	MWh	ha terrain par module	nb modules	total MWh	%	ha sol
petites toitures	2371	7,1%	40%	76	80370			80370	13,4%	
grandes toitures	15681	46,7%	60%	45	47000			47000	7,9%	
centrales au sol	14258	42,5%		7,4	8260	10	14	115640	19,3%	140
divers	1096	3,3%						1096	0,2%	
agrivoltaïsme type 1	0	0%		4,76	5967	10	16	95472	16,0%	160
agrivoltaïsme type 2	0	0%		8,6	8940	10	16	143040	23,9%	160
agrivoltaïsme type 3	0	0%		7	7200	10	16	115200	19,3%	160
éoliennes 4 MW	0	0%		4	8410		0		0%	
petits cours d'eau	165	0,5%					0		0%	
hydro élec Garonne	0	0%		9	58 000		0		0%	
TOTAL	33571	100,0%						597818	100%	620

Dans ce scénario 1-a (éolien = 0 ; hydro élec = 0), **620 ha** de sol sont nécessaires pour couvrir tous les besoins électriques du territoire, y compris la grande majorité des véhicules convertis à l'électricité.

620 ha = **1,30 % de la SAU** (surface agricole utilisée)

620 ha = 3⁰% du vignoble existant en 2022

620 ha = 36% de de la surface en peupleraie

Zoom sur les transports et la traction : comparaison de 2 filières énergies renouvelables / motorisation véhicules

Territoire SIPHEM - données recensements RP et RGA 2020, et données SIPHEM										
	population	conso élec endogène	surface territoire	Sols forestiers	dont peupleraie	SAU	vignes	céréales	oléagineux	cheptel bovins
	hab	MWh	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	Nb UGB
TOTAL SIPHEM	56191	330021	137680	72143	1702	47711	20991	7782	3012	9512

consommation de produits pétroliers ou d'électricité par les voitures particulières				
	Parc de voitures	kWh/km	kms/an	MWh/an
essence et diesel 2023	35331	0,60	18000	382477
électrique 2045	38865	0,190	18000	132917

Un véhicule électrique (ou un tracteur électrique) **consomme 3 fois moins d'énergie** qu'un véhicule thermique (grâce à son moteur beaucoup plus efficace)

Zoom sur les transports et la traction : comparaison de 2 filières énergies renouvelables / motorisation véhicule

utilisation du sol suivant les filières : biocarburant pour MCI, ou centrale PV pour voitures électriques à batterie - en 2045											
filières de production				pour le parc de voitures particulières du territoire en 2045							
type motorisation		usage du sol	énergie	parcours annuel	conso spécifique	conso 1 voiture	Conso 38 865 voitures	productivité au champ	utilisation du sol	part SAU	émissions GES
moteur	énergie			kms/an	kWh/km	kWh/an	MWh/an	MWh/ha	ha	%	tonnes CO2
moteur combustion interne	essence ou gazole	cultures dédiées	biocarburant	18000	0,601	10825	420730	47	9037	18,9%	115701
moteur électrique batterie	électricité	centrale PV	électricité	18000	0,190	3420	132918	813	164	0,3%	4253

