

# Rapport d'activités – Mission scientifique en Tunisie

Dr. El Jarroudi Moussa

Période de mission : 11 au 14 juin 2025

Lieu : Cité des Sciences, Tunis – Tunisie

Événement : Workshop « Gestion durable des eaux souterraines en Tunisie : enjeux, recherche et retours d'expérience » (12 juin 2025)

---

## Objectifs de la mission

- Représenter la délégation scientifique internationale et présenter un cadre analytique innovant pour la résilience hydrique et agricole.
  - Renforcer les collaborations avec les acteurs tunisiens (chercheurs, experts, décideurs).
  - Proposer des solutions concrètes pour répondre au stress hydrique prolongé en Tunisie à travers le modèle IHAF.
- 

## Déroulement de la mission

- **11 juin 2025** : Arrivée à Tunis, accueil par les organisateurs du workshop.
  - **12 juin 2025** : Participation en tant qu'orateur principal. Présentation du modèle IHAF et démonstration de son potentiel opérationnel pour la Tunisie.
  - **13 juin 2025** : Réunions stratégiques bilatérales avec des chercheurs tunisiens et du Ministère tunisien de l'Agriculture.
  - **14 juin 2025** : Retour en Belgique.
- 

## Résumé de l'intervention

La Tunisie est confrontée à une **extrême rareté hydrique (<400 m<sup>3</sup>/hab/an)** et à une pression phytosanitaire alarmante. J'ai présenté une **approche systémique et opérationnelle : le modèle IHAF (Intégré–Holistique–Adaptatif–Flexible)**. Ce modèle, fondé sur des données scientifiques robustes, permet de :

- **Cartographier les risques par gouvernorat.**
- **Simuler les impacts des pratiques agricoles sur la sécurité hydrique.**
- **Hiérarchiser les trajectoires de transition vers une agriculture sobre en eau.**
- **Optimiser les interventions phytosanitaires via la lutte intégrée (IPM).**

Les résultats ont montré une **amélioration de +25 % de l'efficience hydrique** dans les scénarios intégrant l'irrigation localisée et la diversification culturale.

---

## **Retombées et impact de la mission**

- **Renforcement de la coopération scientifique** avec les partenaires tunisiens (INAT, INRGREF, DGACTA).
  - **Réactivation de liens stratégiques avec la délégation belge** présente à Tunis.
  - **Ouverture de pistes concrètes de collaboration**, notamment autour :
    - d'un **projet de système d'alerte précoce** basé sur les arbres de risque/décision IHAF,
    - de la **mise en réseau des observatoires climatiques et agronomiques régionaux**,
    - d'une **co-construction de politiques hydriques et agricoles adaptatives**.
- 

## **Recommandations & perspectives**

- **Institutionnaliser un cadre de dialogue scientifique-gouvernance** autour du Nexus Eau-Agriculture.
  - **Mettre en place une plateforme IHAF-Tunisie** pour suivre, anticiper et accompagner les décisions stratégiques en matière d'eau, d'agriculture et de sécurité alimentaire.
  - **Mobiliser les financements européens et internationaux** (PRIMA, Horizon Europe, FAO) pour opérationnaliser les outils développés.
- 

