

**SOLO2018**  
**Calcul des performances**  
**d'une installation solaire**  
**de production d'eau**  
**chaude**

*Principes et Algorithmes*  
*V1.1*

*22 mai 2018 - Luc Greliche*  
*luc@tecsol.fr*



## 1. INTRODUCTION

Ce document présente la version 1.1 de la méthode SOLO2018 de calcul des performances d'une installations solaire de production d'eau chaude. SOLO2018 est une évolution de la méthode SOLO développée au CSTB dans les années 1980. La présentation concerne :

- ✓ la philosophie de la méthode, en particulier des modifications apportées à SOLO
- ✓ un descriptif détaillé des algorithmes.

L'objectif premier était le développement de la méthode et d'un algorithme public associé. Ce document ne décrit pas un outil informatique opérationnel (interface, etc.) mais la méthode SOLO2018 et ses algorithmes. Quelques encarts en grisé signalent cependant des points implicites dans la méthode qui doivent être pris en compte dans tout outil l'intégrant. Et un outil en ligne reposant sur cette méthode est disponible ici : <http://SOLO2018.tecsol.fr/>  
On a essayé de donner une présentation pertinente pour un informaticien tout en restant lisible pour un non-informaticien compétent en énergie solaire. C'est un peu la quadrature du cercle mais un petit effort doit permettre aux uns et aux autres de s'approprier ce document.

## 2. PLAN

- 1. Introduction
- 2. Plan
- 3. Philosophie générale de la méthode
  - 3.1. Historique et objectifs
  - 3.2. Principes de la modernisation
  - 3.3. Extension des possibilités de définition des données classiques
    - 3.3.1. Capteurs solaires
    - 3.3.2. Données caractéristiques de l'installation
    - 3.3.3. Besoins d'eau chaude
  - 3.4. Données mieux prises en compte
    - 3.4.1. Prise en compte de l'angle d'incidence
    - 3.4.2. Prise en compte de la température maximale autorisée pour le stock solaire
  - 3.5. Prise en compte des besoins de bouclage. Les principes
    - 3.5.1. Définition des besoins (pertes) de bouclage
    - 3.5.2. Apports solaires indirects au bouclage
    - 3.5.3. Caractérisation des installations par rapport au bouclage
  - 3.6. Prise en compte des schémas en eau technique
    - 3.6.1. Principes des schémas d'installations solaires en eau technique
    - 3.6.2. Principe de prise en compte des CESCET dans SOLO2018
    - 3.6.3. Hypothèses et problèmes relatifs à la régulation du circuit ET
    - 3.6.4. Installations solaires en eau technique et apports au bouclage
  - 3.7. Résultats supplémentaires
    - 3.7.1. Calcul de la production solaire primaire
    - 3.7.2. Esquisse du calcul de la production solaire primaire CESCO
  - 3.8. Utilisation de SOLO2018 pour les schémas CESCO
    - 3.8.1. Position du problème de traitement des CESCO par SOLO
    - 3.8.2. Principe de la prise en compte dans SOLO2018
  - 3.9. Autres extensions envisageables ou pas
    - 3.9.1. Systèmes avec retour bouclage sur le solaire
    - 3.9.2. Réseaux de chaleur
    - 3.9.3. Conclusion provisoire sur l'intérêt d'étendre la méthode SOLO

- 4. Définition des résultats fournis par SOLO2018
  - 4.1. Définition des besoins
    - 4.1.1. Définition du besoin utile SOLO2018
    - 4.1.2. Définition du besoin de bouclage SOLO2018
    - 4.1.3. Définition du besoin thermique total SOLO2018
  - 4.2. Définition des productions
    - 4.2.1. Définition de la production solaire SOLO2018
    - 4.2.2. Définition de la production solaire primaire SOLO2018
  - 4.3. Définition des taux SOLO2018
    - 4.3.1. Définition du taux de couverture solaire SOLO2018
    - 4.3.2. Définition du taux d'économie d'énergie SOLO2018
  
- 5. Terminologie utilisée dans les algorithmes
  - 5.1. Terminologie générale
  - 5.2. Note préliminaire sur les algorithmes
  
- 6. Paramètres et constantes
  - 6.1. Paramètres utilisés
  - 6.2. Constantes utilisés (constantes de structuration et numériques)
    - 6.3.1. Typologie des installations
    - 6.3.2. Modèles de définition des composants
    - 6.3.3. Valeurs par défaut
    - 6.3.4. Méthodes algorithmiques
  
- 7. Description des algorithmes
  - 7.1. Organigramme général et paramètres d'entrée de SOLO2018
    - Organigramme général
    - Paramètres d'entrée
  - 7.2. Liste des algorithmes présentés
  - 7.3. Algorithmes détaillés
    - 7.3.1. Utilitaires
    - 7.3.2. Définition des besoins
    - 7.3.3. Définition de l'installation solaire
      - Typologie de l'installation
      - Définition des capteurs solaires
      - Calcul en amont du stock solaire
      - Définition du stock solaire
    - 7.3.4. Définition du gisement solaire utilisable
      - Définition du rayonnement solaire sur le plan des capteurs
      - Définition du rayonnement solaire disponible
    - 7.3.5. Calcul de la production solaire d'un CESC
    - 7.3.6. Calcul de la production solaire d'un CESCET
      - Calcul des pertes thermiques du circuit eau technique
      - Calcul du  $\Delta T$  caractéristique d'un CESCET
      - Calcul de la production solaire d'un CESC
    - 7.3.7. Calcul de la production solaire primaire SOLO2018
    - 7.3.8. Procédure générale SOLO21017

## 3. PHILOSOPHIE GÉNÉRALE DE LA MÉTHODE

### 3.1. Historique et objectifs

SOLO2018 est une méthode de calcul des performances d'une installation solaire de production d'eau chaude. Il ne s'agit pas d'une méthode totalement nouvelle mais d'une adaptation de la méthode SOLO dont les origines remontent à 1984, méthode largement utilisée depuis pour la conception et le suivi des installations solaires de production ECS.

SOLO est une méthode « semi-simplifiée » reposant sur la notion de jour moyen mensuel tant du point de vue des données (météorologie et besoin) que des résultats. De ce point de vue, elle diffère fondamentalement des méthodes de simulation fine (TRNSYS par exemple).

SOLO calcule chaque mois une production solaire journalière moyenne par une équation semi-empirique unique utilisant des paramètres caractéristiques calculées à partir des données de l'installation et du mois (météo et besoins). Cette équation avait été écrite à partir de nombreuses simulations effectuées par une méthode détaillée (OSOL) du type TRNSYS. En ce sens, l'approche SOLO est voisine de celle de la méthode américaine F-chart.

SOLO2018 conserve des caractéristiques essentielles de la méthode SOLO originelle largement validée depuis 30 ans malgré ses limites :

- ✓ Méthode simple : un minimum de saisies, ce qui réduit le risque d'erreur.
- ✓ Méthode rapide : le calcul des performances mensuelles et annuelle est instantané.
- ✓ Méthode robuste : précision limitée mais très peu de risque de grosses erreurs.
- ✓ Méthode publique : les algorithmes de SOLO2018 sont publics et décrits dans ce document papier, permettant l'inclusion de la méthode dans d'autres outils (conception et suivi) que l'outil en ligne déjà disponible.
- ✓ L'algorithme central reste celui de SOLO classique

SOLO2018 a été développée sous une forme modulaire afin de :

- ✓ faciliter l'évolution ultérieure (nouveaux schémas, etc.),
- ✓ donner plus de souplesse à l'utilisateur dans la saisie des données,
- ✓ clarifier certains points (valeurs par défaut ou non, etc.) utilisées par SOLO

SOLO2018 intègre des adaptations visant à répondre à l'évolution depuis 30 ans :

- ✓ Prise en compte des nouvelles normes sur les capteurs solaires
- ✓ Prise en compte de l'évolution des standards de conception (isolation...)
- ✓ Correction de certains biais constatés sur SOLO classique
- ✓ Extension des données pouvant être prises en compte (besoins, etc.)

SOLO2018 intègre des nouveautés :

- ✓ Calcul des besoins de bouclage
- ✓ Calcul du taux d'économie d'énergie
- ✓ Prise en compte des apports solaires indirects au bouclage
- ✓ Prise en compte des schémas en eau technique
- ✓ Calcul de la production solaire définie en d'autres points du schéma (primaire)

Un outil en ligne basé sur la méthode SOLO2018 est disponible : <http://SOLO2018.tecsol.fr/>

### 3.2. Principes de la modernisation

L'algorithme central de SOLO est inchangé : la même équation empirique utilisant les mêmes paramètres internes de synthèse calcule en interne un taux de couverture solaire utile pour un mois donné et en déduit une production solaire théorique.

La méthode est développée sous une forme modulaire, implicite dans les versions anciennes mais présentée sous une forme plus explicite ici afin :

- ✓ de faciliter l'intégration des nouveautés  
(prise en compte des apports solaires indirects au bouclage)
- ✓ de permettre l'utilisation éventuelle d'outils externes pour certains modules  
(exemple : rayonnement sur le plan incliné tenant compte d'un masque)
- ✓ de faciliter les évolutions ultérieures  
(exemple : intégrer de nouveaux schémas : CESCO, etc.)

Le module principal assure le calcul de l'équation de base et des paramètres de synthèse associés à partir de quelques groupes de paramètres caractéristiques, chaque groupe étant associé à un composant ou un transfert particulier. Chaque groupe de paramètres caractéristiques est calculé par un module secondaire.

Les algorithmes originels de SOLO ont été repris mais réorganisés pour mieux correspondre aux attentes des utilisateurs et à l'évolution du solaire thermique en général en facilitant en particulier la souplesse dans les données à fournir.

De nouveaux modules ont été développés pour une prise en compte de nouvelles données ou une meilleure prise en compte des données habituelles

- ✓ Prise en compte des normes ISO pour les capteurs solaires
- ✓ Prise en compte des effets d'incidence sur le plan des capteurs

De nouveaux modules ont été développés pour étendre les possibilités de SOLO

- ✓ Définition et calcul des besoins de bouclage
- ✓ Calcul des besoins globaux et du taux d'économie d'énergie
- ✓ Calculs en rapport avec les apports solaires indirects au bouclage
- ✓ Prise en compte de schémas en eau technique

Tout ceci est détaillé dans la suite du document et l'outil en ligne associé permet d'utiliser la méthode très simplement.

### 3.3. Extension des possibilités de définition des données classiques

Les données pouvant être prises en compte ont été étendues. SOLO2018 intègre cependant toujours la définition de valeurs par défaut (plus sûres qu'une saisie aléatoire...).

#### 3.3.1. Capteurs solaires

Les nouveaux coefficients caractéristiques  $n_0, a_1, a_2$  d'un capteur sont utilisables directement. En pratique, des coefficients B et K «équivalents» sont recalculés en interne, l'algorithme de calcul a été validé à partir des tests d'essais de nombreux capteurs.

#### 3.3.2. Données caractéristiques de l'installation

Les valeurs par défaut de certaines données ont été adaptées à la réalité actuelle : échangeur plus performant et primaire mieux isolé que dans la version originelle de SOLO (ce qui conduit à des performances un peu supérieures). La possibilité de définir plus précisément certaines données, implicite dans la méthode SOLO classique a été précisée et explicitée. C'est le cas pour :

- ✓ le circuit primaire (en vue d'en définir les pertes)
- ✓ l'échangeur entre circuit primaire et circuit secondaire

#### 3.3.3. Besoins d'eau chaude

Une bonne définition des besoins est essentielle à un bon dimensionnement de l'installation.

- Une nouvelle définition par défaut de la température eau froide, plus réaliste d'après l'expérience acquise, a été ajoutée (voir l'encart concernant les outils plus loin)
- La possibilité de définir les besoins en eau chaude distribuée (sortie mitigeur général) plutôt qu'en eau chaude produite a été introduite avec deux objectifs :
  - ✓ faciliter la prise en compte de données de mesure antérieures éventuelles (et ainsi limiter les erreurs pouvant résulter de la confusion entre eau produite et eau distribuée, les températures n'étant pas les mêmes).
  - ✓ fournir un outil pédagogique sur le fonctionnement des installations solaires. Par exemple, on pourra voir, pour un même besoin d'eau chaude distribuée, l'impact d'une modification de la température de consigne de production d'eau chaude.

Par ailleurs, surtout pour rendre l'outil compatible avec des applications non ECS (industrielles...), tout outil basé sur SOLO2018 doit permettre une définition plus souple des besoins, possibilité implicitement autorisée par SOLO mais absente dans les outils actuels :

- ✓ définition mensuelle de la température de consigne de production
- ✓ définition manuelle de la température eau froide

### 3.4. Données mieux prises en compte

Quelques modifications ont été introduites visant surtout à corriger des biais apparus dans les résultats de SOLO par rapport aux mesures (la logique de ces adaptations était d'ailleurs évoquée dans la méthode SOLO papier originelle)

#### 3.4.1. Prise en compte de l'impact de l'angle d'incidence

Les coefficients caractéristiques des capteurs sont définis et valides à incidence normale. Les performances des capteurs sont pénalisées lorsqu'on s'écarte de la normale, donc en fonction de l'inclinaison, de l'orientation, de la date et de l'heure. La prise en compte par SOLO, méthode basée sur le jour moyen mensuel posait problème et le traitement dans les outils associés n'était pas très clair.

- ✓ La valeur par défaut de cet abattement proposée dans la version papier était forte si on se réfère aux données des tests d'essai (correction pour l'angle d'incidence) et ne tenait pas compte de la saison, du lieu, de l'implantation des capteurs
- ✓ L'application d'un abattement direct modifiant la donnée « ensoleillement sur le plan des capteurs » posait problème si on comparait les valeurs de cet ensoleillement avec les valeurs fournies par d'autres outils externes et en compliquait l'intégration par SOLO.
- ✓ En pratique, cet abattement n'était pas pris en compte dans la plupart des versions de SOLO, par exemple dans la version SOLO Tecsol.

La comparaison des résultats avec les mesures confirmait l'impact non négligeable de ces variations d'incidence, en particulier en hiver où SOLO tendait à surestimer la production. Dans SOLO2018, la volonté de garder la simplicité de SOLO limitait les possibilités de prise en compte. Nous avons traité ce problème de la façon suivante :

- ✓ L'équation de base de SOLO2018 n'utilise pas le rayonnement sur le plan incliné mais une donnée dérivée calculée en interne : le rayonnement « disponible ».
- ✓ La dérivation consiste en un abattement prenant en compte le site, le mois, l'inclinaison, l'orientation (pour l'instant pas le modèle de capteur).
- ✓ *Le détail de l'abattement pourra encore être ajusté dans les versions futures mais en l'état actuel, on a clairement une amélioration de la pertinence des résultats.*

#### 3.4.2. Prise en compte de la température maxi autorisée dans le stock

Dans une installation solaire, une sécurité surchauffe coupe en général la production dès que le stock dépasse une certaine température  $T_{MaxStock}$ . C'était pris en compte mais de façon peu évidente dans la méthode SOLO originelle. La valeur de  $T_{MaxStock}$  était fixe : 80°C. Or le choix de cette température a une influence limitée mais non nulle dans les installations standard et surtout :

- ✓ Elle peut avoir un impact pour des applications un peu spécifiques.
- ✓ Elle a d'autant plus d'impact que le taux de couverture est élevé.
- ✓ Elle a également un intérêt pédagogique.

Enfin et surtout, c'est un paramètre qui devient nécessaire si on veut prendre en compte les apports solaires indirects au bouclage (cf plus loin).

### 3.5. Prise en compte des besoins de bouclage. Les principes

SOLO2018 permet de gérer au moins de façon simplifiée les besoins (ou pertes) de bouclage que SOLO classique ignorait totalement. Cette gestion offre deux possibilités utiles :

- ✓ le calcul sommaire des pertes de bouclage d'une installation de production ECS
- ✓ la prise en compte éventuelle des apports solaires indirects au bouclage

Pour le premier point, indépendant du solaire, il s'agit de compléter les informations fournies par SOLO par une donnée importante même si elle n'est pas directement reliée au solaire. On a visé pour ce module indépendant à garder la simplicité de SOLO en particulier en termes de saisies demandées à l'utilisateur

Pour le deuxième point, il s'agit d'améliorer la pertinence des résultats fournis par SOLO2018 en prenant en compte la réalité de nombreuses installations solaires pour lesquelles les apports solaires indirects au bouclage sont non négligeables.

La version actuelle ne permet pas encore de prendre spécifiquement en compte les schémas permettant un apport solaire direct au bouclage. Mais, les résultats fournis par SOLO2018 pour les schémas avec apport solaire indirect offrent déjà une meilleure approximation que SOLO classique pour les schémas à apport solaire direct.

#### 3.5.1. Définition des besoins (pertes) de bouclage

Cette définition, volontairement simple, permet à l'utilisateur de définir le bouclage de 3 manières différentes à partir :

- ✓ des caractéristiques géométriques et thermiques de la boucle (longueur et conductance linéaire)
- ✓ des caractéristiques du fonctionnement de la boucle ( $\Delta T$  et débit de la boucle)
- ✓ d'une simple qualification de la boucle (bonne, moyenne, mauvaise)

Ces trois approches aboutissent au calcul d'un coefficient global de pertes de la boucle qui permet ensuite le calcul des pertes journalières.

#### 3.5.2. Apports solaires indirects au bouclage

Posons les définition suivantes (on suppose l'appoint en série en aval du solaire) :

- ✓ VECS            Volume eau chaude produite
- ✓ TEF            Température eau froide
- ✓ TECS\_Pro     Consigne de température de sortie de production (régulation appoint)
- ✓ TECS\_Sol     Température réelle de l'ECS en sortie de production solaire
- ✓ BEC\_Pro      Besoin de production ECS.  $BEC\_Pro = C_p \cdot VECS \cdot (TECS\_Pro - TEF)$
- ✓ ESol           Production solaire.  $ESol = C_p \cdot VECS \cdot (TECS\_Sol - TEF)$

L'algorithme de base de SOLO classique calcule un taux de couverture solaire par rapport à ce besoin de production ECS. Ce taux est plafonné à 100 %, ce qui paraît logique mais pose quand même un problème (partagé par d'autres méthodes). En effet, ceci implique que :

- ✓ La production solaire est plafonnée par le besoin utile.
- ✓ Dit autrement : TECS\_Sol (en moyenne mensuelle) est plafonnée par TECS\_Pro.

Dans la réalité, TECS\_Sol peut être supérieure à TECS\_Pro même en moyenne mensuelle. Une bonne météo et une consommation un peu faible peuvent suffire sans que l'installation puisse être considérée comme rédhibitoirement surdimensionnée tant que la « surchauffe » reste modérée<sup>1</sup>. En termes d'énergie, ceci signifie que la production solaire est supérieure au besoin de production. Il rentre plus d'énergie dans l'appoint qu'il n'en sort sous forme d'énergie *utile*. Le surplus d'énergie n'est pas perdu, il est utilisé pour compenser :

- ✓ les pertes de la production d'appoint éventuellement (stock appoint)
- ✓ les pertes du bouclage qui ne sont théoriquement pas couvertes par le solaire

SOLO classique ne prenait pas en compte ce besoin supplémentaire, le taux de couverture utile étant asymptotique par rapport au besoin de production ECS seul. Il en résultait :

- une sous-estimation de la production pour une installation surdimensionnée (ce peut être en phase de dimensionnement un avantage pédagogique en pénalisant fortement le surdimensionnement, mais cette pénalisation était souvent quantitativement exagérée) ;
- une perte de pertinence du ratio de production (production mesurée / production théorique) dans le cadre du suivi ce qui a des conséquences plus gênantes :
  - ✓ fausser l'analyse du fonctionnement de l'installation : on peut avoir une installation ne fonctionnant pas optimalement mais ayant un ratio de production élevé,
  - ✓ rendre difficile l'interprétation des résultats par un non-spécialiste : un taux de couverture solaire supérieur à 1 peut paraître étonnant mais se rencontre en pratique !

SOLO2018 intègre la prise en compte des besoins de bouclage et des apports solaires indirects au bouclage. Les remarques précédentes montrent que cette implication a des conséquences sur la caractérisation des installations et sur la terminologie :

- ✓ La possibilité ou non d'apports solaires indirects au bouclage caractérise l'installation
- ✓ le taux de couverture solaire tel que défini classiquement peut être supérieur à 1
- ✓ Le taux d'économie d'énergie (par rapport aux besoins totaux) peut être défini

Le chapitre 4 explicitera les conséquences de cette prise en compte en termes de résultats. La traduction informatique de cette prise en compte sera détaillée dans les chapitres 5, 6 et 7. Mais on peut déjà préciser ce que cela implique en termes de caractérisation des installations

### 3.5.3. Caractérisation des installations par rapport au bouclage

D'après ce qui précède, il est clair que le calcul de la production solaire SOLO2018 doit être différent suivant que les apports solaires indirects au bouclage sont possibles ou non :

- ✓ Lorsque les apports solaires indirects sont impossibles, le calcul reste similaire à celui de SOLO classique avec en particulier un taux de couverture solaire plafonné à 1, le plafonnement de la production par les besoins utiles étant réel.
- ✓ Lorsque les apports solaires indirects sont possibles, le calcul prend en compte tout ou partie des besoins de bouclage de façon automatique à partir des caractéristiques de l'installation et le taux de couverture solaire pourra être supérieur à 1.

La plupart des installations permettent les apports indirects au bouclage. Mais les installations CESCO, CESCAI, les installations avec réchauffeur de boucle indépendant en général, ne le permettent pas. L'utilisateur de la méthode devra préciser ce qu'il en est pour son installation.

<sup>1</sup> Contrairement aux craintes parfois exprimées, une surchauffe en sortie du solaire entraîne très rarement une surchauffe en sortie d'appoint dans une installation collective ECS avec un stock d'appoint (d'après quelques milliers d'années de mesure).