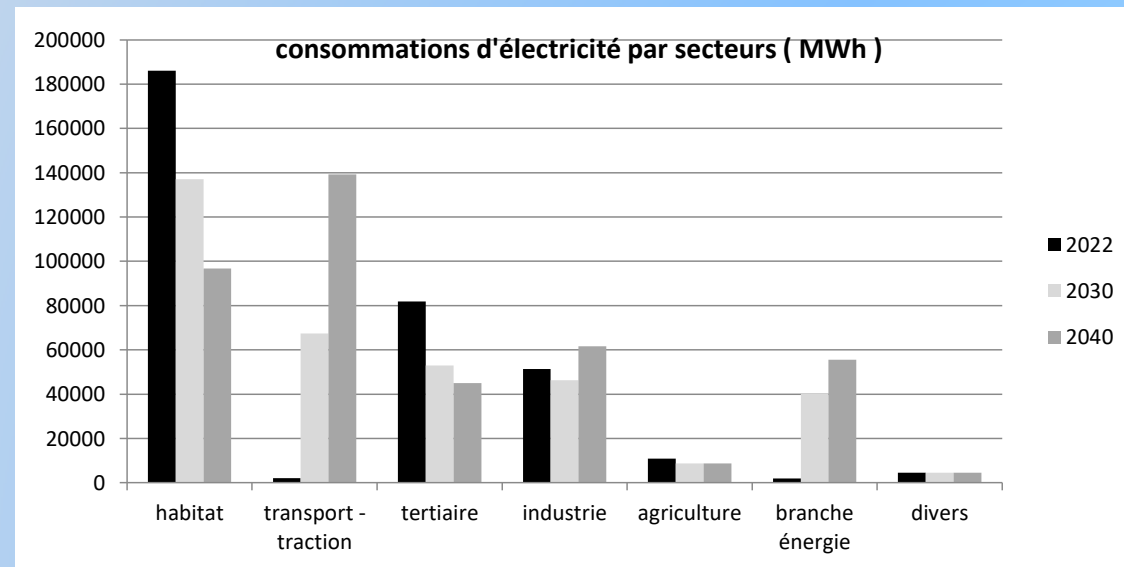
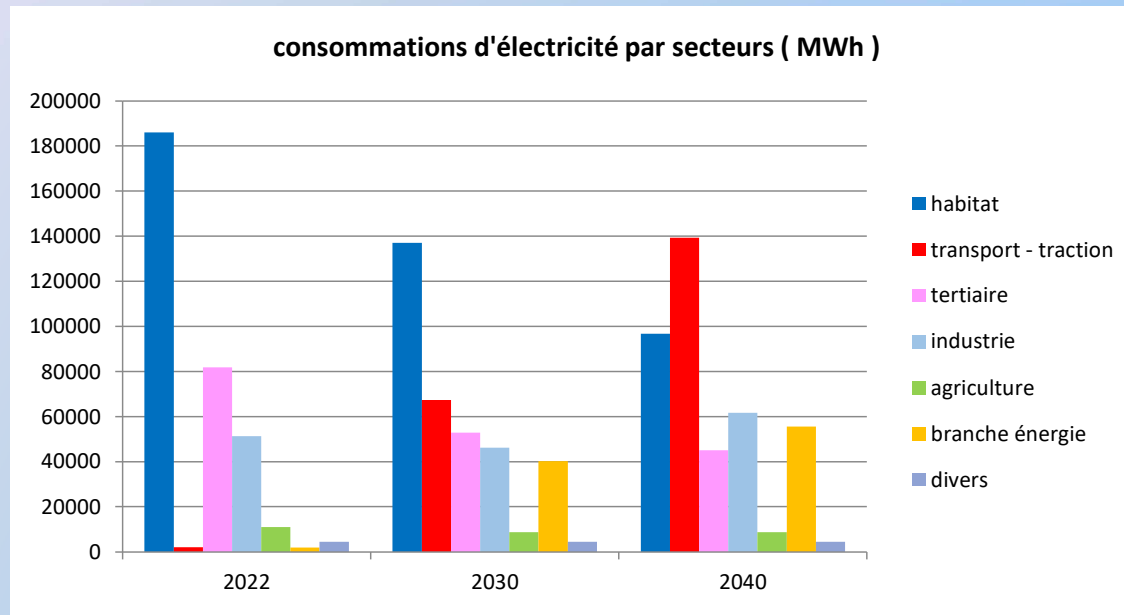
Productivité ramenée au champ = énergie finale produite par 1 ha :

- de cultures dédiées aux biocarburants (comprend rendement global de la filière production – transformation)
- de centrale PV au sol (rendement du champ PV à la borne de charge)

La filière voitures électriques/photovoltaïque consomme **55 fois moins de sol** que la filière voitures MCI* / biocarburants (9037 ha / 164 ha);
Elle émet **27 fois moins de gaz à effet de serre**

* MCI : moteur à combustion interne (essence, Diesel, biocarburants, gaz,...)