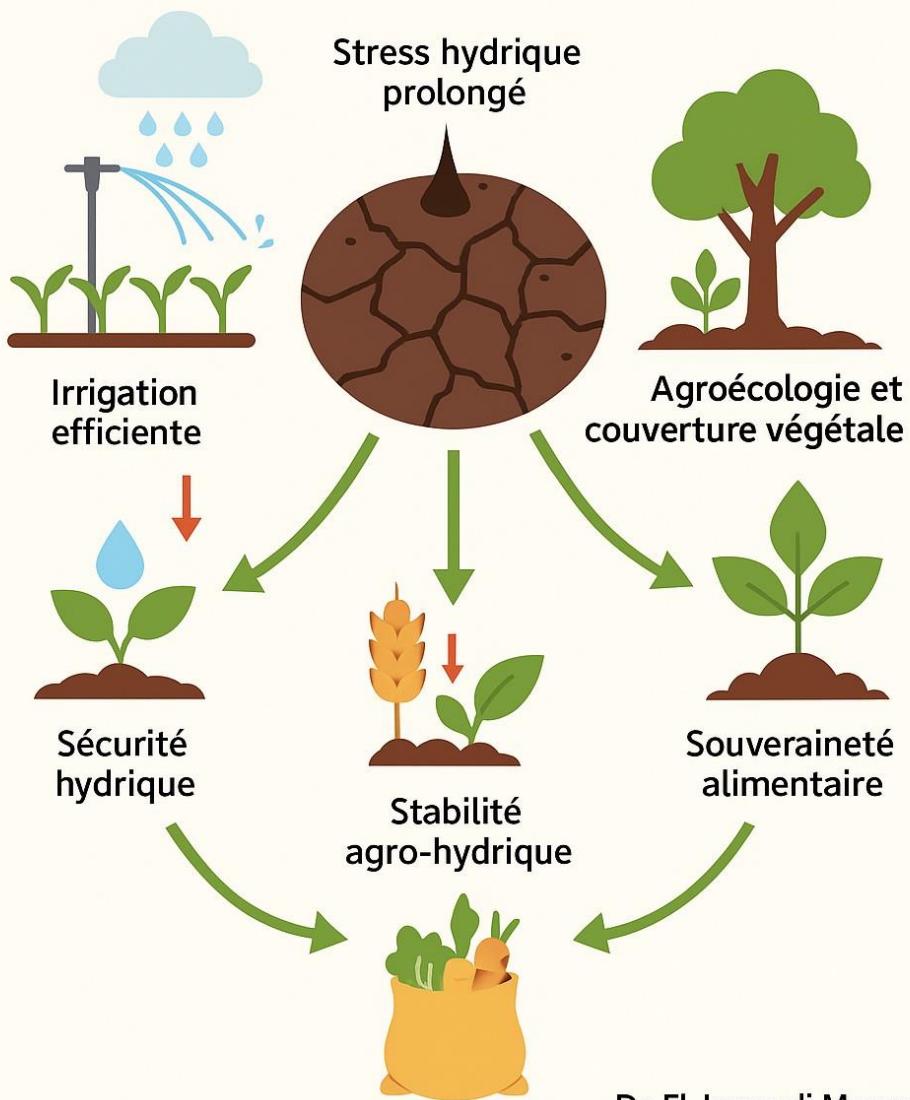
## **Annexes**

- Résumé de l'intervention scientifique (*cf. document joint*).
- Infographie de synthèse avec signature.
- Présentation PowerPoint IHAF – Workshop Tunis 2025.

## Annexes

### Résumé de l'intervention – Dr. El Jarroudi Moussa

## Préserver l'eau, protéger les cultures : Vers une lutte intégrée durable au cœur du Nexus Eau–Agriculture en Tunisie face au stress hydrique prolongé



La Tunisie est confrontée à une situation critique marquée par une rareté hydrique extrême ( $<400 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{an}$ ) et une pression phytosanitaire croissante, menaçant à la fois la viabilité de

ses agroécosystèmes et sa souveraineté alimentaire. Cette double contrainte engendre un basculement systémique dans le Nexus Eau–Agriculture, accentué par les dérèglements climatiques et une gouvernance encore sectorielle.

Face à ce constat, cette intervention propose une réponse scientifique inédite : le modèle **IHAF** (**Intégré–Holistique–Adaptatif–Flexible**), conçu comme un **outil d'aide à la décision robuste**, permettant d'anticiper, d'évaluer et de piloter les dynamiques complexes entre usages de l'eau, rendements agricoles, efficience d'irrigation, et vulnérabilité socio-environnementale.

À travers une analyse diachronique et spatiale des régions tunisiennes (Nord, Centre, Sud), les résultats montrent que l'**intégration de la lutte phytosanitaire raisonnée (IPM)** et des pratiques agroécologiques améliore sensiblement les performances du système (jusqu'à +25 % en efficience d'utilisation de l'eau avec irrigation localisée et diversification culturelle).