### 3.6. Prise en compte des schémas en eau technique (CESCET)

Les systèmes à eau technique se développent, en particulier dans le secteur sanitaire. Ce chapitre présente le traitement de ces schémas dans SOLO2018 et les problèmes afférents.

#### 3.6.1. Principe des schémas d'installation solaires en eau technique.

Un CESCET est quasi-similaire à un CESC jusqu'à la sortie du stock solaire et définissable de la même façon pour cette partie amont de l'installation (le CESC sous-jacent au CESCET)

Le stock solaire ne contient pas d'eau sanitaire mais fait partie d'un circuit fermé en eau technique (ET). Le CESC sous-jacent est complété en aval du stock solaire par un circuit en eau technique et un échangeur ET/ECS. L'échange par nature imparfait entraîne une baisse des performances par rapport à un CESC. Ceci se traduit par une température ECS en sortie de l'échangeur ET/ECS inférieure à la température ET en sortie du stock solaire et une température ET en entrée du stock solaire supérieure à la température de l'eau sanitaire froide. Enfin, les pertes du circuit ET aval pénalisent aussi (souvent à la marge) les performances.

#### 3.6.2. Principe de prise en compte des CESCET dans SOLO2018

D'après ce qui précède un CESCET peut être vu comme composé de :

- Un CESC sous-jacent au CESCET. La production solaire de ce CESC définie en sortie du stock solaire est calculable par SOLO pourvu que les températures d'eau froide et d'eau chaude prises en compte ne soient pas les températures d'eau froide et de consigne d'eau chaude habituelles mais tiennent compte de l'impact de l'échangeur ET/ECS qui entraîne un décalage vers le haut de ces températures.
- un circuit eau technique aval composé des tuyauteries et de l'échangeur ET/ECS. L'impact de l'échangeur a été pris en compte par le décalage des températures. Mais le circuit lui-même entraîne des pertes thermiques supplémentaires (faibles ou pas suivant les cas, voir plus bas). La production solaire utile (sur l'eau chaude sanitaire) est donc la production du CESC sous-jacent pour les bonnes températures moins les pertes du circuit eau technique.

SOLO2018 adopte le traitement suivant, toujours dans l'esprit de simplicité de SOLO :

- SOLO2018 calcule la production  $ESol\_CESC1$  du CESC sous-jacent en sortie du stock solaire comme on d'habitude.
- Compte tenu des caractéristiques de l'échangeur (puissance et débits) et des températures de fonctionnement déductibles de la production solaire  $ESol\_CESC1$ , SOLO2018 calcule un  $\Delta T$  caractéristique du CESCET, toujours mois par mois. L'algorithme est décrit en 7.3.5.
- SOLO2018 recalcule une nouvelle production  $ESol\_CESC$  du CESC sous-jacent avec des températures de référence décalées du  $\Delta T$  précédent
- SOLO2018 soustrait ensuite de cette production du CESC sous-jacent les pertes thermiques du circuit ET aval pour obtenir la production solaire utile du CESCET.

L'importance des pertes thermiques du circuit ET aval est souvent faible mais pas toujours :

- Le plus souvent, l'échangeur est à proximité immédiate du stock solaire. Le circuit est court, une dizaine de mètres, et ceci quelle que soit la taille de l'installation solaire. Les pertes sont quasi-indépendantes de la taille de l'installation en valeur absolue
- En conséquence, l'impact sera faible pour une grande installation, mais pas pour une petite.
- Pour une grande installation, il peut arriver que l'échangeur ET/ECS soit dans un autre local et que la longueur du circuit ET soit importante (jusqu'à plusieurs centaines de mètres). Dans ce cas, les pertes thermiques du circuit ET peuvent être très pénalisantes.

### 3.6.3. Hypothèses et problèmes relatifs à la régulation du circuit ET

Nous n'avons pour l'instant pas précisé le mode de fonctionnement de la pompe du circuit ET. En fait SOLO fait sur ce point les hypothèses suivantes, la première étant essentielle, la seconde étant d'influence généralement beaucoup plus limitée :

- L'ensemble de la consommation ECS est préchauffée par le solaire, ce qui suppose que la pompe du circuit ET fonctionne dès lors qu'il y a puisage. Si cette hypothèse est fautive, la production solaire calculée par SOLO surévalue la production solaire (on retombe sur le cas classique d'une consommation inférieure à la consommation de référence prise en compte)
- Les pertes thermiques du circuit eau technique sont permanentes (24h/24). Il s'agit là au contraire d'une hypothèse conservatrice : en période d'arrêt des pompes, les pertes sont en réalité plus faibles, SOLO sous-évalue donc un peu la production solaire.

En pratique la pompe tertiaire peut fonctionner suivant 3 modes de régulation :

- ✓ pompe fonctionnant 24h/24
- ✓ pompe fonctionnant sur horloge (pendant les périodes habituelles de puisage)
- ✓ pompe fonctionnant dès qu'il y a puisage

Les deux derniers modes visent à économiser de l'énergie de deux façons :

- ✓ pas de consommation d'électricité quand la pompe ET ne fonctionne pas
- ✓ moins de pertes thermiques quand l'eau chaude ne circule pas dans le circuit ET (on a quand même au moment de l'arrêt : refroidissement de l'eau stagnante)

Dans beaucoup de cas, le gain reste cependant minime par rapport à un fonctionnement 24h/24 (c'est moins vrai pour les petites installations ou celles à circuit ET long) :

- ✓ en collectif, on a souvent du puisage 16h ou 18h sur 24 sinon plus,
- ✓ les périodes de non-usage hors nuit souvent très courtes et l'inertie (il faut remettre en température le circuit au redémarrage) limitent le gain sur les pertes thermiques.

Par contre, ces régulations présentent des risques dès que la régulation est non-optimale car on court le risque de diminuer la consommation ECS effectivement préchauffable par le solaire, or toute baisse de consommation pénalise les performances comme on le sait

- ✓ la régulation sur puisage doit donc être bien définie et bien réalisée
- ✓ la régulation sur horloge doit limiter les arrêts aux périodes réellement sans puisage

Dans les cas où ces hypothèses ne seraient pas applicables, on peut faire comme suit :

- ✓ Si les périodes de fonctionnement de la pompe ET ne couvrent pas toute la période de puisage, il faut faire le calcul SOLO avec la consommation pendant les périodes de fonctionnement de la pompe et non sur 24h
- ✓ Si l'hypothèse des pertes thermiques 24h/24 est trop conservatrice (circuit long, puisages courts), on peut prendre comme perte linéique du circuit ET la moyenne journalière des pertes linéiques en les prenant nulles sur les périodes d'arrêt de la pompe

### 3.6.4. Installations solaires en eau technique et apports au bouclage

Dans un CESCET le solaire fonctionne comme un producteur instantané sur l'ECS. L'appoint associé est souvent aussi instantané afin d'éviter les stocks ECS et de limiter les risques de legionella. Dans ce cas, l'option « pas d'apports solaires possibles » s'impose.

Cependant si on a un appoint « classique » avec stock et si la régulation ne l'interdit pas, l'option « apports solaires indirects » peut être pertinente.

### 3.7. Résultats supplémentaires

#### 3.7.1. Définition d'une production solaire (en sortie de) primaire

Le résultat principal fourni par SOLO est l'énergie dite « utile » : l'énergie fournie pour préchauffer l'eau chaude sanitaire. Elle correspond dans une installation classique à l'énergie fournie mesurable en sortie du stock solaire. Ce paramètre est bien adapté au dimensionnement. Cependant, lorsque la méthode SOLO est utilisé dans le cadre d'outils de suivi pour comparer la production théorique à la production réelle mesurée, cette production solaire utile peut ne pas être le paramètre le plus pertinent.

En effet dans certains cas, on ne peut pas mesurer simplement la production solaire utile. L'exemple le plus courant est celui des installations à appoint intégré. Dans ces installations, l'appoint étant intégré au ballon solaire, on ne peut mesurer en sortie du stock que l'énergie utile totale (solaire+appoint), ni l'énergie d'appoint utile, ni l'énergie solaire utile.

Même si on mesure par ailleurs l'énergie d'appoint entrant dans le stock, la définition des énergies utiles solaire et appoint nécessite des hypothèses sur la répartition des pertes du stock entre solaire et appoint. L'expérience a montré que ce n'était pas simple et sujet à controverse.

A contrario, il est souvent assez facile de mesurer l'énergie solaire en entrée du stock (même si la mesure sera globalement moins précise que celle de l'énergie utile, les  $\Delta T$  en cause étant plus faibles) comme on sait le faire pour l'énergie d'appoint entrante. Il était donc intéressant que SOLO2018 définisse une production solaire primaire afin de pouvoir la comparer directement avec la mesure de cette énergie solaire primaire.

SOLO2018 intègre un module fournissant la production solaire primaire de l'installation et fournit donc pour toute installation solaire sur laquelle seule l'énergie solaire primaire est mesurable (appoint intégré par exemple) :

- ✓ la production solaire en sortie de stock solaire (elle reste valide avec les hypothèses classiques sur les installations solaires à appoint intégré) et les ratios habituels associés ;
- ✓ la production solaire primaire qui peut être utilisée en particulier pour comparer de façon plus pertinente la théorie et la mesure sur certaines installations.

Ceci est possible parce qu'on peut, sans introduire de données supplémentaires, définir les pertes du stock solaire dans le cadre de SOLO de façon simple et avec une précision cohérente avec la précision habituelle de SOLO comme on le verra plus loin.

#### 3.7.2. Esquisse de la définition d'une production solaire primaire CESCO

Les installations CESCO (collectives individualisées) présentent un cas voisin. En attendant l'ajout explicite prochain dans SOLO2018, quelques remarques sur ces schémas :

- ✓ La mesure est faite au primaire également
- ✓ mais à la sortie du champ capteurs et non en entrée des stocks, donc plus en amont.

On peut envisager un module définissant la production primaire CESCO en un point où l'énergie est mesurable, la sortie du champ de capteurs. Cette production primaire est un peu supérieure à la production primaire définie ci-dessus car mesurée en amont d'une partie des pertes primaires. On pourra ainsi comparer un peu mieux théorie et mesures sur un CESCO (même si la non-mesure de la consommation limite l'exercice). Car la définition de la production théorique pour un CESCO ne pose pas de réels problèmes dans le cadre de la méthode SOLO, tout au plus faut-il adapter certaines valeurs par défaut.

### 3.8. Utilisation de SOLO2018 pour les schémas CESCO :

*Les schémas CESCO ne sont pas encore intégrés explicitement dans SOLO2018 V1.1. Ce devrait être fait dans la version 1.2. Ce sous-chapitre vise à introduire la version à venir et à préciser comment la version actuelle peut cependant déjà être utilisée pour ces schémas (c'était déjà le cas pour SOLO classique).*

Les schémas CESCO ont connu un certain développement en France métropolitaine et représentent l'essentiel du marché solaire thermique à la Réunion. Techniquement, ils ont pour intérêt l'élimination des pertes de boucle (plus exactement les pertes de boucle se situent sur le côté solaire des installations et sont donc entièrement couvertes par le solaire). Par ailleurs, l'individualisation des appoints simplifie la gestion économique des systèmes. Mais ils ont aussi des inconvénients (coût, etc.). On n'abordera pas ces questions ici.

#### 3.8.1. Position du problème de traitement des CESCO par SOLO

L'expérience a montré que SOLO permettait de dimensionner des installations CESCO en les considérant comme des CESC, moyennant des hypothèses et des biais relativement mineurs :

- ✓ l'ensemble des stocks individuels est équivalent à un stock CESC  
(chaque stock individuel a un volume « solaire », en-dessous de l'appoint)  
(le volume est la somme des volumes « solaires » des stock individuels)  
(le coefficient de perte est la moyenne pondérée de ceux des ballons individuels)
- ✓ l'ensemble des échangeurs est équivalent à un échangeur unique
- ✓ les pertes primaires sont en général un peu plus élevées qu'en CESC  
(la valeur par défaut de SOLO n'est donc pas bien adaptée)
- ✓ l'échangeur équivalent est en général plus performant qu'un échangeur CESC  
(la valeur par défaut de SOLO n'est donc pas bien adaptée)

La difficulté essentielle ne concerne pas le calcul SOLO proprement dit mais la comparaison entre performances théoriques et mesures qui est difficile et éventuellement biaisée :

- ✓ la consommation ECS n'est pas mesurable en général (une mesure par appartement),
- ✓ la production solaire utile n'est pas mesurable en général (même chose),
- ✓ la production solaire est par contre mesurable à la sortie du champ de capteurs mais non directement comparable avec la production SOLO définie en sortie de stock solaire.

#### 3.8.2. Principe de la prise en compte à venir dans SOLO2018

SOLO2018 intégrera à terme un traitement explicite des CESCO dont la précision restera cohérente avec la précision habituelle de SOLO sous réserve que les consommations ECS réelles (non mesurées) soient proches des théoriques :

- au niveau des données
  - ✓ le choix d'un schéma CESCO sera explicite
  - ✓ on pourra choisir un sous-schéma (parapluie ou parallèle)
  - ✓ les valeurs par défaut du primaire et de l'échangeur seront adaptées  
(et on pourra personnaliser si nécessaire comme en CESC)
- au niveau des résultats
  - ✓ la production solaire utile sera bien sûr toujours définie
  - ✓ la production solaire en sortie du champ de capteurs sera également définie (cf 3.72)  
(ce qui permettra la comparaison avec les mesures dans le cas d'un suivi)
  - ✓ cette production primaire en sortie du champ de capteurs (plus pertinente ici) prendra la place de la production primaire habituelle dans les résultats CESC.

### 3.9. Autres extensions envisageables ou pas

La conception modulaire de SOLO2018 (déjà en germe même si moins explicite dans SOLO originel) permet d'envisager d'autres extensions mais qui ne rentrent pas dans le cadre de ce travail. Certaines paraissent abordables simplement, d'autres posent plus de problème a priori.

#### 3.9.1 Systèmes avec bouclage sur le solaire :

Les systèmes avec retour du bouclage sur le solaire sont à étudier même si les risques d'une mauvaise valorisation du solaire sont élevés. Notons d'abord que l'intégration des apports solaires indirects au bouclage (lorsqu'ils sont possibles) permet déjà à SOLO2018 de fournir des résultats plus pertinents sur ces installations.

Une approche complète passerait par une définition des besoins totaux non seulement en terme de besoin énergétique, ce qui est utilisé pour la prise en compte des apports indirects au bouclage mais aussi des niveaux de température. Et la prise en compte de la régulation du retour bouclage<sup>2</sup> pose alors problème dans le modèle de base de SOLO. Le sujet est donc à l'étude mais la solution n'est pas finalisée.

#### 3.9.2. Réseaux de chaleur :

Les réseaux de chaleur sont un autre cas intéressant même si la taille des réseaux permet d'envisager des études plus fines et plus coûteuses. SOLO pourrait permettre de dégrossir les problèmes. Le schéma est voisin d'un retour bouclage permanent sur le solaire. La difficulté est plutôt ici la gestion du stock, le stock proprement dit étant généralement faible mais le réseau tout entier ayant en fait une fonction de stock. Il faudra donc :

- ✓ définir un stock équivalent pour pouvoir utiliser ensuite l'équation de base de SOLO
- ✓ vérifier les contraintes liées en termes de puissance admissible sur le réseau (elle ne sera pas illimitée), un peu comme la température maximale autorisée pour le stock.

#### 3.9.3. Conclusion provisoire sur l'intérêt d'étendre la méthode SOLO

Il peut sembler absurde de vouloir continuer à utiliser, a fortiori étendre SOLO, méthode fruste et antédiluvienne. Mais le côté simple et robuste de SOLO présente de tels avantages en pratique qu'au moins l'étude de faisabilité de tels traitements mérite d'être envisagée.

Les évidents problèmes de précision de SOLO ne doivent pas occulter le fait que d'autres méthodes en apparence plus rigoureuses cachent souvent sous le tapis des incertitudes parfois du même ordre. L'imprécision des données (au sens large) constitue souvent la cause majeure de l'incertitude des résultats en solaires : données horaires fictives, coefficients caractéristiques des capteurs simplificateurs et relativement imprécis, différences entre le terrain et le modèle (régulation par exemple), etc. Les comparaisons faites entre les résultats de différentes méthodes sur des cas identiques le montrent bien. Il y aurait sans doute la place pour une méthode encore simple mais plus raffinée que SOLO mais c'est un travail lourd contrairement à une évolution modeste de SOLO comme celle présentée ici ou ses suites possibles.

---

<sup>2</sup> Le cas d'un retour permanent est facile à traiter mais c'est un mauvais choix technique...

## 4. Définition des résultats fournis par SOLO2018

Dans cette partie plutôt dédiés aux spécialistes du solaire qu'aux informaticiens, la terminologie proche de celle utilisée par l'Ademe est différente de celle adoptée aux chapitres 5, 6 et 7. Les termes utilisés sont en gras lors de leur première apparition. Il est essentiel de bien comprendre ces définitions si l'on veut comparer les résultats de SOLO2018 avec les mesures (outil de suivi par exemple) ou avec les résultats fournis par d'autres méthodes.

Rappel : dans l'installation de production considérée par SOLO, l'appoint est en série du solaire. Le même volume **Vecs** d'eau froide passe d'abord par le solaire puis par l'appoint.

### 4.1. Définition des besoins

#### 4.1.1. Définition du besoin utile SOLO2018 : inchangée

SOLO2018 comme SOLO classique définit un besoin utile **Becs** égal à l'énergie thermique nécessaire pour faire passer le volume **Vecs** d'eau chaude produite de la température **TEF** de l'eau froide à la température **TSA** de sortie de l'installation de production (sortie d'appoint) :

$$\text{Becs} = \text{Cp} \cdot \text{Vecs} \cdot (\text{TSA} - \text{TEF})$$

#### 4.1.2. Définition du besoin de bouclage SOLO2018

SOLO2018 définit et calcule les pertes (ie le besoin) de la boucle de distribution **Bbcl**

$$\text{Bbcl} = \text{Cp} \cdot \text{Vbcl} \cdot (\text{TDB} - \text{TRB})$$

- **TDB** et **TRB** étant les températures de départ et de retour bouclage<sup>3</sup>
- **Vbcl** étant le volume d'eau circulant dans la boucle

#### 4.1.3. Définition du besoin thermique total SOLO2018

SOLO2018 définit et calcule le besoin thermique total **BTh** auquel doit répondre l'installation de production ECS :

$$\text{BThTotal} = \text{Becs} + \text{Bbcl}$$

#### 4.1.4. Définition interne du besoin thermique étendu SOLO2018

SOLO2018 calcule en interne un besoin thermique étendu **BEtendu** qui n'est normalement pas accessible dans un outil basé sur la méthode SOLO2018. Il caractérise le besoin maximal susceptible d'être couvert par le solaire, ie la production maximale possible de l'installation et est utilisé par l'algorithme central de SOLO2018.

$$\text{BThTotal} \geq \text{BEtendu} \geq \text{Becs}$$

### 4.2. Définition des productions

#### 4.2.1. Définition de la production solaire SOLO2018

*Le point de définition reste inchangé*

La production solaire calculée par SOLO2018 et SOLO classique est la production solaire définie à la sortie du ballon solaire notée ici **Qstu**, c'est à dire l'énergie thermique permettant de faire passer le volume **Vecs** d'eau chaude d'une température d'eau froide **TEF** à la température en sortie du stock solaire **TSS** :

$$\text{Qstu} = \text{Cp} \cdot \text{Vecs} \cdot (\text{TSS} - \text{TEF}) \quad \text{Cp étant la capacité calorifique volumique de l'eau}$$

<sup>3</sup> La version actuelle de SOLO2018 suppose que TDB est proche de TSA.

*Mais la production n'est pas toujours plafonnée de la même façon*

Comme on l'a vu précédemment, contrairement à SOLO classique, SOLO2018 prend en compte pour les installations autorisant les apports solaires indirects au bouclage le fait que la température de sortie du stock solaire **TSS** puisse être supérieure ou égale à la température de sortie de l'appoint **TSA** et donc une production solaire supérieure au besoin utile. On peut en effet avoir en été durablement  $TSS > TSA$  et donc une production solaire utile supérieure au besoin utile. L'énergie supplémentaire vient compenser indirectement les besoins de bouclage. Elle n'est dans ce cas pas plafonnée par les besoins utiles **Becs** mais par **BEtendu**, paramètre interne calculé par SOLO2018 et par voie de conséquence aussi plafonnée par **BThTotal**.

*Apports solaires indirects possibles  $\Rightarrow Q_{stu} \leq BEtendu \leq BThTotal$*

Dans le cas d'une installation ne permettant pas les apports solaires indirects au bouclage, la production reste plafonnée par le besoin utile.

*Apports solaires indirects impossibles  $\Rightarrow Q_{stu} \leq Becs \leq BThTotal$*

#### **4.2.2. Définition de la production solaire primaire SOLO2018**

*Cette production est définie à l'entrée du stock solaire*

La production solaire primaire au sens de SOLO2018 est définie à l'entrée du stock solaire. Compte tenu des hypothèses de la version actuelle (pertes échangeur et secondaire négligées), elle est identique à la production définie à la sortie du circuit primaire (entrée de l'échangeur si on a un échangeur externe) et donc comparable à une mesure d'énergie faite en ce point.

La production primaire est toujours calculée à partir de la production solaire SOLO2018, elle intègre donc le fait que les apports solaires indirects soient ou non possibles.