scénario 1 vers l'autonomie : l'électricité



scénario 1 - a vers l'autonomie : les résultats

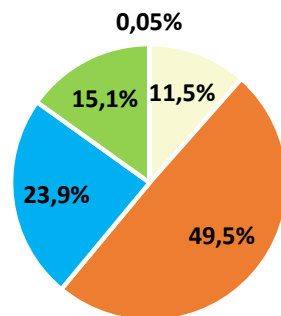
comparaison bilans 2045 et 2023					
	gaz méthane	produits pétroliers	Electricité	Bois	Solaire thermique
HABITAT	- 67%	- 100%	- 25%	- 9%	X 61
TERTIAIRE	- 81%	- 100%	- 13%	+ 59%	X 103
INDUSTRIE	- 10%	- 100%	- 39%	+ 2%	
TRANSPORTS	X 2920	-100%	X 77		
AGRICULTURE	- 18%	- 100%	+ 85%		
auto conso électricité branche énergie			X 67		
TOTAL	+ 57%	-100%	+ 28%	+ 1%	X 69

Émissions de GES :
divisées par 5,7

Remarque : dans ce scénario 1 – a, la croissance du biométhane pèse sur l'autoconsommation électrique de la branche énergie, à cause de la « méthanation » (ne pas confondre avec « méthanisation »)

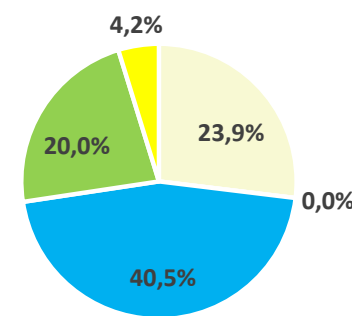
Méthanation : transformation du CO₂ du biogaz en CH₄ par hydrogénation ; cela permet de multiplier le biométhane produit par les méthaniseurs par 1,8, mais la production d'hydrogène consomme 50 MWh électricité par tonne de H₂