Le modèle IHAF permet de :

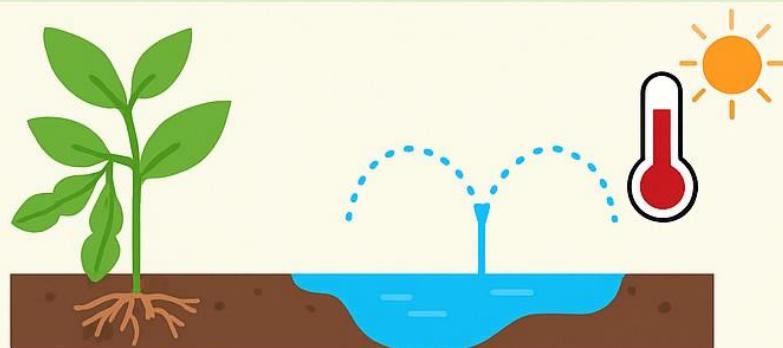
- modéliser des trajectoires différencierées de transition durable,
- hiérarchiser les risques par gouvernorat,
- favoriser la planification territoriale équitable,
- renforcer la résilience face aux stress climatiques.

Il constitue une **innovation structurante**, capable d'être déployée aux **échelles locale, nationale et internationale** (ex. FAO, OSS, ministères). Il appelle à une réforme de la gouvernance, intégrant données scientifiques, acteurs de terrain, et instruments d'aide à la décision.

Ce travail invite à un changement de paradigme : passer d'une agriculture extractive et vulnérable à un modèle **résilient, sobre et intégré**, articulant **sciences du sol, hydrologie, phytopathologie et politiques publiques**. Le colloque constitue une plateforme idéale pour catalyser ce dialogue interdisciplinaire et opérationnaliser les outils scientifiques tels que le **modèle IHAF** au service de la **transition hydrique et alimentaire de la Tunisie**.

## **Infographie de synthèse avec signature**

# Préserver l'eau, protéger les cultures : Nexus Eau-Agriculture en Tunisie



Stress hydrique extrême et menaces phytosanitaires →  
Besoin de solutions intégrées et durables

## Un modèle innovant



Intégré  
prise en compte  
des interactions  
eau-agriculture

Holistique: approche systémique  
et opérationnelle

Adaptatif: simulations  
et ajustements par région

## Impacts positifs



+ 25 %  
efficience hydrique  
avec irrigation localisée



↓ traitement  
des maladies



↑ résilience du  
secteur agricole

## Déploiement à grande échelle



- + Réforme de la gouvernance
- + Dialogue science-décision politique
- + Co-construction d'une agriculture durable

*Dr. El Jarroudi Moussa*

## **Présentation PowerPoint IHAF – Workshop Tunis 2025**

- **Préserver l'eau, protéger les cultures : Vers une lutte intégrée durable au cœur du Nexus Eau–Agriculture en Tunisie face au stress hydrique prolongé**

VERS UNE LUTTE INTÉGRÉE DURABLE AU CŒUR DU NEXUS EAU–AGRICULTURE  
EN TUNISIE FACE AU STRESS HYDRIQUE PROLONGÉ  
WORKSHOP – 12 JUIN 2025, CITÉ DES SCIENCES, TUNIS

Dr. El Jarroudi Moussa  
[meljarroudi@uliege.be](mailto:meljarroudi@uliege.be)

# CONTEXTE STRATÉGIQUE



**L'agriculture consomme 80 % des ressources en eau**

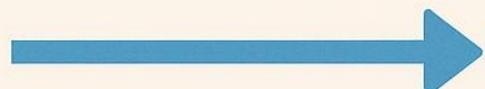
**La Tunisie est confrontée à un stress hydrique structurel aggravé par le changement climatique**