### **4.3. Définition des taux SOLO2018**

#### **4.3.1. Définition du taux de couverture solaire SOLO2018**

*La définition du ratio reste inchangée*

Le taux de couverture solaire **CouvSol** calculé par SOLO2018 est toujours défini par le ratio entre la production solaire **Qstu** calculée par SOLO et le besoin utile **Becs** :

$$\text{CouvSol} = Q_{stu}/\text{Becs}$$

*Mais ce taux de couverture solaire n'est plus plafonné par 1*

La production solaire pouvant être supérieure au besoin utile, le taux de couverture solaire calculé par SOLO2018 peut être supérieur à 1.

#### **4.3.2. Définition du taux d'économie d'énergie SOLO2018**

À partir du besoin thermique total de production incluant les pertes de bouclage on définit le taux d'économie d'énergie **TauxEcoEn** par le ratio entre la production solaire **Qstu** calculée par SOLO2018 et le besoin thermique total **BThTotal** :

$$\text{TauxEcoEn} = Q_{stu}/\text{BThTotal}$$

Ce taux d'économie d'énergie (contrairement au taux de couverture solaire) est toujours inférieur ou égal à 1. Il caractérise le poids réel du solaire par rapport au besoin énergétique global de la production ECS.

## 4.5. Prise en compte des apports solaires indirects au bouclage

### 4.5.1. La situation réelle et SOLO classique

On a vu plus haut que la méthode SOLO classique considérait que la production solaire se limitait à un préchauffage de l'eau consommée, indépendamment de tout ce qui se passe en aval et interdisait en conséquence des taux de couverture solaires supérieurs à 1, c'est à dire une production solaire supérieure au besoin utile. La température de sortie du stock solaire (caractérisant la production) ne pouvait dépasser en moyenne la température de sortie de l'appoint (caractérisant le besoin utile), ce qui est parfois pourtant le cas en pratique.

Une bonne météo et une faible consommation suffisent certains mois pour qu'il rentre plus d'énergie solaire dans l'appoint qu'il n'en sort sous forme d'énergie *utile* (c'est à dire visible au travers de la température de l'eau sortant de l'appoint). Ce surplus n'est pas perdu car le besoin énergétique d'appoint comprend le complément du besoin utile mais aussi les pertes du stock d'appoint et surtout les besoins de bouclage dès lors que le bouclage revient sur le stock d'appoint. Le surplus de production solaire sert à compenser en partie :

- ✓ les pertes de la production d'appoint éventuellement (stock appoint)
- ✓ les pertes du bouclage qui ne sont théoriquement pas couvertes par le solaire

### 4.5.2. Les inconvénients de l'approche SOLO classique

La non prise en compte de cela par SOLO classique entraîne (sur certains mois d'été surtout)

- une sous-estimation de la production dès que le taux de couverture d'été est élevé :
  - ✓ le surdimensionnement est donc fortement pénalisé, ce qui est pédagogique
  - ✓ en contrepartie, on défavorise la recherche de taux de couverture un peu plus élevés
  - ✓ cette recherche de taux de couverture un peu plus élevée étant aujourd'hui privilégiée, une meilleure compréhension du phénomène paraît utile
- une perte de pertinence du ratio de production (production mesurée / production théorique) dans le cadre du suivi ce qui a des conséquences plus gênantes :
  - ✓ fausser l'analyse du fonctionnement de l'installation : on peut avoir une installation ne fonctionnant pas optimalement mais ayant un ratio de production élevé,
  - ✓ rendre difficile l'interprétation des résultats de suivi par un non-spécialiste : un taux de couverture solaire supérieur à 1 par exemple peut paraître étonnant !

### 4.5.3. L'approche SOLO2018

SOLO2018 peut prendre en compte ces apports indirects au bouclage et donc fournir un taux de couverture solaire supérieur à 1. Cependant, la production solaire reste plafonnée mais pas forcément par **Becs**.

- L'utilisateur doit préciser si les apports indirects sont possibles ou non. Lorsque les apports indirects au bouclage ne sont pas possibles (par exemple réchauffeur de boucle indépendant et pas de stock d'appoint), la production solaire reste plafonnée par le besoin utile **Becs**.
- Lorsque les apports indirects sont possibles, la production solaire est plafonnée par le besoin total **BThTotal** ( $BThTotal = Becs + Bbcl$ ).
- Mais l'apport indirect au bouclage implique une montée en température du stock solaire. Celui-ci a une température maximale autorisée **TMaxStock** que la régulation prend normalement en compte. SOLO2018 en tient compte et définit en interne un plafond de production **BThSolarisable**  $\leq BThTotal$  afin de respecter la température limite du stock.

## 5. TERMINOLOGIE utilisées dans les algorithmes

### 5.1. Terminologie générale

Un projet définit l'ensemble des paramètres nécessaires à un calcul SOLO2018 (installation solaire, site, utilisation, contexte d'utilisation). Le calcul proprement dit consiste à accomplir un certain nombre de tâches permettant de calculer les paramètres de sortie à partir des paramètres d'entrée. On a deux sortes de paramètres :

- **paramètres simples.** Un paramètre est dit simple si la modification de sa valeur n'implique aucun changement dans les algorithmes, mais un simple recalcul. La valeur d'un paramètre simple est définie par l'utilisateur par saisie directe ou par choix dans une liste prédéfinie
- **Paramètres structurants.** Un paramètre est dit structurant si la modification de sa valeur influe sur la structure de l'algorithme de SOLO2018 (sous-algorithmes différents, entrées nécessaires différentes, etc.). La valeur du paramètre est définie par l'utilisateur par choix entre diverses options. Ces paramètres structurants sont de nature diverse. La terminologie des catégories essentielles de paramètres structurants est précisée ici :
  - **Type** : Une installation de production ECS solaire est caractérisée par un certain nombre de caractéristiques générales : schéma, sous-schéma, etc. C'est l'utilisateur de SOLO2018 qui doit définir la typologie de son installation mais ce choix est contraint par la nature de l'installation étudiée. La définition de la typologie fixe les composants essentiels que l'utilisateur devra définir ensuite.
  - **Composant** : Un projet est composé d'un ensemble hiérarchisé de composants correspondant chacun à un sous-ensemble réel ou virtuel (par exemple installation solaire, stock solaire, besoins ECS, etc.). Chaque composant est défini par les sorties qu'il propose, sorties utilisées comme entrées par d'autres composants. À chaque composant est associé une tâche calculant les données de sortie à partir des données d'entrée
  - **Modèle** : Un même composant de SOLO2018 admet souvent plusieurs modèles. Chaque modèle se caractérise par les données d'entrée associées au composant dans ce modèle (tous les modèles d'un composant ont par contre les mêmes sorties). On a souvent un modèle par défaut et des modèles optionnels plus détaillés. L'utilisateur choisit à son gré le modèle utilisé pour un composant en fonction des données dont il dispose.
  - **MéthodeAlgo** [Notion précisée au sous-chapitre suivant pour ceux qui sont intéressés.] : Une méthodeAlgo définit comment est exécutée en pratique la tâche définissant les données de sortie d'un composant. C'est un paramètre interne invisible pour l'utilisateur. On a en fait une méthode unique SOLO2018 pour une tâche et un modèle de composant donné mais cette notion facilite :
    - ✓ l'évolution ultérieure : changement éventuel de la MéthodeAlgo associée au modèle
    - ✓ la comparaison avec d'autres méthodes : par exemple intégrer dans un même outil les MéthodeAlgo de SOLO2018 et de SOLOClassique pour pouvoir comparer directement les résultats pour un même projet (aux limitations de données de SOLOClassique près).

On utilisera parfois dans le texte les termes SOLOClassique et SOLO2000 :

- ✓ SOLOClassique : se réfère à l'ancien outil (et méthode associée) SOLO TECSOL
- ✓ SOLO2000 : référence à l'outil (et méthode associée) SOLO2000 CSTB

Certaines conventions de typographie seront appliquées autant que possible :

- Dans les listes de types, de modèles, d'algos, les éléments en italique et fond grisé sont des choix non traités actuellement mais qui pourraient l'être dans une version ultérieure.
- Les introduire ici facilitera leur intégration ultérieure éventuelle. Les éléments en italiques sur fond bleu correspondent à des éléments optionnels dépendant du modèle effectif.

## 5.2. Note préliminaire sur les algorithmes (tâches & méthodes)

*Ce sous-chapitre peut être sauté, en particulier si on s'intéresse seulement au contenu des algorithmes mais il peut être utile pour les concepteurs d'un outil intégrant SOLO2018.*

L'exécution d'un calcul SOLO2018 correspond à l'exécution d'un certain nombre de tâches. Chaque tâche est associée à un composant et plus précisément à un modèle de composant. La tâche a généralement pour but de calculer à partir des paramètres d'entrée d'un modèle de composant les paramètres de sortie de ce composant.

Le traitement de la tâche est fait par un algorithme que nous appelons **MéthodeAlgo**. La suite de ce document décrit les différentes tâches et les différentes MéthodeAlgos de SOLO2018.

### MéthodeAlgo en tant que paramètre

Afin d'avoir toujours les mêmes résultats pour un même projet, SOLO2018 utilise toujours la même **méthodeAlgo** pour un même modèle de composant. Cependant, la conception de SOLO2018 a été faite en intégrant la possibilité d'avoir plusieurs **MéthodeAlgo** pour une même tâche afin de :

- ✓ faciliter l'ajustement de certaines valeurs internes dans la phase de finalisation (en particulier valeurs par défaut)
- ✓ faciliter les évolutions ultérieures de SOLO2018
- ✓ permettre d'intégrer des méthodes comme SOLOClassique ou autres dans un outil unique de façon simple
- ✓ permettre dans ce document une comparaison avec les anciennes méthodes

### MéthodeAlgoModèle et MéthodeAlgoComposant

Pour des raisons pratiques, on regroupe souvent toutes les méthodes relatives aux différents modèles d'un même composant sous forme d'une MéthodeAlgo globale pour ce composant. On a donc deux sortes de MéthodeAlgo suivant qu'on se place au niveau du modèle de composant ou au niveau du composant (éventuellement multi-modèles). Cette distinction hiérarchique est utile dans certains cas mais les deux niveaux de méthodes sont bien cependant similaires.

- La réalisation de la tâche permettant dans un modèle de composant donné de passer des données d'entrée aux données de sortie est une **MéthodeAlgoModèle**.
- La réalisation de la tâche permettant dans un composant donné de passer des données d'entrée aux données de sortie, quel que soit le modèle est une **MéthodeAlgoComposant**. Le modèle devient un paramètre d'entrée de la **MéthodeAlgoComposant**.

Chaque **MéthodeAlgoComposant** inclut donc autant de **MéthodeAlgoModèles** qu'il y a de modèles pour le composant, le paramètre modèle permettant lors de l'exécution de choisir la méthode effectivement utilisée. On adoptera implicitement cette hiérarchie pour présenter les différents algorithmes par la suite.

## 6. PARAMETRES & CONSTANTES

Un paramètre X variant suivant le mois sera noté :

X_M	Valeur moyenne mensuelle de X (paramètre intensif. Ex : Température)
Tab_X_M	Tableau des 12 valeurs moyennes mensuelles de X
X_A	Valeur moyenne annuelle de X (paramètre intensif)
X_JM	Valeur journalière en moyenne mensuelle de X (paramètre extensif. Ex : énergie)
X_MM	Valeur mensuelle cumulée de X (paramètre extensif)
X_JA	Valeur journalière en moyenne annuelle de X (paramètre extensif)
X_AA	Valeur annuelle cumulée de X (paramètre extensif)
Tab_X_JM	Tableau des 12 valeurs journalières en moyenne mensuelle de X (paramètre extensif)
Tab_X_MM	Tableau des 12 valeurs mensuelles cumulées de X (paramètre extensif)

### 6.1. Paramètres utilisés

#### *Paramètres correspondant aux types d'installations*

##### **Typologie des installations**

TypeSchemaProductionECS	Schéma général de production ECS
TypeSousSchemaSolaire	Sous-schéma production solaire
TypeSousSchemaBoucle	Sous-schéma relations entre solaire et boucle
TypeCirculation	Type de circulation primaire (déduit du sous-schéma solaire)
TypeEchangeurSolaire	Type d'échangeur solaire (déduit du sous-schéma solaire)
TypeEnvStockSolaire	Type d'environnement du stock solaire

#### *Paramètres correspondant aux modèles de définition des composants*

##### **Modèles des composants relatifs à l'installation de production ECS**

ModeleCapteur	Modèle de définition du capteur
SousModeleCapteurPredefini	Modèle de définition pour les capteur prédéfinis
ModelePrimaire	Modèle de définition du circuit primaire
ModelePEchangeur	Modèle de définition de l'échangeur (en fait de sa puissance)
ModeleStockSolaire	Modèle de définition du stock solaire
ModeleGeometrieBallon	Modèle de définition de la géométrie d'un ballon
ModeleIsolantStockSolaire	Modèle de définition de l'isolant (isolant prédéfini ou saisie manuelle)
ModeleBoucle	Modèle de définition du bouclage
ModelePEchangeurET	Modèle de définition de l'échangeur eau technique (de sa puissance)
ModeleDebitET	Modèle de définition du débit eau technique
ModelePerteET	Modèle de définition des pertes du circuit eau technique

SaisonnaliteTEnvStockSolaire	Modèle de saisonnalité de la température autour du stock solaire
------------------------------	--

##### **Modèles des composants relatifs aux besoins ECS**

ModeleEauFroide	Modèle de définition de la température eau froide
ModeleVEauChaude	Modèle de définition du volume de référence eau chaude
SaisonnaliteTEauFroide	Modèle de saisonnalité de la température de l'eau froide
SaisonnaliteTEauChaudeProduite	Modèle de saisonnalité de la température de l'eau chaude produite
SaisonnaliteTEauChaudeDistribuee	Modèle de saisonnalité de la température de l'eau chaude distribuée
SaisonnaliteVEauChaudeProduite	Modèle de saisonnalité du volume d'eau chaude produite
SaisonnaliteVEauChaudeDistribuee	Modèle de saisonnalité du volume d'eau chaude distribuée

#### *Paramètres correspondant aux algorithmes de traitement (voir plus loin)*

##### **Algorithmes concernant les composants de l'installation**

AlgoPEch11	calcul par défaut de la puissance de l'échangeur par m <sup>2</sup> capteur par °C
AlgoKt	calcul par défaut des pertes du primaire

##### **Algorithmes concernant le traitement du rayonnement (rayonnement disponible)**

AlgoCourbeCorrIncidence	Courbe de correction choisie par rapport à l'incidence
AlgoCorrIncidence	Heures de référence pour la correction d'incidence

##### **Algorithmes concernant l'eau technique**

AlgoPincement	calcul du $\Delta T$ caractéristique dans un CESCET
AlgoDebitECSMax10	calcul du débit 10' ECS maximal

*Paramètres caractéristiques du dimensionnement de l'installation***Capteurs solaires**

S1Capt	m <sup>2</sup>	Surface unitaire capteur solaire
n0Capt	-	Coefficient caractéristique capteur solaire (norme actuelle)
a1Capt	W/m <sup>2</sup> /K	Coefficient caractéristique capteur solaire (norme actuelle)
a2Capt	W/m <sup>2</sup> /K <sup>2</sup>	Coefficient caractéristique capteur solaire (norme actuelle)
Bcapt	-	Coefficient caractéristiques capteur solaire (ancienne norme française)
Kcapt	W/m <sup>2</sup> /K	Coefficient caractéristiques capteur solaire (ancienne norme française)

**Champ de Capteurs solaires**

NbCapt	-	Nombre de capteurs
SCapt	m <sup>2</sup>	Surface totale de capteurs
InclCapt	degré	Inclinaison des capteurs (par rapport à l'horizontale)
AzimCapt	degré	Orientation capteurs (hémisphère nord :/sud ; hémisphère sud :/nord)

**Circuit Primaire (tuyauteries)**

LongPrimaire	m	Longueur des tuyauteries primaire
KLPrimaire	W/m/K	Coefficient linéique de perte des tuyauteries du primaire
KtPrimaire	W/K	Coefficient de perte (conductance thermique) des tuyauteries primaire
Kt1Primaire	W/m <sup>2</sup> /K	Coefficient unitaire (par m2 de capteur) de perte tuyauteries primaire

**Primaire global (tuyauteries+capteurs)**

KgPrimaire	W/K	Perte globale primaire (conductance thermique) (capteur+tuyauteries)
Kg1Primaire	W/m <sup>2</sup> /K	Perte globale primaire unitaire (conductance par m <sup>2</sup> de capteur)

**Échangeur solaire**

PEch11	W/m <sup>2</sup> /K	Puissance échangeur unitaire (par m <sup>2</sup> de capteur et par degré)
Pech	W/K	Puissance échangeur totale

**Circuit solaire amont stock solaire (Capteurs+Primaire+Échangeur)**

EfficaciteTransfert	-	Efficacité globale jusqu'au stock solaire (capt+primaire+échangeur)
---------------------	---	---

**Ballon solaire**

V1StockSolaire	litres	Volume individuel des ballons du stock solaire (supposés identiques)
LambdaIsoStockSolaire	W/m/K	Conductivité de l'isolant des ballons du stock solaire
EpaisIsoStockSolaire	cm	Épaisseur de l'isolant des ballons du stock solaire

**Stock solaire (« champ de ballons »)**

NbBallonsStockSolaire	-	Nombre de ballons dans le stock
VStockSolaire	litres	Volume global du stock solaire
CRStockSolaire	Wh/l/K/jour	Constante de refroidissement du stock solaire
TMaxStockSolaire	°C	Température maximale acceptable pour le stock solaire <sup>4</sup>

**Circuit de distribution**

LongBoucle	m	Longueur du circuit de bouclage
KLBoucle	W/m/K	conductance linéique de la boucle de distribution (pertes)
KGBoucle	W/K	Conductance globale de la boucle de distribution (pertes)

**Circuit eau technique**

LongET	m	Longueur du circuit eau technique
KLET	W/m/K	conductance linéique du circuit eau technique (pertes)
KGET	W/K	Conductance globale du circuit eau technique (pertes)
PEchET1	W/m <sup>2</sup> /K	puissance échangeur ET/ECS par °C

*Paramètres caractéristiques de l'environnement de l'installation***Environnement Stock solaire**

TEnvStockSolaire_M	°C	Température autour du stock solaire
--------------------	----	-------------------------------------

**Environnement boucle de distribution**

TEnvBoucle	°C	Température moyenne autour de la boucle de distribution
TRefBoucle	°C	Température moyenne de la boucle de distribution

---

<sup>4</sup> Ce n'est pas à proprement parler un paramètre de dimensionnement mais une contrainte de dimensionnement

*Données géographiques et météorologiques*

Latitude	degrés	Latitude du site en degrés décimaux <sup>5</sup>
TExt_M	°C	température météo moyenne mensuelle sur site
RGlobalHz_JM	kWh/m <sup>2</sup> /jour	Rayonnement global horizontal journalier en moyenne mensuelle
TExt_A	°C	température météo moyenne annuelle sur site

*Paramètres des besoins***Données mensuelles**

TEF_M	°C	température moyenne mensuelle eau froide
TECS_Pro_M	°C	température moyenne mensuelle eau chaude produite
TECS_Dis_M	°C	température moyenne mensuelle eau chaude distribuée (post mitigeur)
VECS_Pro_JM	litres	Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude produite
VECS_Dis_JM	litres	Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude distribuée

**Données annuelles**

TECS_Pro_A	°C	température moyenne annuelle eau chaude produite
TECS_Dis_A	°C	température moyenne annuelle eau chaude distribuée (post mitigeur)
VECS_Pro_JA	litres	Consommation journalière moyenne annuelle eau chaude produite
VECS_Dis_JA	litres	Consommation journalière moyenne annuelle eau chaude distribuée

*Résultats intermédiaires internes***Relatifs aux apports éventuels au bouclage**

TECS_Etendu_M	°C	température ECS équivalente pour la production solarisable
BECS_Etendu_JM	kWh	besoins journaliers solarisables en moyenne mensuelle
ESol_Base_JM	kWh	Production solaire de base journalière en moyenne mensuelle
ESol_Etendu_JM	kWh	Production solaire étendue journalière en moyenne mensuelle

**Relatifs aux schémas CESCET**

ESol_CESC1_JM	kWh	Production solaire virtuelle préliminaire du CESC sous-jacent
ESol_CESC_JM	kWh	Production solaire finale du CESC sous-jacent à un CESCET
ESol_ProET_JM	kWh	Production solaire CESCET en sortie de ballon solaire
EPerteET_JM	kWh	Pertes du circuit eau technique
DeltaTcorr_ET	°C	ΔT caractéristique de la pénalisation eau technique

**Relatifs aux besoins primaires**

BPrimaire_JM	kWh	besoins journaliers au primaire en moyenne mensuelle
--------------	-----	--

*Résultats***Rayonnement global sur le plan des capteurs (brut et corrigé)**

RGlobal_JM	kWh/m <sup>2</sup> /jour	Rayonnement sur plan sdes capteurs journalier en moyenne mensuelle
RDisponible_JM	kWh/m <sup>2</sup> /jour	Rayonnement disponible corrigé journalier en moyenne mensuelle

**Besoins de production ECS (besoins « utiles »)**

BECS_Pro_JM	kWh	besoins journaliers de production ECS en moyenne mensuelle
BECS_Pro_MM	kWh	besoins mensuels de production ECS
BECS_Pro_AA	kWh	besoins annuels de production ECS

**Besoins thermiques totaux (production utile + pertes de bouclage)**

BECS_ThTotal_JM	kWh	besoins journaliers étendus en moyenne mensuelle
BECS_ThTotal_MM	kWh	besoins mensuels étendus
BECS_ThTotal_AA	kWh	besoins annuels étendus

**Production solaire finale**

ESol_Pro_JM	kWh	Production solaire (sortie solaire) journalière en moyenne mensuelle
ESol_Pro_MM	kWh	Production solaire (sortie solaire) mensuelle étendue
ESol_Pro_AA	kWh	Production solaire (sortie solaire) annuelle étendue

**Production solaire primaire**

ESol_Primaire_JM	kWh	Production solaire (sortie solaire) journalière en moyenne mensuelle
ESol_Primaire_MM	kWh	Production solaire (sortie solaire) mensuelle étendue
ESol_Primaire_AA	kWh	Production solaire (sortie solaire) annuelle étendue

TauxEcoEnergie\_M  
CouvSol\_Pro\_M

<sup>5</sup> Attention à la définition de la latitude : degrés décimaux, ou degrés et minutes.