énergie SIPHEM : situation en 2023



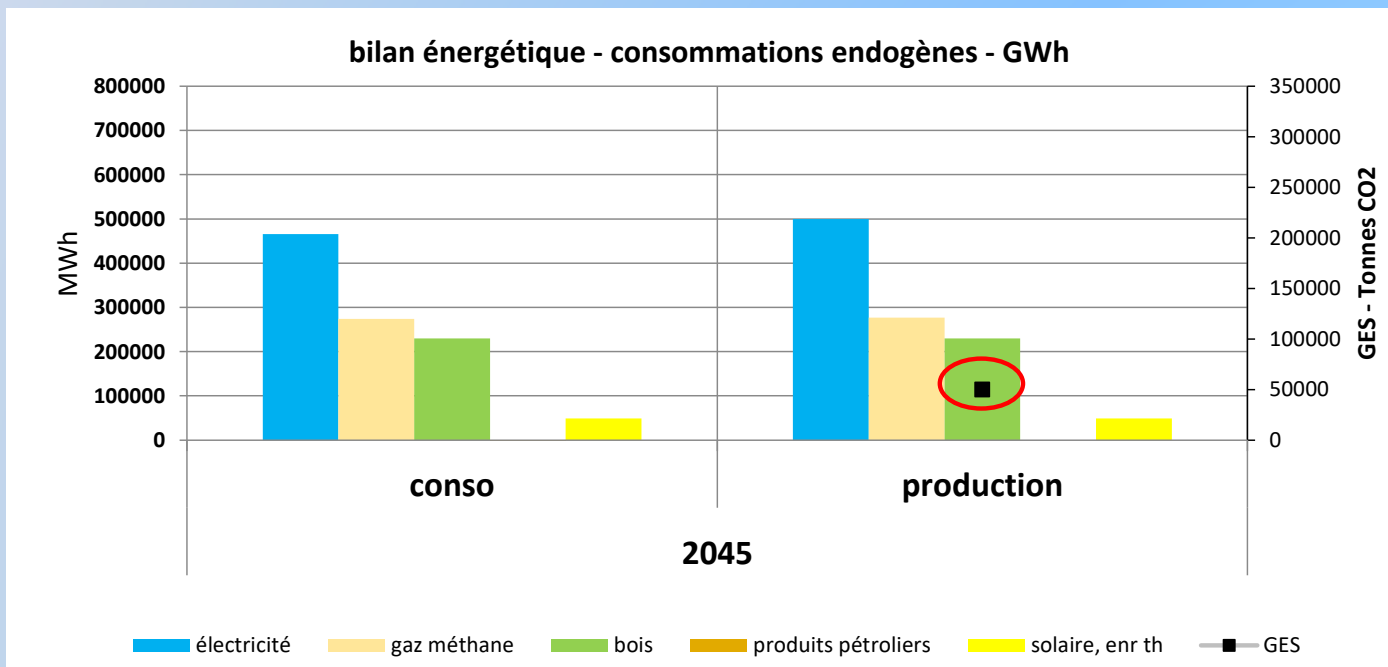
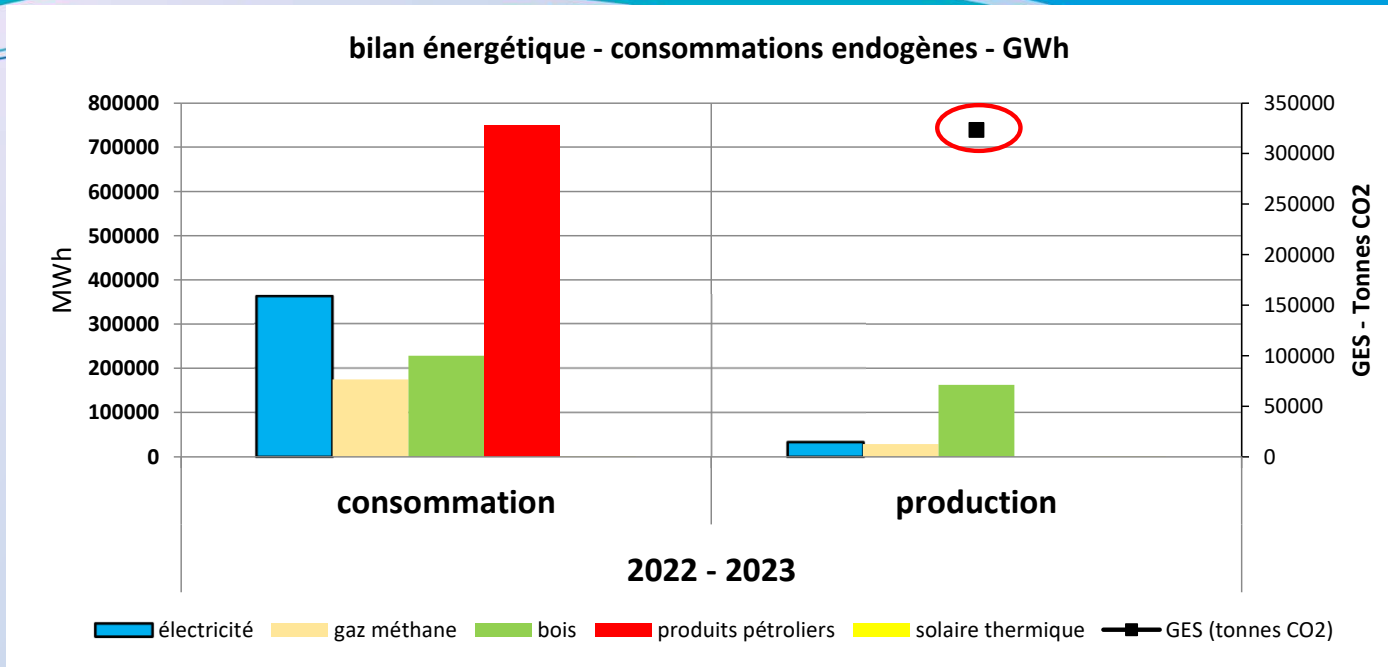
■ méthane ■ produits pétroliers ■ électricité
■ bois ■ solaire thermique

énergie SIPHEM : prospective 2045



■ biométhane ■ produits pétroliers ■ électricité
■ bois ■ solaire thermique

Un exemple de scénario (1 - a) : BILANS ENERGETIQUES 2022 et 2045



Produire localement : oui, mais comment ?