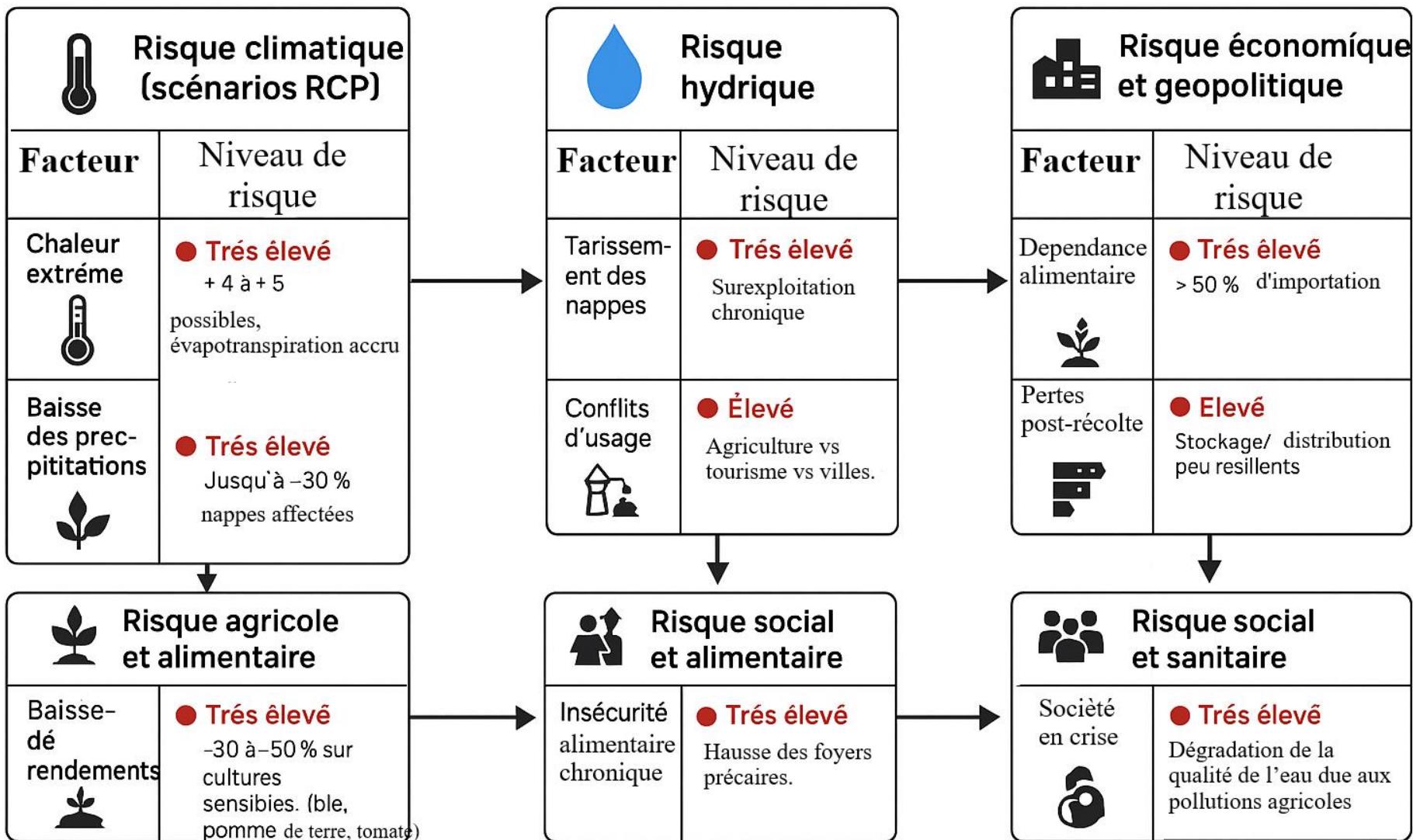
**La sécurité alimentaire est menacée par la rareté de l'eau et la dégradation des terres**