## 6.2. Constantes utilisées (constantes de structuration et numériques)

### 6.2.1. Typologie des installations

SOLO2018 reprend la typologie de SOLOClassique mais la structure permet l'intégration future de nouveaux types d'installations. Le type de l'installation est défini par deux paramètres : **TypeSchemaProductionECS** et **TypeSousSchemaSolaire**.

- **TypeSchemaProductionECS** définit le schéma général de l'installation production ECS. Le seul schéma de production traité est aujourd'hui le CESC (le CESCO pourrait l'être).
- **TypeSousSchemaSolaire** définit le schéma de l'installation solaire proprement dite. Les types de sous-schéma solaire possibles dépendent du schéma de production ECS. Les sous-schémas solaires du CESC correspondent aux 5 cas habituels de SOLOClassique.
- **TypeSousSchemaBoucle** précise les possibilités éventuelles d'apport d'énergie solaire à la boucle de distribution dans le cas d'un CESC.
- **TypeCirculation** et **TypeEchangeurSolaire** sont deux paramètres typologiques dérivés définis automatiquement à partir de la valeur de **TypeSous-Schéma Solaire**.
- **TypeEnvStockSolaire** précise la saisonnalité de la température autour du stock solaire.

*Les schémas et sous-schémas non opérationnels sont cités en italiques grisés*

- *Les sous-schémas solaires CESCO précisent la disposition des branches.*
- *Les sous-schémas solaires CESCOAI sont les variantes CESCOAI de CESC1 et CESC2*
- *Les sous-schémas solaires CESCOAI sont les variantes CESCOAI de CESC1 et CESC2*

*TypeSchemaProductionECS : Schémas ECS traités ou envisagés (grisé italique)*

SchemaProductionECS_CESC	1	« CESC » (collectif)
<i>/*SchemaProductionECS_CESCO</i>	<i>2</i>	<i>« CESCO » (collectif individualisé) */</i>
<i>/*SchemaProductionECS_CESCOAI</i>	<i>3</i>	<i>« CESCOAI » (collectif à appoint individualisé) */</i>
SchemaProductionECS_CESCET	4	« CESC eau technique » (collectif eau technique/morte)

*TypeSousSchemaSolaire : sous-schémas solaires CESC*

CESC1EchExt2P	11	"Échangeur externe - 2 pompes"
CESC2EchNoye1P	12	"Échangeur noyé - 1 pompe"
CESC3Direct1P	13	"Direct sans échangeur - 1 pompe"
CESC4EchNoyeThermosiphon	14	"Échangeur noyé - thermosiphon"
CESC5DirectThermosiphon	15	"Direct sans échangeur - thermosiphon"

*TypeSousSchemaSolaire : sous-schémas solaires CESCO*

<i>CESCO1Parapluie1P</i>	<i>21</i>	<i>"Distribution parapluie - 1 pompe"</i>
<i>CESCO2Rateau1P</i>	<i>22</i>	<i>"Distribution rateau - 1 pompe"</i>

*TypeSousSchemaSolaire : sous-schémas solaires CESCOAI*

<i>/*CESCOAI1EchExtBoucle2PIP</i>	<i>31</i>	<i>"Échangeur externe &amp; boucle - 2 pompes+1Pompe" */</i>
<i>/*CESCOAI2EchNoyeBoucle1PIP</i>	<i>32</i>	<i>"Échangeur noyé &amp; boucle - 1 pompe + 1" */</i>

*TypeSousSchemaSolaire : sous-schémas solaires CESC Eau Technique*

CESCET1EchExt2PIP	11	"Échangeur externe - 2 pompes+1"
CESCET2EchNoye1PIP	12	"Échangeur noyé - 1 pompe + 1"
CESCET3Direct1PIP	13	"Direct sans échangeur - 1 pompe"

*TypeSousSchemaBoucle : sous-schémas interaction solaire/boucle CESC*

Boucle1AucunApportSolaire	1	"pas d'apport solaire même indirect au bouclage"
Boucle2ApportSolaireIndirect	2	"apport solaire indirect au bouclage"
<i>/*Boucle3ApportSolaireDirectRegule</i>	<i>3</i>	<i>"apport sol direct retour boucle sur solaire régulé" */</i>
<i>/*Boucle4ApportSolaireDirectPermanent</i>	<i>4</i>	<i>"apport sol direct, retour boucle sur solaire permanent" */</i>

*TypeCirculation : Types de circulation primaire*

CirculationForcee	1
CirculationThermosiphon	2

*TypeEchangeurSolaire : Types d'échangeur solaire*

EchangeurExterne	1
EchangeurNoye	2
CircuitDirect	3

*TypeEnvStockSolaire : type d'environnement du stock solaire*

Intérieur	1
Extérieur	2

**6.2.2. Modèles de définition des composants**

Chaque composant d'un projet dont la définition implique des saisies par l'utilisateur a un ou plusieurs modèles de définition afin de s'adapter aux informations dont il dispose. Le choix du modèle relève de l'utilisateur. Les saisies nécessaires par l'utilisateur en fonction des modèles sont en gras ou en italique gras si la saisie n'est pas détaillée (plusieurs paramètres à saisir).

*Installation solaire**ModeleCapteur : Définition des caractéristiques des capteurs*

ModeleCapteurn0a1a2	1	( <b>S,n0,a1,a2</b> ) saisi par l'utilisateur
ModeleCapteurBK	2	( <b>S,B,K</b> ) saisi par l'utilisateur
ModeleCapteurPredefini	3	<b>capteur</b> choisi dans une liste prédéfinie

*SousModeleCapteurPredefini : Définition caractéristiques capteurs prédéfinis*

SousModeleCapteurPredefiniBK	31	capteur prédéfini modèle BK
SousModeleCapteurPredefiniin0a1a2	32	capteur prédéfini modèle n0a1a2

*ModelePrimaire : Définition des pertes primaires*

ModelePrimaireDefaut	1	pertes = f( <b>SCapt</b> )
ModelePrimaireLongKL	2	pertes = f( <b>LongPrimaire,KLPrimaire</b> )

*ModelePEchangeur : Définition de la puissance échangeur (par m<sup>2</sup> capteur)*

ModelePEchangeurDefaut	1	PEch11 = f( <b>SCapt</b> )
ModelePEchangeurSaisiePEch11	2	<b>PEch11</b> saisi par l'utilisateur

*ModeleStockSolaire : Définition du stock solaire*

ModeleStockSolaireDefaut	1	( <b>VStockSolaire,CRStockSolaire</b> ) saisi par l'utilisateur
ModeleStockSolaireMultiBallonsId	2	( <b>V1StockSolaire, NbBallonsStockSolaire,isolant</b> )

*ModeleGeometrieBallon : Définition de la géométrie d'un ballon*

ModeleBallonStandard	1	ballon défini par <b>VBallon</b> (Géométrie fixée)
/*ModeleBallonHsurD	1	ballon défini par <b>VBallon</b> et <b>ratio hauteur/diamètre*</b>
/*ModeleBallonDetaille	1	ballon détaillé par <b>VBallon, hauteur, diamètre</b> */

*ModeleIsolantStockSolaire : Définition de la nature de l'isolant du stock solaire*

IsolantAutre	1	( <b>ambdaIsolStockSolaire</b> saisi par l'utilisateur
IsolantLainedeRoche	2	Isolant = Laine de roche
IsolantPolyurethane	3	Isolant = polyurethane
/*IsolantXX	4	Isolant = XX, la liste prédéfinie peut être allongée */

*Besoins**ModeleEauFroide : Définition de la température eau froide*

ModeleEauFroideESM2	1	TEF = ESM2(TE <sub>ext</sub> ) [méthodeESM2]
ModeleEauFroideESM2Plus3	2	TEF = ESM2(TE <sub>ext</sub> )+3 [méthodeESM2 +3°C]
ModeleEauFroideManuel	3	( <b>TEF</b> ) saisi par l'utilisateur

*ModeleEauChaude : Définition des besoins d'eau chaude*

ModeleVEauChaudeTPro	1	( <b>VEauChaude_à_TPro,TPro</b> ) saisie utilisateur
ModeleVEauChaudeTDis	2	( <b>VEauChaude_à_TDis,TDis,TPro</b> ) saisie utilisateur
/*ModeleVEauChaudeTPui	3	( <b>VEauChaude_à_TPui,TPui,TPro</b> ) saisie utilisateur*/

*Boucle de distribution**ModeleBoucle : Définition des pertes de bouclage*

ModeleBoucleDebitDelta	1	( <b>DébitBoucle,DeltaBoucle</b> ) saisie utilisateur
ModeleBoucleLongKL	2	( <b>LongBoucle,KLBoucle</b> ) saisie utilisateur
ModeleBoucleBon	3	$KGBoucle = f1(VEauChaude)$
ModeleBoucleMoyen	4	$KGBoucle = f2(VEauChaude)$
ModeleBoucleMauvais	5	$KGBoucle = f3(VEauChaude)$

*Circuit eau technique (et paramètres associés)**ModelePEchangeurET : Définition de l'échangeur eau technique/ECS*

ModelePEchangeurETDefault	1	$PEchET1 = f(SCapt)$
ModelePEchangeurETSaisiePEchET1	2	( <b>PEchET1</b> ) saisie utilisateur

*ModeleDebitET : Définition du débit du circuit eau technique*

ModeleDebitETDefault	1	$(LongET,KLET) = (LongETDefault,KLETDefault)$
ModeleDebitETSaisie	2	( <b>DebitET</b> ) saisie utilisateur

*ModelePerteET : Définition des pertes du circuit eau technique*

ModelePerteETDefault	1	$(LongET,KLET) = (LongETDefault,KLETDefault)$
ModelePerteETLongKLSaisie	2	( <b>LongET,KLET</b> ) saisie utilisateur

*Saisonnalité**ModeleSaisonnalité : Définition de la saisonnalité*

ModeleAnnuel	1	1 seule valeur moyenne annuelle saisie par l'utilisateur
ModeleMensuel	2	12 valeurs moyennes mensuelles saisies par l'utilisateur

Ce modèle est défini de la même façon dans plusieurs composants. On a en fait les modèles :

*SaisonnaliteTEauFroide,*

*SaisonnaliteTEauChaudeProduite, SaisonnaliteTEauChaudeDistribuee,*

*SaisonnaliteVEauChaudeProduite,SaisonnaliteVEauChaudeDistribuee,*

*SaisonnaliteTEnvStockSolaire*

[ la saisonnalité est définie identiquement pour le paramètre de type TEnvStockSolaire vu plus haut]

### 6.2.3. Valeurs par défaut des paramètres des modèles de composants

SOLO2018 utilise quelques constantes standardisées et de nombreuses valeurs par défaut même si certains modèles permettent la saisie de valeurs différentes pour un paramètre donné.

#### Constantes physiques

CpECS	1.16	Wh/litre/K	Capacité calorifique de l'eau
CpET	1.16	Wh/litre/K	Capacité calorifique de l'eau

#### Constantes mensuelles

Tab_JourRef_M	[15,45,74,105,135,166,196,227,258,288,319,349]	jour de référence du mois
Tab_LongMois_M	[31,28,31,30,31,30,31,31,30,31,30,31]	nombre de jours du mois

#### Paramètres caractéristiques installation solaire (constantes suivant modèle+algo)

<b>DebitQ1Primaire</b>	<b>Débit calorifique primaire par m<sup>2</sup> capteur</b>
DebitQ1PrimaireForceDefaut	40 W/K/m <sup>2</sup> historique : SOLOclassique
DebitQ1PrimaireThermosiphonDefaut	10 W/K/m <sup>2</sup> historique : SOLOclassique
<b>PEch11</b>	<b>puissance échangeur par m<sup>2</sup> capteur</b>
PEch11_SOLOclassique_Defaut	50 W/K/m <sup>2</sup> historique : SOLOclassique
PEch11_SOLO2000_Defaut	50 W/K/m <sup>2</sup> historique : SOLO2000
PEch11_SOLO2018_Defaut	100 W/K/m <sup>2</sup> nouvelle valeur par défaut
/*PEch11Externe_SOLO2018_Defaut	100 évolution éventuelle */
/*PEch11Noye_SOLO2018_Defaut	? évolution éventuelle */
<b>EfficaciteRegul</b>	<b>Efficacité de la régulation</b>
EfficaciteRegulThermosiphonDefaut	0.95 - identique SOLOclassique
EfficaciteRegulForceDefaut	0.9 - identique SOLOclassique
<b>Lambda</b>	<b>conductivité isolants prédéfinis</b>
LambdaLainedeRoche	0.04 W/m/K
LambdaPolyuréthane	0.03 W/m/K
...	

#### Paramètres relatifs au bouclage (constantes strictes)

VECS_LgtRef_JA	100 litres/jour	ConsoECS logement moyen
TEnvBaseBoucle	20 °C	Température autour boucle
TRefBoucle	55 °C	Température référence boucle

#### Paramètres relatifs au bouclage (constantes suivant modèles)

<b>Long1Boucle</b>	<b>Longueur de boucle par logement de référence</b>
Long1BoucleBon	6 m/lgt Longueur boucle/logement
Long1BoucleMoyen	9 m/lgt Longueur boucle/logement
Long1BoucleMauvais	12 m/lgt Longueur boucle/logement
<b>KLboucle</b>	<b>Conductance linéique de boucle</b>
KLboucleBon	0.2 W/m/K Conductance linéique boucle
KLboucleMoyen	0.3 W/m/K Conductance linéique boucle
KLboucleMauvais	0.4 W/m/K Conductance linéique boucle

#### Paramètres relatifs à l'eau technique (constantes strictes)

KLETDfault	0.3 W/m/ K	Conductance linéique circ. ET
LongETDfault	10 m	Longueur circuit eau technique
PEchET11Dfault	100 W/m <sup>2</sup> /K	Puissance Éch ET/ECS
Debit1ETDfault	40 l/h/m <sup>2</sup>	débit eau technique/m <sup>2</sup> capteur
RatioECSMax10SurJDfault	0.5 -	Ratio débit point/conso jour

*Paramètres utilisés pour les courbes d'approximation***paramètres de régression pour le calcul de B et K capteurs**

Liste_Phi_Ref	[1000]	W/m <sup>2</sup>	[une seule valeur d'irradiation]
Liste_DeltaT_Ref	[10,20,30,40,50,60]	°C	[6 valeurs de $\Delta$ température]

**Coefficients de la fonction de correction d'incidence de SOLO2018 (encore ajustable)**

Coeff0_CI_SOLO2018	1	-	coeff d'ordre 0
Coeff1_CI_SOLO2018	0	-	coeff d'ordre 1
Coeff3_CI_SOLO2018	-7e-7	-	coeff d'ordre 3

## 6.2.4. Méthodes algorithmiques

Notre modèle de développement intègre la possibilité d'avoir plusieurs MéthodeAlgos pour une même tâche (ce point est précisé au début du chapitre suivant) et de fait pour certaines tâches, différentes méthodes algorithmiques ont été étudiées

- ✓ soit aux fins de test
- ✓ soit pour faciliter l'intégration de méthodes anciennes dans un même outil

La méthode SOLO2018 ne définit bien sûr au final qu'une MéthodeAlgo pour chaque tâche. Mais nous évoquons ici pour certaines tâches des MéthodeAlgos alternatives envisagées.

- ✓ La MéthodeAlgo choisie pour SOLO2018 est en gras.
- ✓ Les méthodes en grisé sont des extensions envisagées mais non opérationnelles (nécessitant en général des saisie complémentaires et donc des variantes de modèles)

### *MéthodeAlgo de correction d'incidence (calcul du rayonnement disponible)*

<b>AlgoCourbeCorrIncidence</b>		<b>choix de la courbe de correction d'incidence</b>
CourbeCorrIncidence_Sans	1	pas de correction d'incidence (SOLOCassique)
CourbeCorrIncidence_Bosch	2	correction sur courbe capteur Bosch FKC-W
CourbeCorrIncidence_Green	3	correction sur courbe capteur Greenontec 8201-N4
<b>CourbeCorrIncidence_SOLO2018</b>	<b>4</b>	<b>Courbe de correction d'incidence SOLO2018</b>

<b>AlgoCorrIncidence</b>		<b>Combinaison horaire de correction d'incidence</b>
CorrectionMidi	1	correction basée sur l'incidence à midi
<b>CorrectionMidi10h</b>	<b>2</b>	<b>correction pondérée incidence à 10h et midi</b>
CorrectionMidi9h	3	correction pondérée incidence à 9h et midi
CorrectionMidi11h	4	correction pondérée incidence à 11h et midi
Correction10h	5	correction basée sur l'incidence à midi
Correction9h	6	correction basée sur l'incidence à midi

### *MéthodeAlgo Calcul SOLO (permet le calcul SOLO2018, SOLOCassique...)*

<b>AlgoPEch11</b>		<b>calcul de la puissance unitaire échangeur</b>
AlgoPEch11_SOLOCassique_Défaut	1	calcul de KEch SOLOCassique (50W/m <sup>2</sup> capteur)
AlgoPEch11_SOLO2000_Défaut	2	calcul de KEch SOLO2000 (50W/m <sup>2</sup> capteur)
<b>AlgoPEch11_SOLO2018_Défaut</b>	<b>3</b>	<b>calcul de KEch SOLO2018 (100W/m<sup>2</sup> capteur)</b>
<i>AlgoPEch11_SOLO2018_Détaille</i>	4	<i>calcul de KEch SOLO2000 (50W/m<sup>2</sup> capteur)</i>

<b>AlgoKt</b>		<b>Calcul des pertes primaires par défaut</b>
AlgoKt_SOLOCassique_Défaut	1	calcul de Kt défaut SOLOCassique (7+0,7 * Scapt)
lgoKt_SOLO2000_Défaut	2	calcul de Kt défaut SOLO2000 (5+0,5 * Scapt)
<b>AlgoKt_SOLO2018_Défaut</b>	<b>3</b>	<b>calcul de Kt défaut SOLO2018 (5+0,5 * Scapt)</b>

<b>AlgoSBallon</b>		<b>calcul surface d'un ballon à partir de VBallon seul</b>
AlgoSBallon_SOLOCassique	1	calcul classique S1=f(VBallon)
<i>/*AlgoSBallon_SOLO2000</i>	2	<i>calcul SOLO2000 S1=f(VBallon) */</i>
<b>AlgoSBallon_SOLO2018_Défaut</b>	<b>3</b>	<b>calcul SOLO2018 S1=f(VBallon)</b>
<i>/*AlgoSBallon_SOLO2018_HsurD</i>	4	<i>calcul SOLO2018 S1=f(VBallon,HSurD) */</i>
<i>/*AlgoSBallon_SOLO2018_Détaille</i>	5	<i>calcul SOLO2018 S1 = f(détaillé) */</i>

<b>AlgoPEchDétaille</b>		<b>calcul puissance échangeur suivant forme et taille</b>
<i>/*EchSerpentin</i>	1	<i>échangeur à serpentin */</i>
<i>/*EchTube</i>	2	<i>échangeur à tubes */</i>
<i>/*EchPlaque</i>	3	<i>échangeur à plaques */</i>

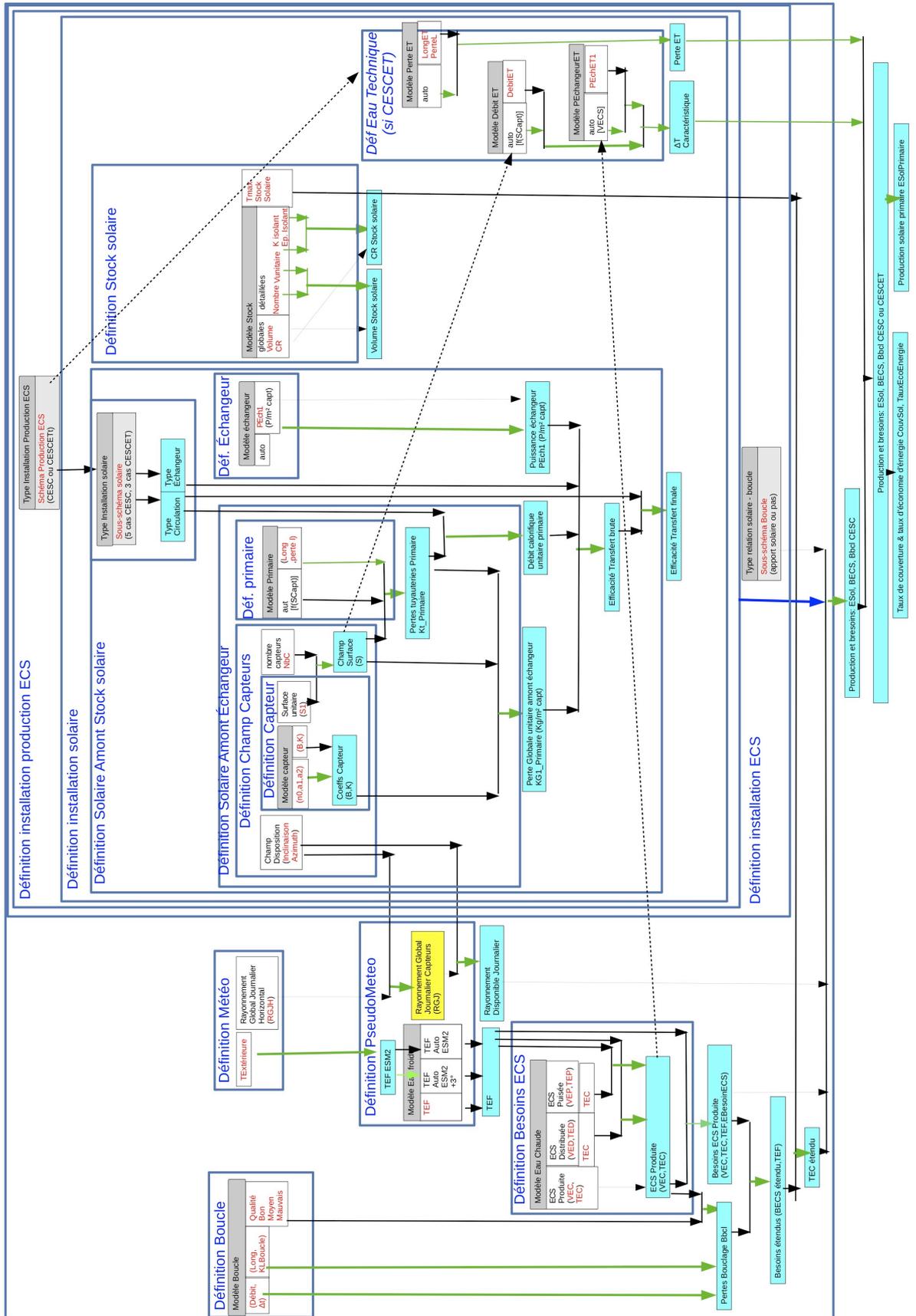
<b>AlgoPincement</b>		<b>calcul ΔT caractéristique échangeur (utile pour ET)</b>
AlgoPincementSOLO2018	1	algorithme calcul ΔT caractéristique
<b>AlgoDebitECSMax10</b>		<b>calcul du débit maximal ECS</b>
AlgoDebitECSMax10Default	1	DebitECSMax10= f(VECS_Pro_JM)

## 7. DESCRIPTION DES ALGORITHMES

### 7.1. Organigramme général et paramètres d'entrée de SOLO2018

On trouvera dans les deux pages suivantes deux présentations synthétiques de la méthode SOLO2018 :

- Un diagramme présentant la structure générale de SOLO2018.
  - ✓ Des variantes sont possibles puisque nous décrivons ici une méthode et non un outil informatique finalisé pour lesquels différentes options d'organisation sont possibles sans que cela remette en cause l'identité des résultats obtenus.
  - ✓ Il s'agit d'un diagramme de principe et certaines simplifications ont été faites. Mais il devrait permettre de voir l'articulation générale des différents algorithmes utilisés.
- Un tableau présentant les paramètres d'entrée de SOLO2018 intégrant les variantes de types d'installation et de modèles de représentation des composants en se limitant au CESC. (L'extension au CESCET compliquerait le tableau sans apporter d'éléments intéressants, les paramètres du CESCET étant relativement indépendants puisque le calcul d'un CESCET se fait en calculant un CESC et en appliquant simplement des corrections.