Production massive d'énergie - les tendances observées :

- dans la plupart des cas : centrales de production réalisées et exploitées par des grandes entreprises, seulement intéressées par :
 - le foncier disponible
 - leurs propres intérêts, pas ceux du territoire
 - la rentabilité maximale → matériels importés (souvent chinois pour le PV), constructeurs étrangers au territoire
 - → exploitation « opaque » pour le territoire,
 - → l'énergie produite est vendue au prix du marché européen ou au régime des appels d'offres de la CRE, pas d'effet positif sur les prix pour les consommateurs
 - → le produit financier des ventes ne profite quasiment pas au territoire (hormis qq taxes et la location du foncier)
 - → la situation économique du territoire ne change donc pas !
 - → il faut donc produire localement, avec des acteurs locaux
- heureusement, 2 méthaniseurs bien locaux depuis 2022 !! : continuons dans ce sens!

Autonomie territoriale : objectifs et conditions

• Conditions :

- n'est possible qu'à **moyen et long terme** (pas l'année prochaine !)
- implique une **motivation forte** (des élus et des citoyens)
- implique **une planification** sur au moins 20 ans
- doit être **comprise** pour être acceptée → **concertation large** indispensable avec tous les acteurs du territoire
- doit **profiter pleinement au territoire**
- doit être **réellement locale**, « autonome », donc **étudiée, décidée, financée, construite et exploitée par le territoire** et ses acteurs → elle n'est pas compatible avec les projets énergétiques industriels habituels
- une **étude de faisabilité** doit vérifier sa faisabilité économique pour le territoire

Économie physique, bioéconomie et symbiose territoriale

- On fait l'inventaire des **parcs d'équipements** et des consommations et **besoins matériels** du territoire :

PARCS & capitaux fixes :

- Descriptifs des réseaux (électricité, gaz, eau potable, irrigation, routes et voirie, communication,...)
- Parcs de gros matériels et machines diverses
- Équipements industriels, usines
- Parcs de logements et de bâtiments
- Équipement des ménages
- Parcs de véhicules
- Équipements des collectivités
- Population
- Troupeaux
- Plantations pérennes (vignes, vergers)
- Massif forestier

FLUX :

- Bilan énergétique
- Bilan hydrologique
- Besoins de matériaux (construction, entretien, etc..)
- Besoins alimentaires
- Productions
- Constitution des parcs d'équipements, et taux de renouvellement

Économie physique, bioéconomie et symbiose territoriale

- on considère les **ressources naturelles primaires** du territoire:
 - Énergie solaire, éolienne, hydraulique,...
 - Eaux de cours d'eau, de lacs, et de nappes,
 - Sols agricoles
 - Sols forestiers
 - Espaces naturels incultes
 - Gisements de ressources minérales (granulats, pierre, argile,...)

Économie physique, bioéconomie et symbiose territoriale

- On considère ensuite les **processus de production primaire et de première transformation** issus de ces ressources :
 - Production d'énergie (électricité, bois énergie, méthane)
 - Eau d'irrigation et de process, eau potable
 - Production de granulats, de céramiques (briques et tuiles)
 - Productions agricoles
 - Productions de la forêt

- Certains de ces processus produisent aussi :
 - Des sous – produits (digestat de méthanisation,...)
 - Des résidus (rémanents d'abattage des arbres, résidus des cultures)
 - Des déchets (de l'élevage, etc...)
 - Des rejets (gazeux, liquides,...)

NB : on ne représente ici qu'une partie des processus et des biens liés à l'énergie, à l'eau, aux cultures et à la forêt ; l'ensemble des processus économiques du territoire ne peut être traité que par un modèle adapté (cf modèle ATHEMA du GAREP)

Économie physique, bioéconomie et symbiose territoriale

- On identifie ensuite les **interactions multiples** entre ces ressources, ces processus et ces rejets, en termes de flux qui les relient :
 - Quantités d'énergie
 - Volumes d'eau,
 - Tonnes de produits agricoles,
 - m³ de bois
 - Tonnes de granulats et d'argile
 - Tonnes de résidus et de déchets
 - Tonnes autres matériaux

- On distingue les productions et consommations :
 - locales
 - importées
 - exportées

- La représentation de ces processus et flux sur un diagramme global permet un aperçu synthétique **d'une partie** de l'économie physique du territoire.