**Nécessité d'une approche intégrée et durable**



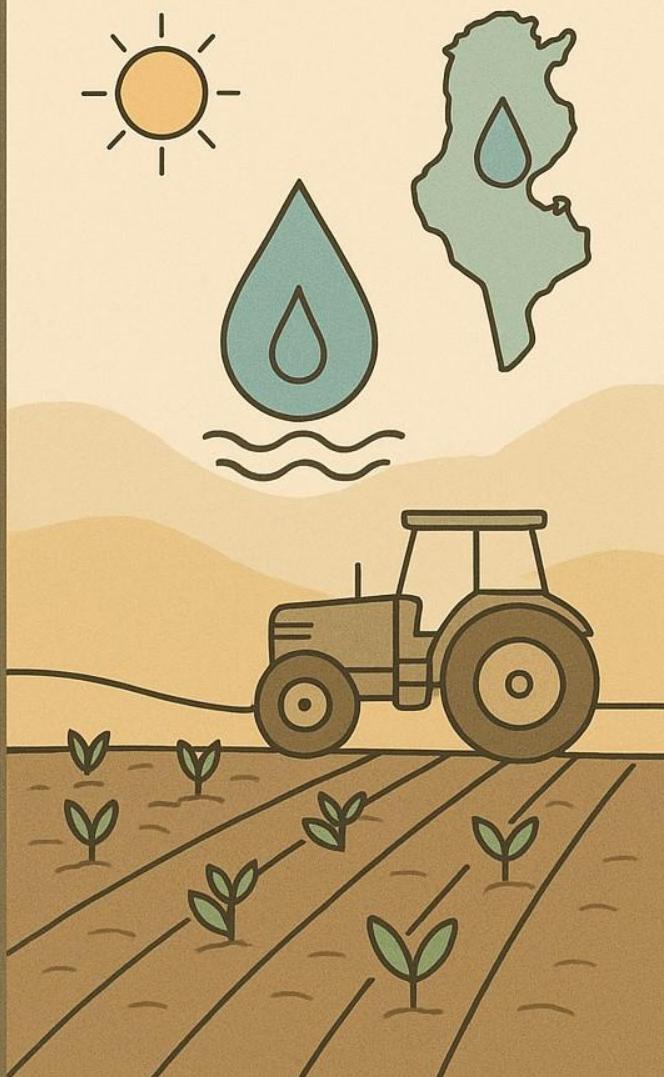
# ANALYSE DE RISQUE MULTIDIMENSIONNELLE POUR TUNISIE – HORIZON 2050



# PASSÉ



# PRÉSENT



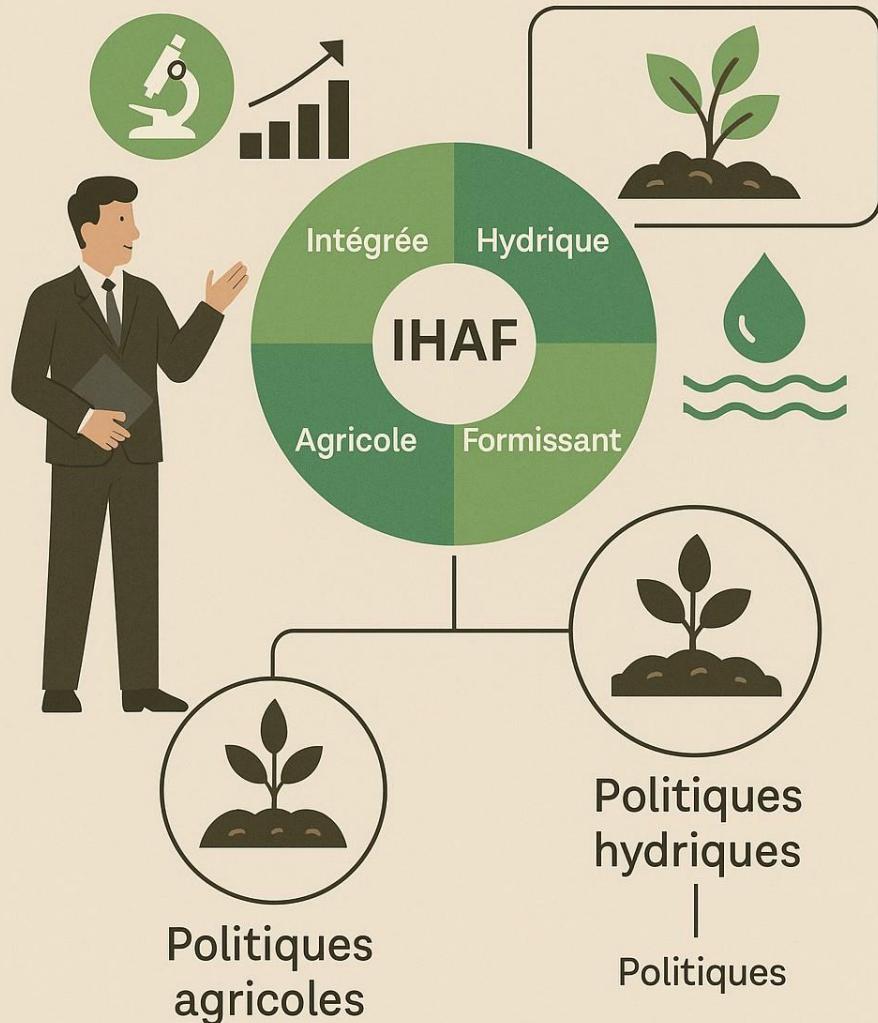
# FUTUR



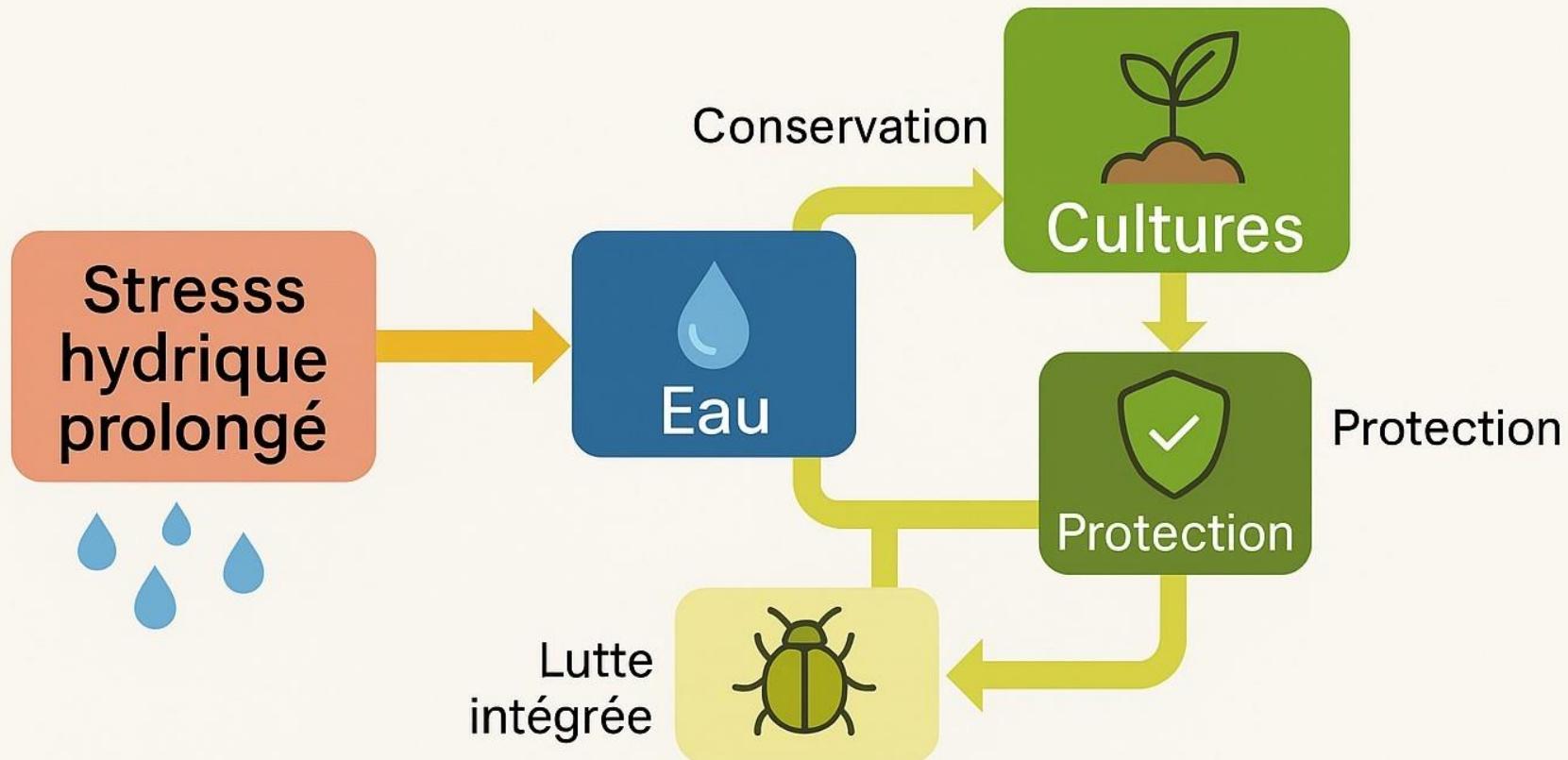
# OBJECTIF DE L'INTERVENTION

IHAF: Outil d'aide à la décision  
Intégrée, Holistique, Adaptative, Flexible

Présenter une approche scientifique et stratégique pour une lutte intégrée