Paramètres d'entrée SOLO			
Les cases de même couleur correspondent aux différentes options possibles pour un composant			
Niveau 0	Niveau 1	Niveau 2	Niveau 3
<b>Définition du site et de la météo</b>			
Latitude			
TExt[m]			
Modele rayonnement			
Horizontal			
RGlobal_Hz			
Plan des capteurs			
RGlobal			
<b>Définition des besoins</b>			
ModeleEauFroide			
ModeleEauFroideESM2			
-			
ModeleEauFroideESM2Plus3			
-			
ModeleEauFroideManuel			
TEF[m]			
TECS_Pro			
ModeleVEauChaudeTPro			
VECS_Pro[m]			
ModeleVEauChaudeTDis			
TECS_Dis[m]			
VECS_Pro[m]			
ModeleVEauChaudeTPui			
VECS_Pro[m]			
VECS_Pro[m]			
<b>Définition de l'installation de production d'eau chaude sanitaire</b>			
Type Production ECS			
CESC ou CES CET			
<b>Définition de l'installation solaire</b>			
Schéma de l'installation solaire			
Type Sous-Schéma Solaire CESC		Type Sous-Schéma Solaire CES CET	
Circuit direct Thermosiphon		Circuit direct Pompe	
Circuit direct Pompe		Echangeur noyé Thermosiphon	
Echangeur noyé Thermosiphon		Echangeur noyé Pompe	
Echangeur noyé Pompe		Echangeur externe Pompes	
Echangeur externe Pompes			
Champ de capteurs			
ModeleCapteur			
ModeleCapteur0a1a2			
S1			
n0			
a1			
a2			
ModeleCapteurBK			
S1			
B			
K			
ModeleCapteurPredefini			
Nom (S,n0,a1,a2) ou (S,B,K)			
NbCapteurs			
Inclinaison			
Azimuth			
Circuit primaire			
ModelePrimaire			
ModelePrimaireDefault			
-			
ModelePrimaireLongKL			
LongPrimaire			
KLPrimaire			
Échangeur			
ModelePEchangeur1			
ModelePEchangeurDefault			
-			
ModelePEchangeurSaisie			
PEch11			
Stock solaire			
TMaxStockSolaire			
ModeleStockSolaire			
ModeleStockSolaireDefault			
VStockSolaire			
CRStockSolaire			
ModeleStockSolaireMultiBallonsId			
NbBallonsStockSolaire			
VBallonStockSolaire			
EpaisIsolantStockSolaire			
ModeleIsolantStockSolaire			
IsolantAutre			
KIsolantStockSolaire			
IsolantPredfini			
Refisolant dans liste			
Soécifique CESC			
Circuit Eau technique			
Modele PEchangeurET			
ModelePEchangeurDefault			
-			
ModelePEchangeurSaisie			
PEch1ET			
Modele DebitET			
ModeleDebitETDefault			
-			
ModeleDebitETSaisie			
PEch1			
Modele PerteET			
ModelePerteETDefault			
-			
ModelePerteETSaisie			
LongET			
KLET			
<b>Définition de la boucle</b>			
ModeleBoucle			
ModeleSansBoucle			
-			
ModeleBoucleDebitDelta			
DebitBoucle			
DeltaBoucle			
ModeleBoucleLongKL			
LongBoucle			
KLBoucle			
ModeleBoucleBon			
-			
ModeleBoucleMoyen			
-			
ModeleBoucleMauvais			
-			
<b>Définition Installation ECS</b>			
Relations solaire boucle			
Type Sous-Schéma Boucle			
Pas d'apport solaire possible			
Apport solaire indirect à la boucle			
Apport solaire indirect à la boucle			

## 7.2. Liste des algorithmes présentés

La liste des algorithmes utilisés pour un calcul SOLO2018 est donnée ici. Les sorties et les principaux paramètres d'entrée sont cités mais pas tous les paramètres d'entrée dépendant des modèles. Ceux-ci seront visibles dans la présentation détaillée des algorithmes aux sous-chapitres suivants. Quelques algorithmes standards ou ne faisant pas partie du cœur de SOLO ne seront que cités ou brièvement présentés. Ils sont listés ici en italiques.

### Utilitaires

*RegLin* Régression linéaire sur un tableau de doublets (X,Y)

Entrées : *Tab\_X, Tab\_Y* Tableaux (de même dimension) des valeurs X et Y

Sorties : *Coeff0, Coeff1* Coefficients d'ordre 0 et 1 de la régression linéaire

*Min\_An* Calcul du minimum des valeurs mensuelles

Entrées : *Tab\_X* Tableau des valeurs moyennes mensuelles de X

Sorties : *X\_Min* valeur minimum des valeurs mensuelles de X

*Moyenne\_An* Calcul de la moyenne annuelle à partir des valeurs mensuelles

Entrées : *Tab\_X* Tableau des valeurs moyennes mensuelles de X

Sorties : *X\_A* valeur moyenne annuelle de X

*Cumul\_An* Calcul de la valeur cumulée annuelle à partir des valeurs journalières mensuelles

Entrées : *Tab\_X\_JM* Tableau des valeurs journalières moyennes mensuelles de X

Sorties : *X\_AA* cumul annuel de X

### Définition des besoins

#### *Besoins de production d'eau chaude*

*Calc\_TEF\_M* Calcul de la température d'eau froide du mois

Entrées : *ModeleEauFroide, TExt\_M,*

Sorties : *TEF\_M*

*Calc\_VECS\_Pro\_JM* Calcul du volume d'eau produite (à la température de référence de production)

Entrées : *TEF\_M, TECS\_Pro\_M, ModeleVEauChaud* [et data associées]

Sorties : *VECS\_Pro\_JM*

*Calc\_BECS\_Pro\_JM* Calcul des besoins énergétiques journaliers de production d'eau chaude

Entrées : *TEF\_M, TECS\_Pro\_M, VECS\_Pro\_JM*

Sorties : *BECS\_Pro\_JM*

#### *Besoins de bouclage*

*Calc\_KGBoucle* Calcul de la conductance globale de pertes de la boucle de distribution

Entrées : *VECS\_Pro\_JA, TenvBaseBoucle, TrefBoucle, ModeleBoucle,*  
*DeltaTMaxBoucle, LongBoucle, KLBoucle*

Sorties : *KGBoucle*

*Calc\_PPerteBoucle\_M* Calcul de la puissance perdue par la boucle de distribution

Entrées : *KGBoucle, Text\_M, TenvBaseBoucle, TrefBoucle*

Sorties : *PPerteboucle\_M*

*Calc\_EPerteBoucle\_JM* Calcul des pertes journalières de la boucle de distribution

Entrées : *PPerteBoucle\_M*

Sorties : *EPerteBoucle\_JM*

#### *Besoins totaux*

*Calc\_BECS\_ThTotal\_JM* Calcul des besoins thermiques totaux (utile+perte bouclage)

Entrées : *BECS\_Pro\_JM, EPerteBoucle\_JM*

Sorties : *BECS\_ThTotal\_JM*

#### *Température associé aux besoins étendus solarisables*

*Calc\_TECS\_Etendu\_M* Calcul de la température de référence des besoins étendus (solarisables)

Entrées : *VECS\_Pro\_JM, TECS\_Pro\_M, TMaxStockSolaire, EPerteBoucle\_JM*

Sorties : *TECS\_Etendu\_M*

## Définition de l'installation solaire

### Typologie

Calc\_TypeCirculation Définition type de circulation primaire (thermosiphon,forcée)  
 Entrées : TypeSousSchemaSolaire  
 Sorties : TypeCirculation

Calc\_TypeEchangeurSolaire Définition type d'échange entre capteurs et stock (direct,éch. noyé, éch. externe)  
 Entrées : TypeSousSchemaSolaire  
 Sorties : TypeEchangeurSolaire

### Calcul capteurs solaires

Calc\_TableauPerfs\_n0a1a2\_PourBK création d'un tableau d'essais virtuel  
 Entrées : n0Capt,a1Capt,a2Capt  
 Sorties : Tab\_DeltaTsurPhi,Tab\_Rendement

Calc\_BK calcul de B et K d'après le tableau d'essais virtuel  
 Entrées : ModeleCapteur, SousModeleCapteurPredefini [et data associées]  
 Sorties : BCapt ,KCapt

### Calcul en amont du stock solaire

Calc\_AmontStockSolaire Calcul des pertes et de l'efficacité globale de transfert en amont du stock solaire  
 Entrées : KCapt,SCapt,ModelePrimaire [et data associées]  
 TypeCirculation,TypeEchangeurSolaire,ModelePEchangeur [et data associées]  
 Sorties : KG1Primaire,EfficacitéTransfert

Calc\_KtPrimaire Calcul des pertes des tuyauteries du primaire  
 Entrées : ModelePrimaire [et data associées]  
 Sorties : KtPrimaire

Calc\_Kg1Primaire Calcul des pertes globales du primaire (pertes capteur incluses)  
 Entrées : KCapt,SCapt,KtPrimaire  
 Sorties : Kg1Primaire

Calc\_DebitQ1Primaire Calcul du débit calorifique potentiel du primaire  
 Entrées : TypeCirculation  
 Sorties :

Calc\_EfficaciteRegul Définition de l'efficacité de la régulation  
 Entrées : TypeCirculation  
 Sorties :

Calc\_PEch11\_S2018 Définition de la puissance unitaire de l'échangeur (par m<sup>2</sup> capteur)  
 Entrées : ModelePEchangeur,AlgoPEch11,Scapt  
 Sorties :

Calc\_EfficaciteTransfertBrute Calcul de l'efficacité brute de transfert au stock solaire  
 Entrées : TypeEchangeurSolaire,PEch11,DebitQ1Primaire,Kg1Primaire,SCapt  
 Sorties : EfficaciteTransfertBrute

### Définition du stock solaire

Calc\_VStockSolaire Calcul du volume du stock solaire  
 Entrées : ModeleStockSolaire [et data associées]  
 Sorties : VStockSolaire

Calc\_SBallon Calcul de la surface d'un ballon connaissant son volume et le modèle géométrique  
 Entrées : ModeleGeometrieBallon [et data associées]  
 Sorties : SBallon

Calc\_CRStockSolaire Définit la constante de refroidissement du stock solaire  
 Entrées : ModeleStockSolaire [et data associées],ModeleGeometrieBallon [et data associées]  
 Sorties : CRStockSolaire

**Définition du circuit eau technique**

Calc\_KGET ModelePerteET Calcul de la conductance globale du circuit eau technique

Entrées : ModelePerteET [et data associées]

Sorties : KGET

Calc\_PEchET1 Calcul de la puissance de l'échangeur par °C

Entrées : ModelePEchangeurET [et data associées],SCapt

Sorties : PEchET1

Calc\_DebitET

Entrées : ModeleDebitET [et data associées],SCapt

Sorties : DebitET

**Définition du gisement solaire (Calcul rayonnement incliné et disponible)****Calc\_RayGlobalIncline (non décrit ici)**

Entrées : Latitude,Incline,Azimuth,Mois,RGloblaHz\_JM

Sorties : RGlobal\_JM

Calc\_AngleIncidence\_MH

Entrées : Latitude,Incline,Azimuth,Mois,heure

Sorties : AngleIncidence\_MH

Calc\_Coeffs\_CourbeCorrIncidence

Entrées : AlgoCourbeCorrIncidence

Sorties : Coeffs\_CI

Calc\_CorrIncidence\_MH

Entrées : Latitude,Incline,Azimuth,Mois,heure,Coeffs\_CI

Sorties : CorrIncidence\_MH

Calc\_CorrIncidence\_M

Entrées : Latitude,Incline,Azimuth,Mois,AlgoCourbeCorrIncidence,AlgoCorrIncidence

Sorties : CorrIncidence\_M

Calc\_RayDisponible\_JM

Entrées : RGlobal\_JM,CorrIncidence\_M

Sorties : RDisponible\_JM

**Calcul SOLO CESC**

Calc\_SOLO2018\_M

Entrées : mois,Latitude,VECS\_Pro\_JM,T\_Ref\_M,RDisponible\_JM,TEExt\_M,TEF\_M,  
BCapt,SCapt,EfficaciteTransfert,VStockSolaire,CRStockSolaire,TMaxStockSolaire

Sorties : ESOL\_Ref\_JM,Besoins\_Ref\_JM

**Compléments pour le Calcul SOLO CESCET**

Calc\_EPerteET\_JM

Entrées : KGET ,VECS\_Pro\_JM,TEF\_M,Esol\_CESC\_JM,TenvStockSolaire\_M

Sorties : EPerteET\_JM

Calc\_DebitECSMax10

Entrées : AlgoDebitECSMax10,VECS\_Pro\_JM

Sorties : DebitECSMax10

Calc\_DeltaTCorr\_ET

Entrées : PEchET1,DebitECSMax10,DebitET,SCapt,TEF\_M,VECS\_Pro\_JM,ESol\_CESC\_JM  
AlgoPincement

Sorties : DeltaTCorr\_ET

### **Calcul SOLO Primaire**

Calc\_SOLO2018Primaire\_M

Entrées : TypeSchemaProductionECS,TypeSousSchemaSolaire,TEF\_M,T\_Ref\_M,  
VStockSolaire,TEnvStockSolaire\_M,CRStockSolaire,BRef\_JM,ESol\_JM  
Sorties : ESolPrimaire\_JM,BPrimaire\_JM

### **Calcul SOLO global**

SOLO2018

Entrées : toutes les entrées  
Sorties : Tab\_BECS\_Pro\_JM,Tab\_EPerteBoucle\_JM,Tab\_BECS\_ThTotal\_JM  
Tab\_ESol\_Pro\_JM,Tab\_ESol\_Primaire\_JM  
Tab\_CouvSol\_Pro\_M,Tab\_TauxEcoEnergie\_M

## 7.3. Algorithmes détaillés

### Notes préliminaires

Cette description ne s'adresse pas qu'à des informaticiens. Elle est donc volontairement non strictement formalisée. Les algorithmes nécessaires à SOLO2018 sont presque tous détaillés<sup>6</sup> ainsi que les principaux contrôles de cohérence des saisies (à prévoir dans l'outil associé).

- De nombreux algorithmes définis ici sont des **MéthodeAlgoComposants** incluant de fait plusieurs **MéthodeAlgoModèles**. Lorsque cela a paru utile, les entrées qui ne sont pertinentes que pour certaines valeurs du paramètre Modèle sont distinguées (italiques sur fond bleu) Ex : dans le calcul des pertes du stock, le nombre de ballons du stock solaire (inutilisé dans le modèle par défaut).
- SOLO2018 est une méthode « mensuelle ». On présente le traitement pour un mois donné. La boucle pour traiter les 12 mois sur les tableaux de 12 valeurs mensuelles est évidente. Pour la moyenne et le cumul annuel, on présente les utilitaires Moyenne\_An et Cumul\_An.
- Les paramètres d'entrée sont précisées ainsi que les constantes spécifiques utilisées mais on n'a pas répété partout les constantes globales les plus courantes.

### 7.3.1 Utilitaires

#### RegLin : Calcul des coefficients de la régression linéaire sur un tableau (X,Y)

##### Sortie :

Coeff0 - coefficient d'ordre 0 de la régression approchante  
 Coeff1 - coefficient d'ordre 1 de la régression approchante

##### Entrées :

Tab\_X,Tab\_Y - tableaux des valeurs X et des valeurs Y de la fonction à approcher

**Algorithme :** standard non détaillé ici

#### Moyenne\_An : moyenne annuelle d'un tableau de valeurs moyennes mensuelles<sup>7</sup>

##### Sortie :

X\_A (ou X\_JA) - valeur moyenne annuelle du paramètre

##### Entrées :

Tab\_X\_M (ou X\_JM) - tableau des valeurs moyennes mensuelles du paramètre

##### Constantes utilisées :

Tab\_LongM\_M - tableau du nombre de jours des mois

##### Algorithme :

$X_A = \frac{\text{Somme\_de\_1\_à\_12} \{ \text{Tab\_X\_M}[m] * \text{Tab\_LongM}[m] \}}{\text{Somme\_de\_1\_à\_12} \{ \text{Tab\_LongM}[m] \}}$

#### Cumul\_An : cumul annuel d'un tableau de valeurs journalières moyennes mensuelles

##### Sortie :

X\_AA - cumul annuel du paramètre

##### Entrées :

Tab\_X\_JM - tableau des valeurs journalières moyennes mensuelles du paramètre

##### Constantes utilisées :

TabLongM\_M - tableau du nombre de jours des mois

##### Algorithme :

$X_{AA} = \text{Somme\_de\_1\_à\_12} \{ \text{Tab\_X\_JM}[m] * \text{Tab\_LongM}[m] \}$

#### Gestion des contraintes de cohérence des saisies utilisateur (non détaillée ici)

Il s'agit d'éviter les contradictions (ex : entre définition de l'installation et besoins).

$T_{MaxStockSolaire} \geq TECS\_Pro\_M$     *Sinon l'installation solaire est bridée par rapport aux besoins*  
 $TECS\_Pro\_M \geq TECS\_Dis\_M$     *Si on produit à 55°C, on ne peut distribuer à 60°C*

<sup>6</sup> Manquent des algorithmes mathématiques standard et le calcul du rayonnement sur un plan incliné (cf plus loin).

<sup>7</sup> Ce n'est pas la moyenne arithmétique des valeurs mensuelles...

### 7.3.2 Définition des besoins

#### Besoins de production d'eau chaude

#### Calc\_TEF\_M: Calcul de la température d'eau froide pour un mois donné

**Sortie :**

TEF\_M °C température moyenne mensuelle eau froide

**Entrées :**

Text\_M °C température météo moyenne mensuelle

TExt\_A °C température météo moyenne annuelle

**Constantes**

ModeleEauFroideESM2, ModeleEauFroideESM2Plus3, ModeleEauFroideManuel

**Algorithme :**

Suivant ModeleEauFroide

Cas ModeleEauFroideESM2

TEF\_M = moyenne (TExt\_M, TExt\_A)

Cas ModeleEauFroideESM2Plus3

TEF\_M = 3+moyenne (TExt\_M, TExt\_A)

Cas ModeleEauFroideManuel

TEF\_M = valeur\_saisie\_par\_utilisateur

#### Calc\_VECS\_Pro\_JM : Calcul du volume journalier d'eau chaude produite

**Sortie :**

TECS\_Pro\_M °C Consommation de référence définie à la température de production ECS

**Entrées :**

ModeleVEauChaude liste Modèle de température (Tprod, Tdis, Tpui) pour la définition de consommation

TEF\_M °C température moyenne mensuelle eau froide

TECS\_Pro\_M °C température moyenne mensuelle eau chaude produite

VECS\_Pro\_JM l/jr Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude produite (T prod.)