- Chaque processus peut être vu comme une « **brique technologique** » de cet ensemble

Économie physique, bioéconomie et symbiose territoriale

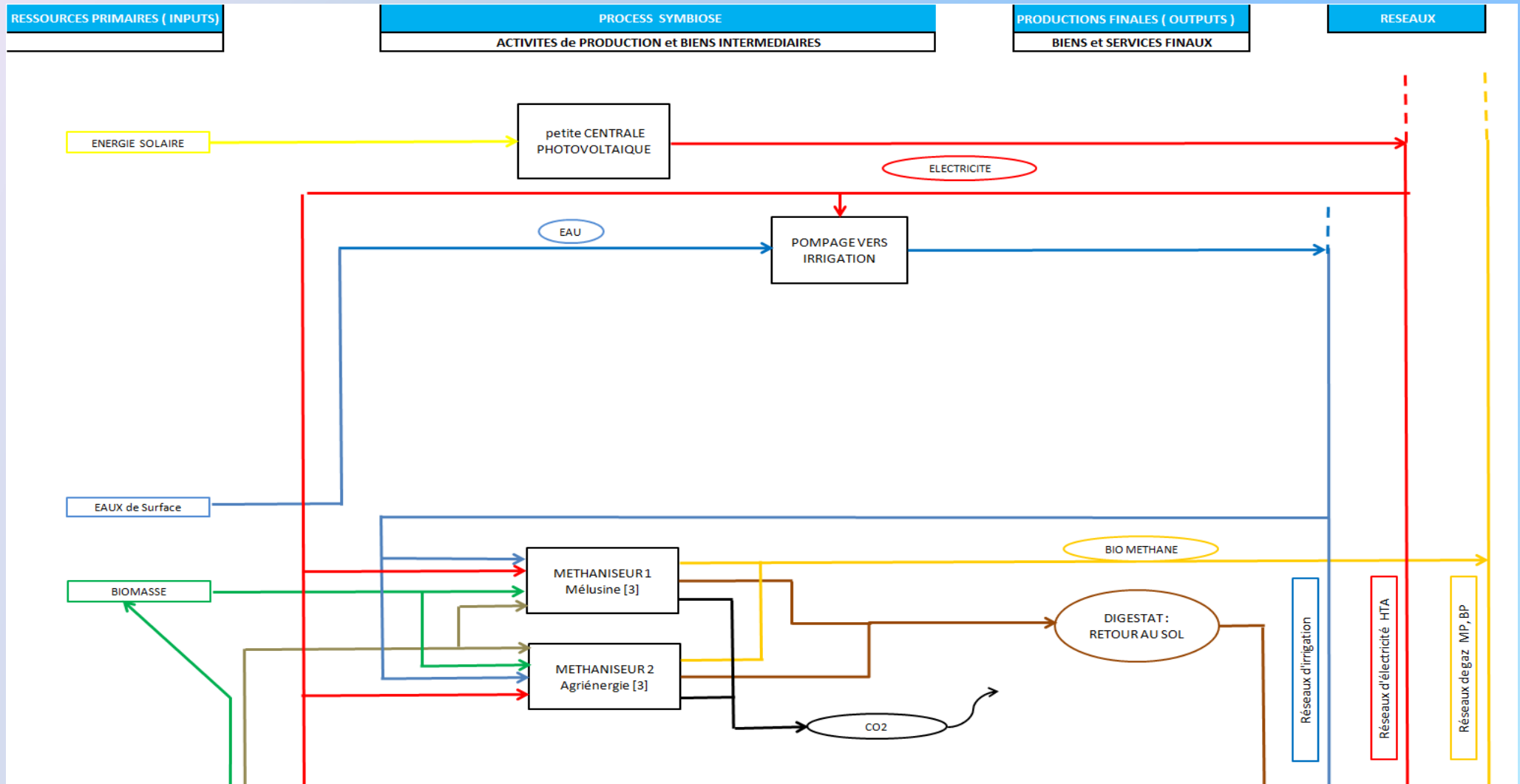
- On distingue sur les diagrammes suivants (2024 et 2045) :
 - Sur la partie gauche, les ressources primaires
 - Ensuite , les processus de production primaire et les biens intermédiaires
 - Ensuite, les produits et biens finals
 - sur la partie droite, les réseaux (énergies et eaux seulement dans ce diagramme)
 - Les consommations (inputs) sont représentées à gauche des processus, les productions (outputs) à droite (sauf pour les transports, par manque de place !)