durable, reposant sur le modèle IHAF comme outil d'aide à la décision pour les politiques agricoles et hydriques



# Préserver l'eau, protéger les cultures



# Analyse diachronique Tunisie : Évolution du stress hydrique et de la pression phytosanitaire

Période	Prélèvements en eau (%)	Nappes surexploitées (%)	Surface traitée chimiquement (kha)	Nombre de traitements
Années 1980	40 %	10 %	150 kha	1–2/an
Années 2000	65 %	40 %	320 kha	3–4/an
Années 2020	80 %	70 %	500 kha	5–6/an



**Observation :** l'intensification agricole non contrôlée a provoqué un **double basculement hydrique et chimique**, alimentant un cercle vicieux.

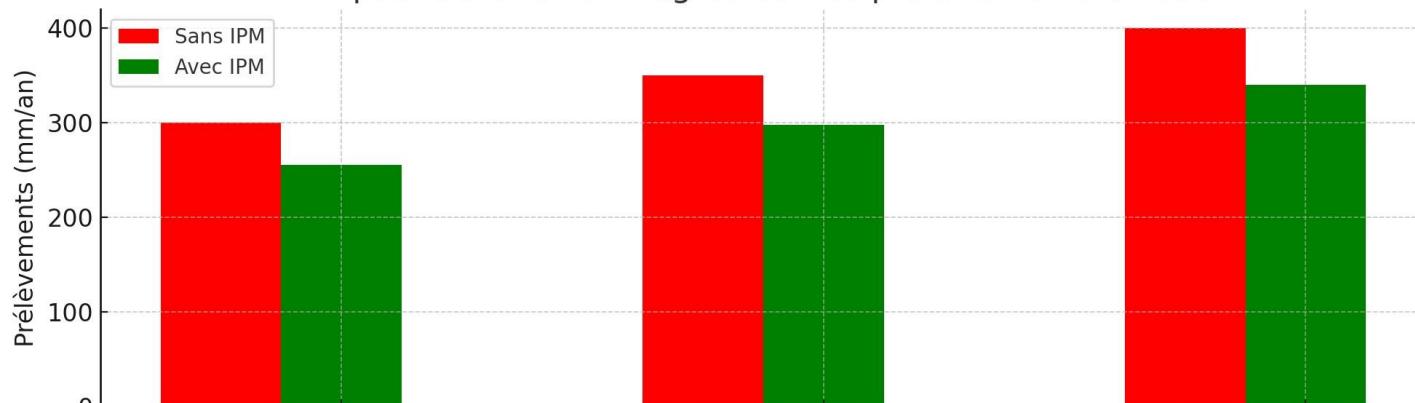
## Analyse spatiale (régionale) – Exemple Nord / Centre / Sud

Région	Niveau de recharge (%)	Pression chimique	Résilience sans IPM	Résilience avec IPM
Nord	60 %	Moyenne	Élevée	Très élevée
Centre	40 %	Élevée	Moyenne	Élevée
Sud	20 %	Très élevée	Faible	Moyenne à bonne