TECS\_Dis\_M °C température moyenne mensuelle eau chaude distribuée

VECS\_Dis\_JM l/jr Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude distribuée (T dis.)

/\*TECS\_Pui\_M °C température moyenne mensuelle eau chaude puisée \*/

/\*VECS\_Pui\_JM l/jr Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude puisée (T pui. )\*/

**Constantes :**

ModeleVEauChaudeTPro, ModeleVEauChaudeTDis, ModeleVEauChaudeTPui

**Algorithme :**

Suivant ModeleVEauChaude

Cas ModeleVEauChaudeTPro

VECS\_Pro\_JM = valeur\_saisie\_par\_utilisateur

Cas ModeleVEauChaudeTDis

VECS\_Pro\_JM =

VECS\_Dis\_JM\*(TECS\_Dis\_M - TEF\_M)/(TECS\_Pro\_M - TEF\_M)

/\*Cas ModeleVEauChaudeTPui \*/

/\* VECS\_Pro\_JM= \*/

/\* VECS\_Pui\_M\*(TECS\_Pui\_M - TEF\_M)/(TECS\_Pro\_M - TEF\_M) \*/

#### Calc\_BECS\_Pro\_JM : Calcul du besoin énergétique de production d'eau chaude

**Sortie :**

BECS\_Pro\_JM kWh/jr besoin journalier en moyenne mensuelle de production d'eau chaude

**Entrées :**

TEF\_M °C température moyenne mensuelle eau froide

TECS\_Pro\_M °C température moyenne mensuelle eau chaude produite

VECS\_Pro\_JM l/jr Conso. journalière moyenne mensuelle eau chaude produite (TPro)

**Constantes :**

CpECS Wh/l/K capacité calorifique volumique de l'ECS

**Algorithme :**

BECS\_Pro\_JM = CpECS \* VECS\_Pro\_JM \* (TECS\_Pro\_M - TEF\_M)/1000

Note : les températures réelles d'eau chaude (production, éventuellement distribution ou puisage) ne sont pas calculées mais définies par l'utilisateur, annuellement ou mensuellement.

*Besoins de bouclage***Calc\_KgBoucle : Calcul de la conductance globale de pertes de la boucle****Sortie :**

KgBoucle                    W/K      Conductance globale de pertes de la boucle de distribution

**Entrées :**

ModeleBoucle            liste      Bouclage défini qualitativement, par long. et perte linéique, par débit et  $\Delta T$   
*TEnvBaseBoucle*        °C        *température de base autour de la boucle (°C) – constante pour l'instant*  
*TRefBoucle*              °C        *température moyenne de la boucle (°C) – constante pour l'instant*  
*VECS\_Pro\_JA*            l/jr        *Consommation journalière moyenne annuelle*  
*DebitBoucle*            l/heure    *Débit de la boucle*  
*DeltaTmaxBoucle*      °C        *Chute de température maximale autorisée pour la boucle*  
*LongBoucle*             m         *Longueur de la boucle*  
*KLBoucle*                W/m/K     *Perte linéique de la boucle*

**Constantes utilisées :**

ModeleBoucleBon, ModeleBoucleMoyen, ModeleBoucleMauvais,  
 ModeleBoucleDebitDelta, ModeleBoucleLongKL

*CpECS*                    Wh/l/K    *Capacité calorifique volumique de l'eau*

*VECS\_LgtRef\_JA*        l/jr        *Consommation journalière standard pour un logement standard (à TPro)*

**Algorithme :**

Si ModeleBoucle est dans [ModeleBoucleBon, ModeleBoucleMoyen, ModeleBoucleMauvais]

    NbLgtsEstime = VECS\_Pro\_JA/VECS\_LgtRef\_JA

    Suivant ModeleBoucle

        Cas ModeleBoucleBon

            LongBoucle = NbLgtsEstime\*LonglBoucleBon

            KLBoucle = KLBoucleBon

        Cas ModeleBoucleMoyen

            LongBoucle = NbLgtsEstime\*LonglBoucleMoyen

            KLBoucle = KLBoucleMoyen

        Cas ModeleBoucleMauvais

            LongBoucle = NbLgtsEstime\*LonglBoucleMauvais

            KLBoucle = KLBoucleMauvais

    Fin Suivant Modele

    KGBoucle = LongBoucle\*KLBoucle

Sinon

    Suivant ModeleBoucle

        Cas ModeleBoucleDebitDelta

            TExt\_Min = Min\_An(Tab\_Text\_M)

            TExtBoucleMin = (Text\_Min+TEnvBaseBoucle)/2

            PPerteBoucleMax = DebitBoucle\*DeltaTmaxBoucle\*CpECS

            KGBoucle = PPerteBoucleMax/(TRefBoucle-TextBoucleMin)

        Cas ModeleBoucleLongKL

            KGBoucle = LongBoucle\*KLBoucle

    Fin Suivant ModeleBoucle

**Calc\_PPerteBoucle\_M : calcul de la puissance perdue par la boucle****Sortie :**

PPerteBoucle\_M            W            Puissance des pertes de la boucle pour le mois [m]

**Entrées :**

KGBoucle                    W/K        Conductance globale de pertes de la boucle de distribution

Text\_M                      °C         température météo moyenne mensuelle

**Constantes utilisées :**

TRefBoucle                °C         température moyenne de la boucle

TEnvBaseBoucle          °C         température de base autour de la boucle (intérieure)

**Algorithme :**

TextBoucle = (TEnvBaseBoucle+TExt\_M)/2

PPerteBoucle\_M = KGBoucle\*(TRefBoucle-TextBoucle)/1000

**Calc\_EPerteBoucle\_JM : calcul des pertes journalières de la boucle****Sortie :**

EPerteBoucle\_JM kWh/jr Pertes journalières de la boucle pour le mois [m]

**Entrées :**

PPerteBoucle\_M W Puissance des pertes de la boucle pour le mois [m]

**Algorithme :**

EPerteBoucle\_JM= 24\*PPerteBoucle\_M/1000

*Besoins totaux***Calc\_BECS\_ThTotal\_JM : Calcul du besoin énergétique total (utile + perte boucle)****Sortie :**

BECS\_ThTotal\_JM kWh/jr besoin journalier en moyenne mensuelle (production et boucle)

**Entrées :**

BECS\_Pro\_JM kWh/m besoin journalier en moyenne mensuelle (production et boucle)

EPerteBoucle\_JM kWh/jr Pertes journalières de la boucle

**Algorithme :**

BECS\_ThTotal\_JM = BECS\_Pro\_JM + EPerteBoucle\_JM

*Température associée aux besoins étendus solarisables***Calc\_TECS\_Etendu\_M : calcul de température de référence des besoins solarisables****Sortie :**

TECS\_Etendu\_M °C température de référence équivalente pour les besoins solarisables

**Entrées :**

VECS\_Pro\_JM l/jr consommation journalière d'eau chaude produite

TECS\_Pro\_M °C température moyenne mensuelle eau chaude produite

TmaxStockSolaire °C Température maximale acceptable pour le stock solaire

EPerteBoucle\_JM kWh/jr Puissance des pertes de la boucle pour le mois [m]

**Constantes utilisées :**CpECS kWh/m<sup>3</sup>/K Capacité calorifique volumique de l'eau**Algorithme :**

T\_Ref\_Etendu1 = TmaxStockSolaire /\*limite potentielle imposée par le stock\*/

Si VECS\_Pro\_JM&gt;0

DeltaTEqBoucle = 1000\*EPerteBoucle\_JM/CpECS/VECS\_Pro\_JM

Sinon

DeltaTEqBoucle = 0

T\_Ref\_Etendu2 = TECS\_Pro\_M+DeltaTEqBoucle /\*limite potentielle liée aux pertes boucle\*/

TECS\_Etendu\_M = min(T\_Ref\_Etendu1, T\_Ref\_Etendu2)

/\*pas de production possible au-dessus : pas de besoin ( T\_Ref\_Etendu2) ou contrainte stock (T\_Ref\_Etendu1)\*/

### 7.3.3 Définition de l'installation solaire

#### *Typologie de l'installation*

#### **Calc\_TypeCirculation : définit le type de circulation suivant le sous-schéma solaire**

**Sortie :**

TypeCirculation                      liste    circulation forcée ou thermosiphon

**Entrées :**

TypeSousSchémaSolaire              liste    5 sous-schéma solaires pour le CESC

**Constantes utilisées**

CESC1EchExt2P, CESC2EchNoye1P, CESC3Direct1P,  
CESC4EchNoyeThermosiphon, CESC5DirectThermosiphon  
CirculationForcee,CirculationThermosiphon

**Algorithme :**

Suivant TypeSousSchemaSolaire

Cas CESC1EchExt2P,CESC2EchNoye1P,CESC3Direct1P  
TypeCirculation = CirculationForcee

Cas CESC4EchNoyeThermosiphon,CESC5DirectThermosiphon  
TypeCirculation = CirculationThermosiphon

#### **Calc\_TypeEchangeurSolaire : définit le type d'échangeur suivant le sous-schéma solaire**

**Sortie :**

TypeEchangeurSolaire                  liste    circulation forcée ou thermosiphon

**Entrées :**

TypeSousSchémaSolaire              liste    5 sous-schéma solaires pour le CESC

**Constantes utilisées**

CESC1EchExt2P, CESC2EchNoye1P, CESC3Direct1P,  
CESC4EchNoyeThermosiphon, CESC5DirectThermosiphon  
EchangeurExterne,EchangeurNoye,CircuitDirect

**Algorithme :**

Suivant TypeSousSchemaSolaire

Cas CESC1EchExt2P  
TypeEchangeurSolaire = EchangeurExterne

Cas CESC2EchNoye1P ,CESC4EchNoyeThermosiphon  
TypeEchangeurSolaire = EchangeurNoye

Cas CESC3Direct1P,CESC5DirectThermosiphon  
TypeEchangeurSolaire = CircuitDirect

*Définition des capteurs solaires***Calc\_TableauPerfs\_n0a1a2\_PourBK : calcule le tableau des perfs de ref pour n0,a1,a2****Entrées (normes européennes):**

n0	-	pseudo rendement optique (norme européenne)
a1	W/K/m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes, coefficient d'ordre 1 (norme européenne)
a2	W/K <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes, coefficient d'ordre 2 (norme européenne)

**Constantes utilisées:**

Liste_Phi_Ref	[W/m <sup>2</sup> ]	liste des irradiances de référence pour le tableau de régression
Liste_DeltaT_Ref	[K]	liste des ΔT de référence pour le tableau de régression

**Sorties :**

Tab_DeltaTsurPhi	[K.m <sup>2</sup> /W]	tableau des (ΔT/phi) tests
Tab_Rendement	[-]	tableau des rendements calculés par n0,a1,a2 pour les (ΔT/phi) tests

**Algorithme :**

Nb\_Phi\_Ref = nombre\_Elements\_Liste\_Phi\_Ref

Nb\_DeltaT\_Ref = nombre\_Elements\_Liste\_DeltaT\_Ref

Pour i variant de 1 à Nb\_Phi\_Ref

    Pour j variant de 1 à Nb\_DeltaT\_Ref

        u = Nb\_DeltaT\_Ref \*(i-1)+j

        DeltaTsurPhi[u] = Liste\_DeltaT\_Ref[j]/Liste\_Phi\_Ref[i]

        Rendement[u] = n0-a1\*DeltaTsurPhi[u]-a2\*DeltaTsurPhi[u]\*DeltaTsurPhi[u]\*Liste\_Phi\_Ref[i]

**Calc\_BK : calcule B et K à partir de n0,a1,a2 si nécessaire****Entrées**

ModeleCapteur	liste	liste des modèles de définition capteurs
SousModeleCapteurPredefini	liste	modèle BK ou n0a1a2 du capteur prédéfini
n0Capt	-	pseudo rendement optique (norme européenne)
a1Capt	W/K/m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes, coefficient d'ordre 1 (norme européenne)
a2Capt	W/K <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes, coefficient d'ordre 2 (norme européenne)
BCapt	-	pseudo rendement optique (ancienne norme française)
KCapt	W/K/m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes (ancienne norme française)

**Sorties :**

BCapt	-	pseudo rendement optique (ancienne norme française)
KCapt	W/K/m <sup>2</sup>	conductance unitaire de pertes (ancienne norme française)

**Constantes utilisées:**

ModeleCapteurBK, ModeleCapteurn0a1a2, ModeleCapteurPredefini

**Algorithme :**

Suivant ModeleCapteur

    cas ModeleCapteurBK

        (BCapt,KCapt) = valeur\_saisie\_par\_utilisateur

    cas ModeleCapteurn0a1a2

        (n0Capt,a1Capt,a2Capt) = valeur\_saisie\_par\_utilisateur(n0Capt,a1Capt,a2Capt)

        (Tab\_DeltaTsurPhi,Tab\_Rendement) = Calc\_TableauPerfs\_n0a1a2\_PourBK(n0Capt,a1Capt,a2Capt)

        (BCapt,KCapt) = RegLin (Tab\_DeltaTsurPhi,Tab\_Rendement)

    cas ModeleCapteurPredefini

        Capteur = choix\_dans\_liste\_par\_utilisateur

        Suivant SousModeleCapteurPredefini

            cas ModeleCapteurPredefiniBK

                (BCapt,Kcapt) = valeur\_dans\_base\_data(n0Capt,a1Capt,a2Capt)

            cas ModeleCapteurPredefinin0a1a2

                (n0Capt,a1Capt,a2Capt) = valeur\_dans\_base\_data

                (Tab\_DeltaTsurPhi,Tab\_Rendement) =

                    Calc\_TableauPerfs\_n0a1a2\_PourBK(n0Capt,a1Capt,a2Capt)

                (BCapt,KCapt) = RegLin (Tab\_DeltaTsurPhi,Tab\_Rendement)

        Fin de suivant

Fin de suivant

### Calcul en amont du stock solaire

L'efficacité globale de transfert au stock solaire est calculée comme produit de plusieurs efficacités liées à l'installation. La conductance globale de perte associée est calculée en même temps. On néglige les pertes du secondaire, on se limite aux pertes capteurs et primaire.

#### Calc\_AmontStockSolaire : calcul pertes et efficacité de transfert amont du stock solaire

##### Entrées :

KCapt	W/K/m <sup>2</sup>	coefficient caractéristiques capteur solaire (ancienne norme NF)
SCapt	m <sup>2</sup>	surface totale du champ de capteurs
ModelePrimaire	liste	2 cas : Defaut => f(SCapt) ; LongKL => f(longueur et isolation primaire)
LongPrimaire	m	longueur totale du primaire
KLPrimaire	W/m/K	Conductance linéique de pertes du primaire
AlgoKt	liste	algorithme de calcul par défaut (SOLOclassique, SOLO2018)
TypeCirculation		
TypeEchangeurSolaire	liste	type d'échangeur primaire-secondaire (sans, noyé, externe)
ModelePEchangeur	liste	Modèle par défaut ; saisie
AlgoPEch11	liste	Algorithme de définition puissance unitaire échangeur (versions SOLO)
/*SEchangeur	m <sup>2</sup>	Surface d'échange */
/*FormeEchangeur	liste	forme de l'échangeur */

##### Sorties :

Kg1Primaire	W/K/m <sup>2</sup>	Perte globale primaire unitaire (conductance /m <sup>2</sup> capteur)
EfficaciteTransfert	-	Efficacité globale jusqu'au stock solaire (capt+primaire+échangeur)

##### Algorithme :

```

KtPrimaire = Calc_KtPrimaire(ModelePrimaire, SCapt, AlgoKt, LongPrimaire, KLPrimaire)
Kg1Primaire = Calc_Kg1Primaire(KCapt, SCapt, KtPrimaire)
DebitQ1primaire = Calc_DebitQ1Primaire(TypeCirculation)
EfficaciteRegul = Calc_EfficaciteRegul(TypeCirculation)
PEch11 = Calc_PEch11_S2018(ModelePEchangeur, AlgoPEch11, SCapt)
/*PEch11 = Calc_PEch11_S2018(ModelePEchangeur, AlgoPEch11, SCapt, SEchangeur, FormeEchangeur)*/
EfficaciteTranfertBrute =
  Calc_EfficaciteTransfertBrute(TypeEchangeurSolaire, PEch11, DebitQ1Primaire, Kg1Primaire, SCapt)
EfficaciteTransfert = EfficaciteRegul * EfficaciteTransfertBrute

```

#### Calc\_KtPrimaire : calcul de la conductance de pertes des tuyauteries du primaire

##### Entrées :

ModelePrimaire	liste	2 cas : Defaut => f(SCapt) ; LongKL => f(longueur et isolation primaire)
Scapt	m <sup>2</sup>	surface totale du champ de capteurs
LongPrimaire		longueur totale du primaire
KLPrimaire	W/m/K	Conductance linéique de pertes du primaire
AlgoKt	liste	algorithme de calcul par défaut (SOLOclassique, SOLO2018)

##### Constantes utilisées :

ModelePrimaireDefaut, ModelePrimaireLongKL,  
 ModelePrimaireLong  
 AlgoKt\_SOLOclassique\_Defaut, AlgoKt\_SOLO2018\_Defaut

##### Sorties :

KtPrimaire W/K conductance totale des pertes des tuyauteries du primaire

##### Algorithme :

```

Suivant ModelePrimaire
  cas ModelePrimaireDefaut
    /* f(surface), à voir utile/hors-tout */
    Suivant AlgoKt
      cas AlgoKt_SOLOclassique_Defaut
        /*permettant le calcul SOLO classique*/
        KtPrimaire = 7+0.7*SCapt
      cas AlgoKt_SOLO2018_Defaut
        /*SOLO2018, SOLO2000 et cahier CSTB */
        KtPrimaire = 5+0.5*SCapt
      cas ModelePrimaireLongKL
        /*f(longueur, isolation primaire)
        KtPrimaire = KLprimaire*LongPrimaire
      cas ModelePrimaireLong
        /*variante f(longueur), KL par défaut*/
        KLPrimaire = 0.01
        /* valeur par défaut pour KL*/
        KtPrimaire = Calc_KtPrimaire (ModelePrimaireLongKL, SCapt, LongPrimaire, KLPrimaire)

```

**Calc\_Kg1Primaire : calcul de la conductance globale du primaire (capteurs inclus)****Entrées :**

KCapt                    W/K/m<sup>2</sup>            coefficient caractéristiques capteur solaire (ancienne norme française)  
 SCapt                    m<sup>2</sup>                    surface du champ de capteurs  
 KtPrimaire              W/K                    Conductance de pertes des tuyauteries du primaire

**Sorties :**

Kg1Primaire            W/K/m<sup>2</sup>/            Perte globale primaire unitaire (conductance /m<sup>2</sup> capteur)

**Algorithme :**

$Kg1Primaire = KCapt + KtPrimaire / SCapt$

**Calc\_DebitQ1Primaire : calcul du débit calorifique potentiel primaire****Entrées :**

TypeCirculation            liste                    2 cas : thermosiphon ; circulation forcée

**Constantes utilisées :**

CirculationForcee, CirculationThermosiphon  
 DebitQ1PrimaireForceDefault, DebitQ1PrimaireThermosiphonDefault

**Sorties :**

DebitQ1Primaire            kW/K/m<sup>2</sup>            débit calorifique potentiel unitaire (par m<sup>2</sup> de capteur pour  $\Delta t = 1^\circ C$ )

**Algorithme :**

Suivant TypeCirculation

cas CirculationForcee

$DebitQ1Primaire = DebitQ1PrimaireForceDefault \quad /*40 \text{ W/m}^2/\text{K}, \pm 37,6 \text{ l/h eau glycolée} */$

cas CirculationThermosiphon

$DebitQ1Primaire = DebitQ1PrimaireThermosiphonDefault \quad /*10 \text{ W/m}^2/\text{K}, \pm 9,4 \text{ l/h eau glycolée} */$

**Calc\_EfficaciteRegul : calcul de l'efficacité de la régulation****Entrées :**

TypeCirculation            liste                    2 cas : thermosiphon ; circulation forcée

**Constantes utilisées :**

CirculationForcee, CirculationThermosiphon  
 EfficaciteRegulForceDefault, EfficaciteRegulThermosiphonDefault

**Sorties :**

EfficaciteRegul            -                        efficacité résultant de la régulation (jamais optimale)

**Algorithme :**

Suivant TypeCirculation

cas CirculationForcee

$EfficaciteRegul = EfficaciteRegulForceDefault$

cas CirculationThermosiphon

$EfficaciteRegul = EfficaciteRegulThermosiphonDefault$

**Calc\_PEch11\_S2018 : définition de l'efficacité unitaire de l'échangeur (/m<sup>2</sup> capteur)****Entrées :**

ModelePEchangeur	liste	Modèle par défaut ; saisie
AlgoPEch11	liste	Algorithme de définition de la puissance unitaire échangeur (versions SOLO)
/*SCapt	m <sup>2</sup>	Surface du champ de capteurs */
/*SSEchangeur	m <sup>2</sup>	Surface d'échange */
/*SFormeEchangeur	liste	forme de l'échangeur */

**Constantes utilisées :**

ModelePEchangeurDefaut, ModelePEchangeurSaisiePEch11, ModelePEchangeurDetaille  
 AlgoPEch11\_SOLOclassique\_Defaut, AlgoPEch11\_SOLO2000\_Defaut, AlgoPEch11\_SOLO2018\_Defaut  
 /\*EchSerpentin, EchTube, EchPlaque\*/

**Sorties :**

PEch11 W/K/m<sup>2</sup> - puissance potentielle unitaire de l'échangeur (/m<sup>2</sup> capteur)

**Algorithme :**

Suivant ModelePEchangeur

Cas ModelePEchangeurDefaut

Suivant AlgoPEch11

Cas AlgoPEch11\_SOLOclassique\_Defaut /\* valeur de PEch11 dans SOLOclassique \*/