- Les interactions multiples entre les processus (formant une « *symbiose* »), les flux « bouclés » sont comparables au *métabolisme* des êtres vivants :
 - cultures → méthanisation → digestat → cultures
 - syndicat déchets → déchets organiques → méthanisation → biométhane

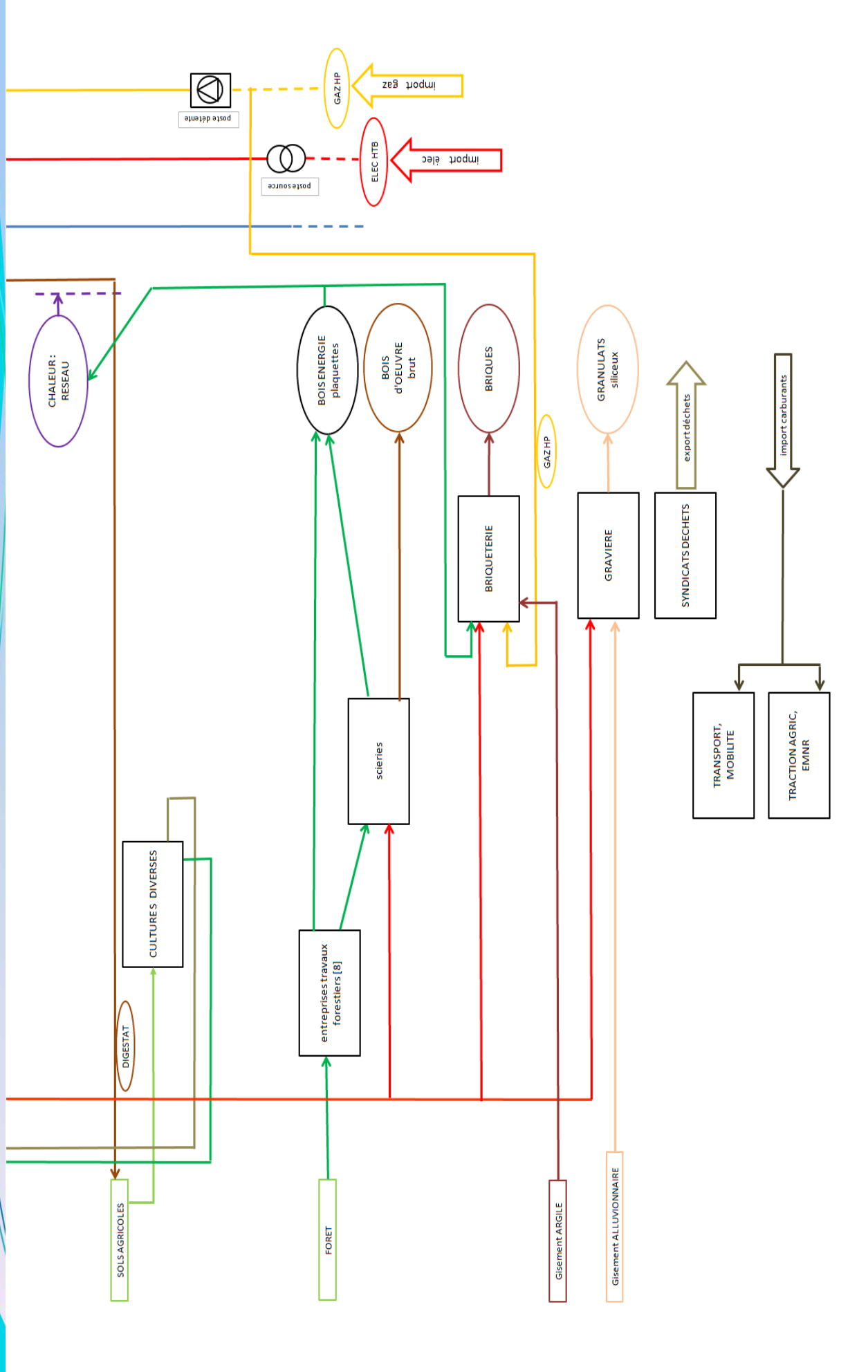
- Ce diagramme peut aider à :
 - Imaginer de nouvelles interactions
 - Introduire d'autres « briques technologiques » compatibles avec la « symbiose »