PEch11 = PEch11\_SOLOclassique\_Defaut

cas AlgoPEch11\_SOLO2000\_Defaut /\* valeur de PEch11 dans SOLO2000 \*/

PEch11 = PEch11\_SOLO2000\_Defaut

cas AlgoPEch11\_SOLO2018\_Defaut /\* valeur de PEch11 dans SOLO2018 \*/

PEch11 = PEch11\_SOLO2018\_Defaut

Cas ModelePEchangeurSaisiePEch11

PEch11 = valeur\_saisie\_par\_utilisateur

```

/* Cas ModelePEchangeurDetaille */ /*variante possible cahier CSTB*/
/* Si (SEch <> Vide and TypeEch <> Vide) alors */
/* Suivant FormeEchangeur */
/* Cas EchSerpentin */
/* PEch1 = 350*SEch */
/* Cas EchTube */
/* PEch1 = 150*SEch */
/* Cas EchPlaques */
/* PEch1 = 150*SEch */
/* PEch11 = PEch1/SCapt */

```

**Calc\_EfficaciteTransfertBrute : calcul de l'efficacité brute de transfert au stock<sup>8</sup>****Entrées :**

SCapt	m <sup>2</sup>	surface du champ de capteurs
PEch11	W/K/m <sup>2</sup>	puissance potentielle unitaire de l'échangeur (/m <sup>2</sup> capteur et par °C)
DebitQ1Primaire	kW/K/m <sup>2</sup>	débit calorifique potentiel unitaire (par m <sup>2</sup> de capteur pour Δt = 1°C)
Kg1Primaire	W/K/m <sup>2</sup>	Perte globale primaire unitaire (conductance /m <sup>2</sup> capteur)
TypeEchangeurSolaire	liste	type d'échangeur primaire-secondaire (sans, noyé, externe)

**Sorties:**

EfficaciteTransfertBrute - efficacité « brute » de transfert au stock

**Algorithme :**

DebitQsurPertesPrimaire = DebitQ1Primaire/Kg1Primaire

Suivant TypeEchangeurSolaire

cas EchangeurExterne

EfficaciteEchangeur = PEch11/(DebitQ1Primaire+PEch11)

EfficaciteTransfertBrute =

DebitQsurPertesPrimaire/(1/EfficaciteEchangeur+1/(exp(1/DebitQsurPertesPrimaire)-1))

cas EchangeurNoye

DebitQsurPech = DebitQ1Primaire/PEch11

EfficaciteTransfertBrute =

(1-1/(2\*DebitQsurPertesPrimaire+12\*DebitQsurPertesPrimaire\*DebitQsurPech))

/(1+DebitQsurPech/DebitQsurPertesPrimaire)

cas CircuitDirect

EfficaciteTransfertBrute = 1-1/(2\*DebitQsurPertesPrimaire)

<sup>8</sup>On suppose que les débits calorifiques primaire et secondaire sont équivalents. Extension possible



**Calc\_CRStockSolaire : définit la constante de refroidissement du stock solaire****Entrées :**

ModeleStockSolaire	liste	stock défini globalement ou détaillé
V1StockSolaire	litres	volume unitaire des ballons du stock solaire
CRStockSolaire	Wh/litre/K/jour	constante de refroidissement stock solaire
EpaisIsoStockSolaire	cm	épaisseur de l'isolant du ballon
LambdaIsoStockSolaire	W/m/K	conductivité de l'isolant du ballon
ModeleGeometrieBallon	liste	stock défini globalement ou détaillé
AlgoSBallon	liste	algorithme de calcul de la surface du ballon
/*HsurD1_StockSolaire	-	ratio hauteur sur diamètre du ballon */
/*H1_StockSolaire	m	hauteur du ballon */
/*D1_StockSolaire	m	diamètre du ballon */

**Constantes utilisées :**

ModeleStockSolaireDefault, ModeleStockSolaireMultiBallonsId  
 ModeleBallonStandard /\*,ModeleBallonHsurD,ModeleBallonDetaille\*/  
 AlgoSBallon\_SOLOClassique\_Default,AlgoSBallon\_SOLO2018\_Default /\*,AlgoSBallon\_SOLO2000 \*/

**Sorties :**

CRStockSolaire Wh/litre/K/jour constante de refroidissement du ballon

**Algorithme :**

Suivant ModeleStockSolaire

Cas ModeleStockSolaireDefault

- /\*on garde la valeur CR entrée \*/

Cas ModeleStockSolaireMultiBallonsId

VBallon = V1StockSolaire/1000 /\*passage litres → m<sup>3</sup> VBallon en unité SI\*/

SBallon = Calc\_SBallon(ModeleGeometrieBallon,AlgoSBallon,VBallon) /\*calcul S ballon \*/

EpaisIsoStockSolaire\_SI = EpaisIsoStockSolaire/100 /\*conversion cm → m \*/

RIsoBallon = EpaisIsoStockSolaire\_SI/LambdaIsoStockSolaire /\*calcul résistance th (m<sup>2</sup>.K/W) \*/

Hconv = 10 /\*coeff. échange convectif (W/m<sup>2</sup>/K) \*/

ConduBallonGlobale = (1/(RIsolant+1/hconv))\* SBallon /\*conductance globale (W/K) \*/

CRStockSolaireBase = ConduBallonGlobale\*24/VBallon /\* cte refroidissement brute (Wh/l/K/jour) \*/

CorrectionCR = 1.1+0.05/VBallon /\* Correction pour ponts thermiques, etc. \*/

CRStockSolaire = CorrectionCR\*CRStockSolaireBase

*Définition du circuit eau technique***Calc\_KGET : Calcul de la conductance globale de pertes du circuit ET****Sortie :**

KGET	W/K	Conductance globale de pertes du circuit ET technique
------	-----	---

**Entrées :**

ModelePerteET	liste	Modèle de définition des pertes du circuit ET
<i>KLET</i>	<i>W/m/K</i>	<i>Conductance linéique de pertes du circuit ET</i>
<i>LongET</i>	<i>m</i>	<i>Longueur du circuit ET</i>

**Constantes utilisées :**

ModelePerteETDefault, ModelePerteETLongKLSaisie  
KLETDefault  
LongETDefault

**Algorithme :**

Suivant ModelePerteET

Cas ModelePerteETDefault

$KLET = KLETDefault$

$LongET = LongETDefault$

$KGET = KLET * LongET$

Cas ModelePerteETLongKLSaisie

$KGET = KLET * LongET$

Fin Suivant

**Calc\_PEchET1 : Calcul de la puissance de l'échangeur par °C****Sortie :**

PEchET1	W/K	Puissance de l'échangeur ET/ECS par °C
---------	-----	--

**Entrées :**

ModelePEchangeurET	liste	Modèle de définition de l'échangeur ET
SCapt	m <sup>2</sup>	Surface de capteurs
PEchET1	W/K	Puissance de l'échangeur ET/ECS par °C

**Constantes utilisées :**

ModelePEchangeurETDefault, ModelePEchangeurETSaisiePEchET1  
PEchET11Default

**Algorithme :**

Suivant ModelePEchangeurET

Cas ModelePEchangeurETDefault

$PEchET1 = SCapt * PEchET11Default$

Cas ModelePEchangeurETSaisiePEchET1

$PEchET1 = \text{valeur\_saisie\_par\_utilisateur}$

Fin Suivant

**Calc\_DebitET : Calcul du débit eau technique****Sortie :**

DebitET	m <sup>3</sup> /h	Débit circuit ET
---------	-------------------	------------------

**Entrées :**

ModeleDebitET	liste	Modèle de définition du débit du circuit ET
SCapt	m <sup>2</sup>	Surface de capteurs
DebitET	m <sup>3</sup> /h	Débit circuit ET

**Constantes utilisées :**

ModeleDebitETDefault, ModeleDebitETSaisie  
Debit1ETDefault

**Algorithme :**

Suivant ModeleDebitET

Cas ModeleDebitETDefault

$DebitET = SCapt * Debit1ETDefault / 1000$

/\*passage de litres/h en m3/h\*/

Cas ModeleDebitETSaisie

$DebitET = \text{valeur\_saisie\_par\_utilisateur}$

Fin Suivant

### 7.3.4 Définition du gisement solaire utilisable

*Calcul du rayonnement sur le plan incliné des capteurs*

**Calc\_RayGlobalIncline\_M : calcule le rayonnement global journalier sur un plan incliné**

**Entrées**

RGlobalHz_JM	[W/m <sup>2</sup> /jr]	Ensoleillement global journalier sur le plan horizontal
Latitude	[degré]	Latitude du site de l'installation solaire en degrés
Inclinaison	[degré]	Inclinaison du capteur sur l'horizontale (0 = horizontal, 90 = vertical)
Azimuth	[degré]	Orientation du capteur par rapport à l'équateur (sud si hémisphère nord)

**Sorties :**

RGlobal_JM	[W/m <sup>2</sup> /jr]	Ensoleillement global journalier sur le plan des capteurs solaires
------------	------------------------	--

**Algorithme : standard non détaillé ici**

**Note concernant cet algorithme**

Nous ne détaillons pas ici l'algorithme du calcul du rayonnement global incliné à partir du rayonnement global horizontal pour différentes raisons :

- Ce calcul sort du cadre de la méthode SOLO2018 proprement dite (il n'était pas détaillé non plus dans les documents CSTB présentant la méthode SOLO. Les différents outils existants (SOLOclassique, SOLO2000, etc.) on utilisé différents algorithmes à ce niveau
- Il s'agit par ailleurs d'algorithmes standard mais complexes dont la présentation alourdirait beaucoup ce document alors qu'il existe de nombreux documents présentant ces algorithmes et des outils dédiés au calcul du rayonnement sur un plan incliné.
- Nous avons d'ailleurs prévu explicitement dans l'outil développé en parallèle de cette méthode la possibilité de saisir directement l'entrée du rayonnement sur le plan incliné plutôt que l'entrée du rayonnement horizontal, ce qui permet en outre de saisir éventuellement un rayonnement sur le plan incliné tenant compte des masques.

L'outil réalisé dans le cadre du développement de la méthode SOLO2018 utilise le modèle de SOLOclassique basé sur le calcul intermédiaire d'un coefficient de trouble de Linke TL\_M

SOLO2000 utilisait un modèle légèrement différent basé sur le calcul intermédiaire d'un indice de clarté KT. Il existe plusieurs variantes du calcul du rayonnement sur le plan incliné une fois l'indice de clarté déterminé.

Les différentes variantes de ces algorithmes fournissent des valeurs un peu différentes mais nous estimons que les écarts restent compatibles avec les incertitudes générales de SOLO.

Par contre, on a tenu à garder cette notion de « rayonnement sur le plan incliné » comme paramètre intermédiaire des calculs plutôt que de définir comme c'était implicite dans certaines versions anciennes de SOLO un paramètre plus ambigu qui était un rayonnement sur le plan incliné corrigé d'un abattement voulant intégrer une pénalisation liée à l'inclinaison par rapport à la normale au plan du capteur.

Nous avons préféré garder la notion relativement « pure » de rayonnement sur un plan incliné et introduire dans un deuxième temps un paramètre dérivé que nous appellerons « rayonnement disponible ». Ceci permet de bien séparer ce qui relève des calculs de rayonnement et ce qui relève des capteurs solaires thermiques et de SOLO. C'est cette notion de rayonnement disponible qui est décrite dans les paragraphes qui suivent.

### Calcul du rayonnement disponible (nouveau de SOLO2018)

SOLO2018 utilise en entrée non le rayonnement sur le plan incliné au sens géométrique du terme mais un rayonnement disponible obtenu en appliquant un facteur correctif tenant compte du fait que le rayonnement incident sur le plan des capteurs n'est pas toujours normal à la surface du capteur tandis que les caractéristiques ( $n_0, a_1, a_2$ ) ou (B,K) du capteur sont définies à incidence normale. Pour rester dans l'esprit de SOLO, ce facteur correctif est défini avec un minimum d'entrées supplémentaires, en pratique aucune dans la version actuelle. Ceci implique évidemment des hypothèses simplificatrices. SOLO2018 utilise 2 sous-algorithmes :

- ✓ le calcul du facteur correctif instantané
- ✓ le calcul du facteur correctif moyen mensuel

Les hypothèses simplificatrices admettent que que le facteur correctif :

- ✓ instantané suit par rapport à l'incidence une courbe définie par 3 coefficients fixes
- ✓ mensuel est la moyenne des facteurs instantanés à 10 h et à 12h le jour type du mois

Le premier point (cf plus loin) implique que la correction est indépendante du capteur.

Le deuxième point revient à privilégier les heures de milieu de journée (là où de toutes façons on a le plus d'ensoleillement) sans se limiter au midi. Pour montrer la relative souplesse de l'approche choisie par rapport à d'éventuelles évolutions ultérieures, l'algorithme est présenté en intégrant déjà des variantes de ces deux sous-algorithmes étant entendu que dans la méthode SOLO2018, on a :

AlgoCourbeCorrIncidence = CourbeCorrIncidence\_SOLO2018  
AlgoCorrIncidence = Correction\_SOLO2018

### Calc\_AngleIncidence\_MH : calcule l'angle d'incidence du ray. direct (mois,heure)

#### Entrées

Latitude	[degrés]	Latitude du site en degrés décimaux
Incline	[degrés]	Inclinaison sur l'horizontale
Azimuth	[degrés]	Orientation par rapport à l'équateur (/sud dans l'hémisphère nord)
Mois	-	numéro du mois
Heure	-	heure du jour

#### Constantes :

Tab_JourRef_M	-	numéro dans l'année du jour de référence du mois
---------------	---	--

#### Sorties :

AngleIncidence_MH	[degrés]	angle d'incidence du rayonnement solaire sur un plan incliné (mois,heure)
-------------------	----------	---

#### Algorithme :

```

rLatitude = (π/180)*Latitude /* préfixe r => en radians, sinon en degrés*/
rIncline = (π/180)*Incline
rAzimuth = (π/180)*Azimuth
JourRef_M = Tab_JourRef_M[mois]
rTropique = (π/180)*23.45 /*0.4092797096 */
rDecline = rTropique*sin((π/180)*(0.986* JourRef_M) - 80)
/* variante : ± rTropique*sin((π/180)*(360/365)*(JourRef_M+284))*/
Decline = rDecline*(180/ π)
AngleHoraire = (Heure-12)*15
rAngleHoraire = (π/180)*AngleHoraire
dd1 = sin(rDecline)*sin(rLatitude)*cos(rIncline)
dd2 = - sin(rDecline)*cos(rLatitude)*sin(rIncline)*cos(rAzimuth)
dd3 = cos(rDecline)*cos(rLatitude)*cos(rIncline)*cos(rAngleHoraire)
dd4 = cos(rDecline)*sin(rLatitude)*sin(rIncline)*cos(rAzimuth)*cos(rAngleHoraire)
dd5 = cos(rDecline)*sin(rIncline)*sin(rAzimuth)*sin(rAngleHoraire)
cos_AngleIncidence_MH = dd1+dd2+dd3+dd4+dd5
rAngleIncidence_MH = arccos(cos_AngleIncidence_MH)
AngleIncidence_MH = (180/ π)* rAngleIncidence_MH

```

En toute rigueur, la correction devrait dépendre de la référence de capteur choisie. Des sur ce facteur correctif (Incidence angle modifier) sont normalement incluses maintenant dans les solark keymark et avis techniques mais ces informations ne sont pas toujours présentées de façon identique (on a parfois la valeur à 50°, parfois plusieurs valeurs, etc.). Gérer cet aspect nous semblait trop compliqué dans l'esprit de SOLO et le gain en incertitude restait douteux.

Nous avons utilisé dans un premier temps les données de capteurs fournissant le facteur correctif pour plusieurs angles d'incidence, ce qui a permis d'établir une forme de courbe approchante pertinente (polynôme d'ordre 3 avec le facteur d'ordre 2 nul). Nous avons alors choisi une des courbes d'approximation comme référence pour SOLO2018. L'algorithme **Calc\_Coeffs\_CourbeCorrIncidence** présenté ici inclut des variantes testées montrant qu'il sera facile d'adapter la courbe si nécessaire..

### **Calc\_Coeffs\_CourbeCorrIncidence : Définit les coefficients de la courbe de correction**

#### **Entrées**

AlgoCourbeCorrIncidence - Algo choisi (dans SOLO2018 : AlgoCourbeCorrIncidenceSOLO2018)

#### **Constantes utilisées:**

CourbeCorrIncidence\_Sans, CourbeCorrIncidence\_Bosch, CourbeCorrIncidence\_Green  
CourbeCorrIncidence\_SOLO2018

#### **Sorties :**

coeffs\_CI (-,-,-,-) Coefficients de la courbe de correction

#### **Algorithme :**

```
Suivant AlgoCourbeCorrIncidence
  cas CourbeCorrIncidence_Bosch
    coeff0_CI = 1
    coeff1_CI = 0
    coeff3_CI = -7e-7
  cas CourbeCorrIncidence_Green
    coeff0_CI = 1
    coeff1_CI = 7e-4
    coeff3_CI = -6e-7
  cas CourbeCorrIncidence_Sans
    coeff0_CI = 1
    coeff1_CI = 0
    coeff3_CI = 0
  cas CourbeCorrIncidence_SOLO2018
    coeff0_CI = Coeff0_CI_SOLO2018
    coeff1_CI = Coeff1_CI_SOLO2018
    coeff3_CI = Coeff3_CI_SOLO2018
Coeffs_CI = (coeff0_CI, coeff1_CI, 0, coeff3_CI)
/* courbe choisie pour la correction */
/* courbe capteur Bosch FKC-2W */
/* courbe capteur greenonetec 8201 */
/* sans correction */
/* correction SOLO2018 */
```

### **Calc\_CorrIncidence\_MH : calcule la correction liée à l'incidence (mois,heure)**

#### **Entrées**

Latitude	[degrés]	Latitude
Incline	[degrés]	Inclinaison sur l'horizontale
Azimuth	[degrés]	Orientation par rapport à l'équateur (/sud dan l'hémisphère nord)
Mois	-	numéro du mois
heure	-	heure du jour
Coeffs_CI	(-,-,-,-)	Coefficients de la courbe de correction

#### **Sorties :**

CorrIncidence\_MH

#### **Algorithme :**

```
AngleIncidence_MH = Calc_AngleIncidence_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, heure)
DAngleIncidence_MH = round(AngleIncidence_MH*180/ pi)
CorrIncidence_MH = coeffs_CI(0)
  +coeffs_CI(1)*DAngleIncidence_MH
  +coeffs_CI(3)*DAngleIncidence_MH*DAngleIncidence_MH*DAngleIncidence_MH
CorrIncidence_MH = min (1, CorrIncidence_MH)
```

Le deuxième sous-algorithme définit une valeur moyenne mensuelle du facteur correctif. Là aussi nous avons effectué différents tests et l'algorithme présenté ici inclut des variantes pour montrer comment il sera éventuellement possible d'ajuster l'approche sur ce point.

On rappellera que notre but n'était pas traiter rigoureusement le problème ce qui est hors de portée d'une méthode telle que SOLO et pas forcément évident dans l'absolu avec les données disponibles sur les capteurs mais de corriger au mieux le biais lié à l'angle d'incidence constaté sur les résultats de SOLOClassique lorsqu'on les compare aux mesures, et ce en gardant la simplicité de SOLO.

### **Calc\_CorrIncidence\_M : calcule la correction liée à l'incidence pour un mois donné**

#### **Entrées**

Latitude	[degrés]	Latitude
Incline	[degrés]	Inclinaison sur l'horizontale
Azimuth	[degrés]	Orientation par rapport à l'équateur (/sud dan l'hémisphère nord)
Mois	-	numéro du mois
AlgoCourbeCorrIncidence	-	Algo choisi (dans SOLO2018 : AlgoCourbeCorrIncidenceSOLO2018)
AlgoCorrIncidence	-	Algo choisi (dans SOLO2018 : AlgoCorrIncidenceSOLO2018)

#### **Constantes utilisées:**

CourbeCorrIncidence\_Sans, CourbeCorrIncidence\_Bosch, CourbeCorrIncidence\_Green  
 CourbeCorrIncidence\_SOLO2018

#### **Sorties :**

CorrIncidence\_M

#### **Algorithme :**

Coeffs\_CI = Calc\_Coeffs\_CourbeCorrIncidence(AlgoCourbeCorrIncidence)

/\* Dans SOLO2018, la correction est la moyenne de la correction calculée à 10h et à midi pour le mois \*/

/\* Des variantes prenant en compte d'autres heures ont été testées sur le modèle présenté ici \*/

Suivant AlgoCorrIncidence

cas CorrectionMidi

CorrIncidence\_M = Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 12, Coeffs\_CI)

cas Correction10h

CorrIncidence\_M = Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 10, Coeffs\_CI)

cas Correction9h

CorrIncidence\_M = Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 9, Coeffs\_CI)

cas CorrectionMidi9h

CorrIncidence\_M = (Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 12, Coeffs\_CI)  
 + Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 9, Coeffs\_CI))/2

cas CorrectionMidi10h

CorrIncidence\_M = (Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 12, Coeffs\_CI)  
 + Calc\_CorrIncidence\_MH(Latitude, Incline, Azimuth, Mois, 10, Coeffs\_CI))/2

### **Calc\_RayDisponible\_JM : calcule le rayonnement disponible en pratique**

#### **Entrées**

RGlobal_JM	kWh/m <sup>2</sup> /jr	rayonnement sur le plan des capteurs
CorrIncidence_M	-	Facteur correctif du mois

#### **Sorties :**

RDisponible\_JM kWh/m<sup>2</sup>/jr rayonnement disponible à utiliser en entrée de SOLO

#### **Algorithme :**

RDisponible\_JM = CorrIncidence\_M \* RGlobal\_JM

### 7.3.5 Calcul de la production solaire d'un CESC

L'algorithme permet de calculer la production solaire d'un CESC. La fonction est utilisée directement pour le calcul d'un CESC sans apport au bouclage. Mais un simple changement de la température de référence de l'eau chaude permet de tenir compte des apports indirects au bouclage éventuels et le changement des températures de référence d'eau froide et d'eau chaude permet de calculer aussi la production d'un CESCET (cf 7.3.6).