- Il peut être la première étape de la construction d'un *modèle macro - économique du territoire* (cf travaux et instruments du GAREP)

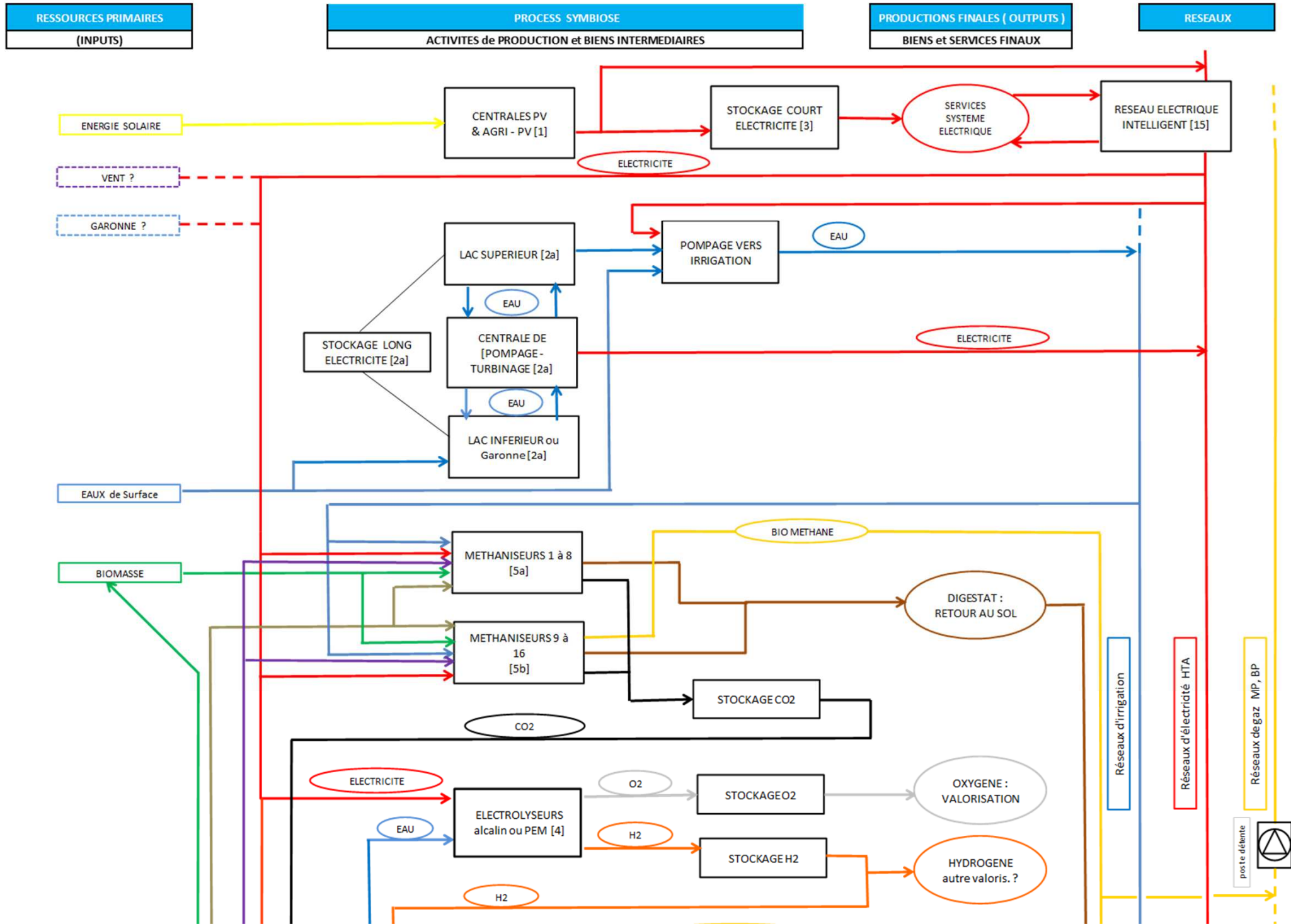
Attention : diagrammes très partiels ! Seuls certains processus et biens sont représentés



Projet symbiose territoriale : situation 2024, partie 2



Projet symbiose territoriale : situation 2045, partie 1



Projet symbiose territoriale : situation 2045, partie 2