#### Calc\_SOLO2018\_M

##### Entrées :

mois	-	Numéro du mois
Latitude	-	Latitude du lieu en degrés
VECS_Ref_JM	l/jr	Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude (T prod.)
T_Ref_M	°C	température de référence eau chaude pour le calcul SOLO
RDisponible_JM	kWh/m <sup>2</sup> /Jr	rayonnement incident corrigé de la correction capteur
TExt_M	°C	température météo moyenne mensuelle sur le site
TEF_M	°C	température de l'eau froide
TEnvStockSolaire_M	°C	température moyenne mensuelle eau autour du stock solaire
BCapt	-	pseudo rendement optique (ancienne norme française)
SCapt	m <sup>2</sup>	surface du champ de capteurs
KG1Primaire	W/K/m <sup>2</sup>	Perte globale primaire unitaire (conductance /m <sup>2</sup> capteur)
EfficaciteTransfert	-	Efficacité globale jusqu'au stock solaire (capt+primaire+échangeur)
VStockSolaire	litres	Volume du stock solaire
CRStockSolaire	Wh/l/K/jour	Constante de refroidissement du stock solaire
TMaxStockSolaire	°C	Température maximale acceptable pour le stock solaire

##### Constantes :

Tab_JourRef_M	-	jour de référence du mois
CpECS	Wh/litre/K	Capacité calorifique de l'eau

##### Sorties :

BRef_JM	kWh	Besoins journaliers de référence en moyenne mensuelle
ESol_JM	kWh	Production solaire (en sortie solaire) journalière en moyenne mensuelle

##### Algorithme :

```

/*conversion en unités SI*/
CapaLitre = 3600*CpECS /* Wh -> Joules*/
RDisponible_JM_SI = RDisponible_JM*3.6E6 /* kWh -> Joules*/
CRStockSolaire_SI = CRStockSolaire /* Wh/litres/K/jour en Joules/litres/K/jour
/*calcul astronomiques [en degrés décimaux ici*/
Decline= 23.45*sin((pi/180)*(0.986*Tab_JourRef_M[mois]-80))
/*calcul puissance solaire maximale sur le plan horizontal*/
PSolMax_Hz = 650+800*sin(1.8*(pi/180)*(60-Latitude+Decline))
/*Calcul ΔT*/
DeltaBallon = TExtBallon-TEF_M
DeltaAmbiant = TExt_M-TEF_M
DeltaBesoin = T_Ref_M -TEF_M
DeltaPertesMax = T_Ref_M -TExtBallon
/*Calcul Energies en unités SI*/
BRef_JM_SI =VECS_Ref_JM*DeltaBesoin*CapaLitre
/*ALGORITHME CENTRAL DE SOLO INCHANGÉ*/
CoeffS = (0.8*CRStockSolaire_SI*VStockSolaire)/(VECS_Ref_JM*CapaLitre)
CoeffT = (DeltaAmbiant+Bcapt*PSolMax_Hz /Kg1Primaire)/DeltaBesoin
CoeffQ =
BRef_JM_SI*PSolMax_Hz /(RDisponible_JM_SI*Scapt*Kg1Primaire*EfficaciteTransfert*DeltaBesoin)
CoeffZ = VECS_Ref_JM/(coeffT*VStockSolaire)*(1+DeltaBesoin*coeffT/TMaxStockSolaire)
CoeffF2 = 1/(1+CoeffS)*(CoeffT/(1+coeffQ)+CoeffS*DeltaBallon/DeltaBesoin)
Coeff1surFF= 1+2/(exp(2*CoeffF2*CoeffF2)-1)+0.2*CoeffZ*CoeffZ
CouvSolSOLO= sqrt(1/Coeff1surFF)
ESol_JM_SI = BRef_JM_SI*CouvSolSOLO
/*Conversion SI -> kWh*/
BRef_JM = BRef_JM_SI /3.6E6
ESol_JM = ESol_JM_SI /3.6E6

```

### 7.3.6 Calcul de la production solaire d'un CESCET

#### *Calcul des pertes du circuit eau technique*

#### **Calc\_ EPerteET\_JM : Calcul des pertes journalières du circuit eau technique**

##### **Sortie :**

EPerteET\_JM kWh/jr Pertes journalières du circuit ET

##### **Entrées :**

KGET W/K Conductance globale du circuit ET  
 VECS\_Pro\_JM l/jr Consommation ECS journalière du mois  
 TEF\_M °C Température eau froide du mois  
 EsoI\_CESC\_JM kWh Production solaire jour CESC sous-jacent  
 TenvStockSolaire\_M °C température autour du stock solaire du mois

##### **Constantes utilisées :**

CpET kWh/m<sup>3</sup>/K Capacité calorifique volumique de l'eau

##### **Algorithme :**

$TC\_ET\_M = TEF\_M + 1000 * EsoI\_CESC\_JM / (CpET * VECS\_Pro\_JM)$

$PPerteET = KGET * (TC\_ET\_M - TenvStockSolaire\_M)$  /\* puissance (W) \*/

$EPerteET\_JM = 24 * PPerteET / 1000$

#### *Calcul du $\Delta T$ caractéristique du circuit eau technique*

On détermine d'abord le débit de pointe de la consommation ECS. On a pris une valeur plutôt élevée pour la majorité des applications, ie une approche conservative sur la production : la pénalisation due à l'eau technique pourra être moins élevée si le débit de pointe est plus faible.

#### **Calc\_ DebitECSMax10 : Calcul de la pointe 10' du débit de consommation ECS**

##### **Sortie :**

DebitECSMax10 m3/h Débit de pointe 10' du puisage ECS

##### **Entrées :**

AlgoDebitECSMax10 liste Algorithme de définition débit max 10' ECS  
 VECS\_Pro\_JM l/jr Consommation journalière ECS

##### **Constantes utilisées :**

AlgoDebitECSMax10Default -  
 RatioECSMax10SurJDefault - Ratio Pointe de conso 10'/conso journalière

##### **Algorithme :**

Suivant AlgoDebitECSMax10

Cas AlgoDebitECSMax10Default /\*un seul modèle pour l'instant \*/

$DebitECSMax10 = RatioECSMax10SurJDefault * VECS\_Pro\_JM / 1000$

Fin Suivant

On calcule ensuite un  $\Delta T$  de pénalisation simplificateur (on se place au point chaud de chaque circuit et de plus les conditions varient en permanence) mais les résultats et la sensibilité aux paramètres sont acceptables au vu des tests (le résultat est plutôt conservatif en général).

#### **Calc\_DeltaTcorr\_ET : calcule le $\Delta T$ caractéristique du circuit eau technique sur un mois**

##### **Entrées :**

PEchET1 W/K puissance de l'échangeur par °C  
 DebitECSMax10 m3/h débit de pointe à 10' du puisage ECS  
 DebitET m3/h débit du circuit eau technique (constant)  
 SCapt m<sup>2</sup> surface totale des capteurs solaires  
 TEF\_M °C Température de l'eau froide  
 VECS\_Pro\_JM l/jr Consommation journalière moyenne mensuelle eau chaude (T prod.)  
 ESol\_CESC\_JM kWh Production solaire de référence CESC  
 AlgoPincement - Modèle d'algorithme de pincement

##### **Constantes utilisées :**

CpECS Wh/litre/K Capacité calorifique de l'eau (identique CpET)  
 AlgoPincementSOLO2018 un seul algorithme en pratique

##### **Sorties :**

DeltaTcorr\_ET °C  $\Delta T$  caractéristique de la pénalisation eau technique

**Algorithme :**

```

Cp = CpECS
mCpET = Cp*DebitET*1000 /*W/K*/
mCpECS = Cp*DebitECSMax10*1000
TECS_CESC_M = TEF_M+1000*ESol_CESC_JM/(CpECS*VECS_Pro_JM) /*calc Tsortie solaire CESC*/
Suivant AlgoPincement
  Cas AlgoPincementSOLO2018 /*un seul algorithme pour l'instant */
    Si mCpECS > mCpET
      mCpMin = mCpET
      mCpMax = mCpECS
    Sinon
      mCpMin = mCpECS
      mCpMax = mCpET
    Qmax = mCpMin*(TECS_CESC_M-TEF_M) /*W*/
    R = mCpMin/ mCpMax
    NUT = PEchET1/ mCpMin
    Si R <>1
      CoeffExpNut = exp(-NUT*(1-R))
      EffEchET = (1-CoeffExpNut)/(1-R* CoeffExpNut)
    Sinon
      EffEchET = NUT/(1+NUT)
    DeltaT_ECS = EffEchET* Qmax/mCpECS /* calcul de l'échauffement ECS */
    TC_ECS = TEF_M+ DeltaT_ECS /* calcul température chaude ECS */
    /* calcul du pincement de sortie*/
    DeltaT_Pincement = TECS_CESC_M-TC_ECS
    /* calcul du ΔT logarithmique moyen pour info interne*/
    DeltaT_ET = EffEchET* Qmax/mCpET
    TF_ET = TECS_CESC_M-DeltaT_ET
    DeltaTa = TF_ET - TEF_M
    DeltaTb = TECS_CESC_M - TC_ECS)
    Si DeltaTa = DeltaTb
      DTLM = DeltaTA
    Sinon
      DTLM = (DeltaTa-DeltaTb)/ Ln(DeltaTa/DeltaTb) /* pour info interne*/
    DeltaTcorr_ET = DeltaT_Pincement
  Fin Suivant AlgoPincement

```

### 7.3.7 Calcul de la production solaire primaire SOLO2018

On a défini la production primaire associée à une production SOLO en appliquant le raisonnement suivant :

- la température du stock solaire dépend du taux de couverture solaire
- si le taux de couverture est 1,  $T\_SortieStockSolaire = T\_Ref$
- si le taux de couverture est 0,  $T\_SortieStockSolaire = TEF$
- si on suppose le ballon solaire de température homogène (ce n'est pas tout à fait vrai en toute rigueur mais cohérent avec l'approche interne de SOLO), les pertes du stock solaire sont calculables en utilisant cette température.
- on peut alors calculer la production en entrée du stock solaire (dite production primaire) en additionnant ces pertes à la production en sortie du stock solaire.

On pourrait si on le souhaite définir des besoins au primaire en considérant les pertes du stock à la température de consigne de la production ECS. Dans l'outil développé en parallèle, les besoins primaires ne sont pas fournis pour alléger l'interface.

#### Calc\_SOLO2018Primaire\_M

##### Entrées :

TypeSchemaProductionECS	liste	Schéma production ECS (CESC aujourd'hui)
TypeSousSchemaSolaire	liste	Sous schéma solaire (5 cas aujourd'hui)
VStockSolaire	litres	Volume du stock solaire
CRStockSolaire	Wh/l/K/jour	Constante de refroidissement du stock solaire
TEF_M	°C	température de l'eau froide
T_Ref_M	°C	température moyenne mensuelle eau chaude référence (TECS_Pro ou...)
TEnvStockSolaire_M	°C	température moyenne mensuelle eau autour du stock solaire
BRef_JM	kWh	Besoins journaliers de référence en moyenne mensuelle <sup>9</sup>
ESol_JM	kWh	Production solaire (en sortie solaire) journalière en moyenne mensuelle

##### Sorties :

ESol_Primaire_JM	kWh	Production solaire primaire journalière en moyenne mensuelle
BPrimaire_JM	kWh	Besoins journaliers au primaire en moyenne mensuelle

##### Algorithme :

```

Suivant TypeSchemaProductionECS
  Cas SchemaProductionECS_CESC /*seul cas traité pour l'instant*/
    Si BRef_JM>0 Alors
      T_SortieStockSolaire_M = TEF_M+(T_Ref_M-TEF_M)*(ESol_JM/BRef_JM)
      EPertesStockSolaire_JM =
        (T_SortieStockSolaire_M-TEnvStockSolaire_M)*VStockSolaire*CRStockSolaire/1000
      ESol_Primaire_JM = ESol_JM + EPertesStockSolaire_JM
      EPertesRefStockSolaire_JM =
        (T_Ref_M-TEnvStockSolaire_M)*VStockSolaire*CRStockSolaire/1000
      BPrimaire_JM = BRef_JM + EPertesRefStockSolaire_JM
    Sinon ESol_Primaire_JM = 0
  
```

<sup>9</sup> On pourrait utiliser VECJM comme entrée plutôt que BRef\_JM.

### 7.3.8 Procédure générale SOLO2018

*Procédure maîtresse : Calcul des différentes productions et besoins*

#### SOLO2018

*/\* NOTE : on ne détaille pas ici tous les paramètres d'entrée de SOLO2018.  
Un tableau les décrit en 7.1*

#### Sorties :

Tab_BECS_Pro_JM	kWh	Besoins de production ECS journaliers en moyenne mensuelle
Tab_EPerteBoucle_JM	kWh	pertes de boucle journalières moyennes mensuelles
Tab_BECS_T_JM	kWh	Besoins totaux (production ECS+boucle) journaliers moyens mensuels
Tab_ESol_Pro_JM	kWh	Production solaire journalière en moyenne mensuelle
Tab_CouvSol_Pro_JM	-	taux de couverture solaire sur la production ECS
Tab_TauxEcoEnergie_M	-	taux de couverture solaire sur la production ECS
Tab_ESol_Primaire_JM	kWh	Production solaire primaire journalière en moyenne mensuelle

#### Algorithme :

*/\* NOTE : on ne précise pas dans les calculs préliminaires les paramètres d'entrée, \*/  
/\* ils sont décrits dans la présentation de chaque fonction \*/*

#### */\*Calculs préliminaires sur l'installation solaire\*/*

```
(BCapt,KCapt) = Calc_BK(...)
(KGPrimaire,EfficaciteTransfert) = Calc_AmontStockSolaire(...)
VStockSolaire = Calc_VStockSolaire(...)
CRStockSolaire = Calc_CRStockSolaire(...)
Si TypeSchemaProductionECS = SchemaProductionECS_CESCET /*calcul complémentaire ET
    KGET = Calc_KGET
    PEchET1 = Calc_PEchET1(ModelePEchangeurET,SCapt,PEchET1)
    DebitET = Calc_DebitET(ModeleDebitET,SCapt,DebitET)
```

#### */\*Boucle principale\*/*

Pour mois variant de 1 à 12

#### */\*Calculs préliminaires sur les besoins\*/*

```
Tab_TEF_M[mois] = Calc_TEF_M[mois](...)
Tab_VECS_Pro_JM[mois] = Calc_VECS_Pro_JM(...)
Tab_BECS_Pro_JM[mois] = Calc_BECS_Pro_JM(...) /*calculé aussi dans Calc_SOLO2018_M*/
Tab_EPerteBoucle_JM[mois] = Calc_EPerteBoucle_JM
Tab_BECS_ThTotal_JM[mois] = Calc_BECS_ThTotal_JM(...)
Tab_TECS_Etendu_M[mois] = Calc_TECS_Etendu_M(...)
```

#### */\*Calculs préliminaires sur le gisement solaire\*/*

```
Tab_RGlobal_JM[mois] = Calc_RGlobal_JM(...)
CorrIncidence_M = Calc_CorrIncidence_M(...)
Tab_RDisponible_JM[mois] = Calc_RDisponible_JM(...)
```

#### */\*Calcul de la production solaire CESC de base suivant le sous-schéma de boucle\*/*

Suivant Type\_SousSchemaBoucle

```
cas Boucle1_AucunApportSolaire /* on calcule la production solaire de base*/
    (Tab_BECS_JM[mois],Tab_ESol_Pro_JM[mois]) = Calc_SOLO2018_M
    (mois,Latitude,Tab_VECS_Pro_JM[mois],Tab_TECS_Pro_M[mois],
    Tab_RDisponible_JM[mois],TExt_M[mois],Tab_TEF_M[mois],
    BCapt,SCapt,Kg1Primaire,EfficaciteTransfert,VStockSolaire,CRStockSolaire,TMaxStockSolaire)
```

cas Boucle2\_ApportSolaireIndirect

*/\* on calcule les besoins étendus contraints et la production solaire étendue associée\*/*

```
(Tab_BECS_Etendu_JM[mois],Tab_ESol_Pro_JM[mois]) = Calc_SOLO2018_M
    (mois,Latitude,Tab_VECS_Pro_JM[mois],Tab_TECS_Etendu_M[mois],
    Tab_RDisponible_JM[mois],Tab_TExt_M[mois],Tab_TEF_M[mois],
    BCapt,SCapt,Kg1Primaire,EfficaciteTransfert,VStockSolaire,CRStockSolaire,TMaxStockSolaire)
```

Fin Suivant Type\_SousSchemaBoucle

**/\*Correction à appliquer si on est en CESCET, on doit refaire un calcul SOLO\*/**

```
Si TypeSchemaProductionECS = SchemaProductionECS_CESCET
  DebitECSMax10 = Calc_DebitECSMax10(AlgoDebitECSMax10,Tab_VECS_Pro_JM[mois])
  DeltaT_ETECS = Calc_DeltaT_ET
  (PEchET1,DebitECSMax10,DebitET, SCapt,
   Tab_TEF_M[mois],Tab_VECS_Pro_JM[mois],Tab_ESol_Pro_JM[mois],AlgoPincement)
  TEF_ET = Tab_TEF_M[mois] + DeltaT_ETECS
```

**/\*Calcul de la production corrigée (températures modifiées) en sortie de ballon solaire \*/**

```
Suivant Type_SousSchemaBoucle
  cas Boucle1_AucunApportSolaire /* production solaire de base */
    TEC_ET = Tab_TECS_Pro_M[mois] + DeltaT_ETECS
    (Tab_BECS_JM[mois],Tab_ESol_ProET_JM[mois]) = Calc_SOLO2018_M
    (mois,Latitude,Tab_VECS_Pro_JM[mois],TEC_ET,
     Tab_RDisponible_JM[mois],TExt_M[mois],TEF_ET,Tab_TEnvStockSolaire_M[mois],
     BCapt,SCapt,Kg1Primaire,EfficaciteTransfert,
     VStockSolaire,CRStockSolaire,TMaxStockSolaire)
  cas Boucle2_ApportSolaireIndirect
    TEC_ET = Tab_TECS_etendu_M[mois] + DeltaT_ETECS
    /* on calcule les besoins étendus contraints et la production solaire étendue associée*/
    (Tab_BECS_Etendu_JM[mois],Tab_ESol_ProET_JM[mois]) = Calc_SOLO2018_M
    (mois,Latitude,Tab_VECS_Pro_JM[mois],TEC_ET,Tab_RDisponible_JM[mois],
     Tab_TExt_M[mois],TEF_ET,Tab_TEnvStockSolaire_M[mois],
     BCapt,SCapt,Kg1Primaire,EfficaciteTransfert,
     VStockSolaire,CRStockSolaire,TMaxStockSolaire)
FinSuivant Type_SousSchemaBoucle
```

**/\*Calcul de la températures ECS en sortie de l'échangeur solaire hors pertes pour info\*/**

```
Tab_TECS_sortieET[mois] =
  Tab_TEF[mois]+Tab_ESol_ProET_JM[mois]/CpECS/Tab_VECS_Pro_JM[mois]
```

**/\* calcul des pertes \*/**

```
EPerteET_JM = Calc_EPerteET_JM(KGET,Tab_VECS_Pro_JM[mois],
  Tab_TEF_M[mois],Tab_ESol_Pro_JM[mois],Tab_TenvStockSolaire_M[mois])
```

**/\* calcul de la production corrigée des pertes \*/**

```
Tab_ESol_Pro_JM[mois]= Tab_ESol_ProET_JM[mois]-EPerteET_JM
```

Fin Si

**/\*fin de correction CESCET\*/**

**/\*Calcul du taux de couverture solaire CouvSol\_M\*/**

```
CouvSol_Pro_Mmois] =
  Tab_ESol_Pro_JM[mois]/(Tab_BECS_JM[mois])
```

**/\*Calcul du taux d'économie d'énergie TauxEcoEnergie\_M\*/**

```
TauxEcoEnergie_M[mois] =
  Tab_ESol_Pro_JM[mois]/(Tab_BECS_JM[mois]+ Tab_EPerteBoucle_JM[mois])
```

**/\*Calcul de la production primaire solaire associée à la production SOLO2018\*/**

**/\* En CESCET on calcule à partir de la production ET avant d'avoir enlevé les pertes du circuit ET\*/**

```
Si TypeSchemaProductionECS = SchemaProductionECS_CESCET
```

```
  ESolRefPourPrimaire = Tab_ESol_ProET_JM[mois]
```

Sinon

```
  ESolRefPourPrimaire = Tab_ESol_Pro_JM[mois]
```

```
(Tab_BPrimaire_JM[mois],Tab_ESol_Primaire_JM[mois]) = Calc_SOLO2018Primaire_M
```

```
(TypeSchemaProductionECS,TypeSousSchemaSolaire, VStockSolaire,CRStockSolaire
```

```
  Tab_TEF_M[mois],Tab_TECS_Pro_M[mois], Tab_BECS_ThTotal_JM[mois],Tab_ESol_Pro_JM[mois],
```

```
  Tab_TEnvStockSolaire_M[mois], Tab_BRef_JM[mois], ESol_JM [mois])
```

Fin boucle mois

**/\*Fin de Boucle principale\*/**

*/\* Le calcul élémentaire des résultats annuels (énergie, taux) n'est pas détaillé ici\*/*