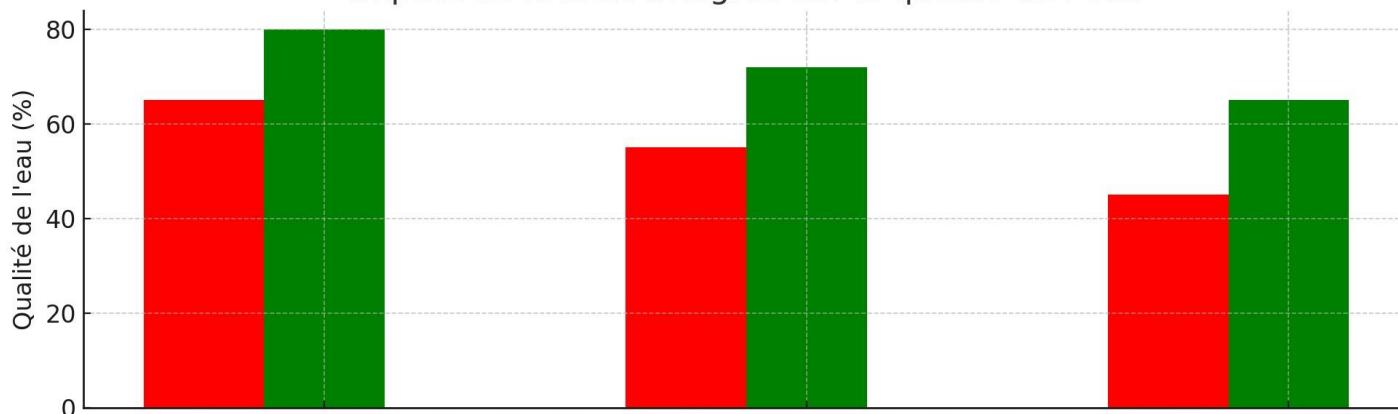


**Conclusion : IPM est le levier de résilience différentielle permettant une adaptation territorialisée.**

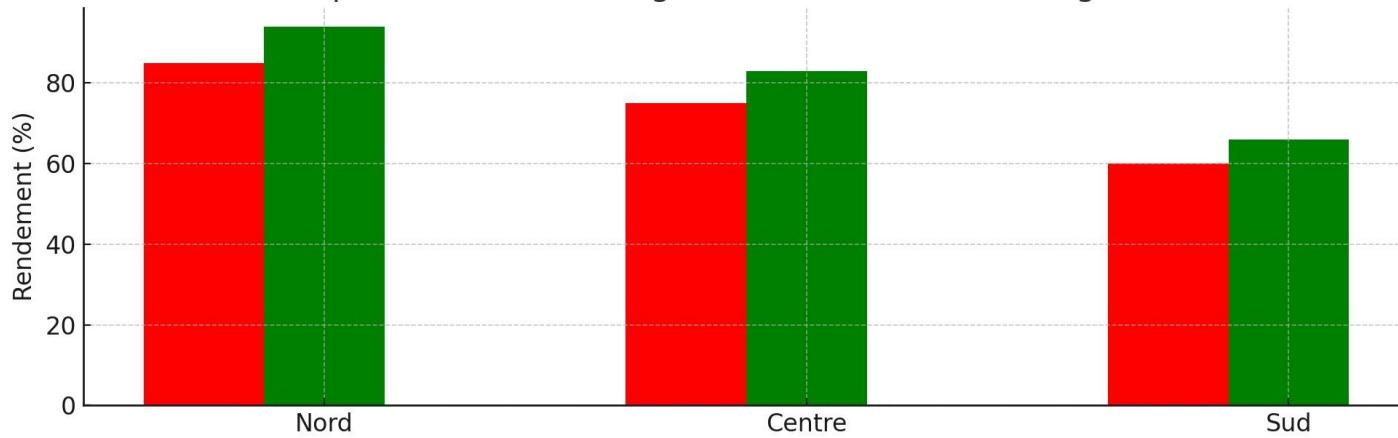
### Impact de la lutte intégrée sur les prélèvements en eau



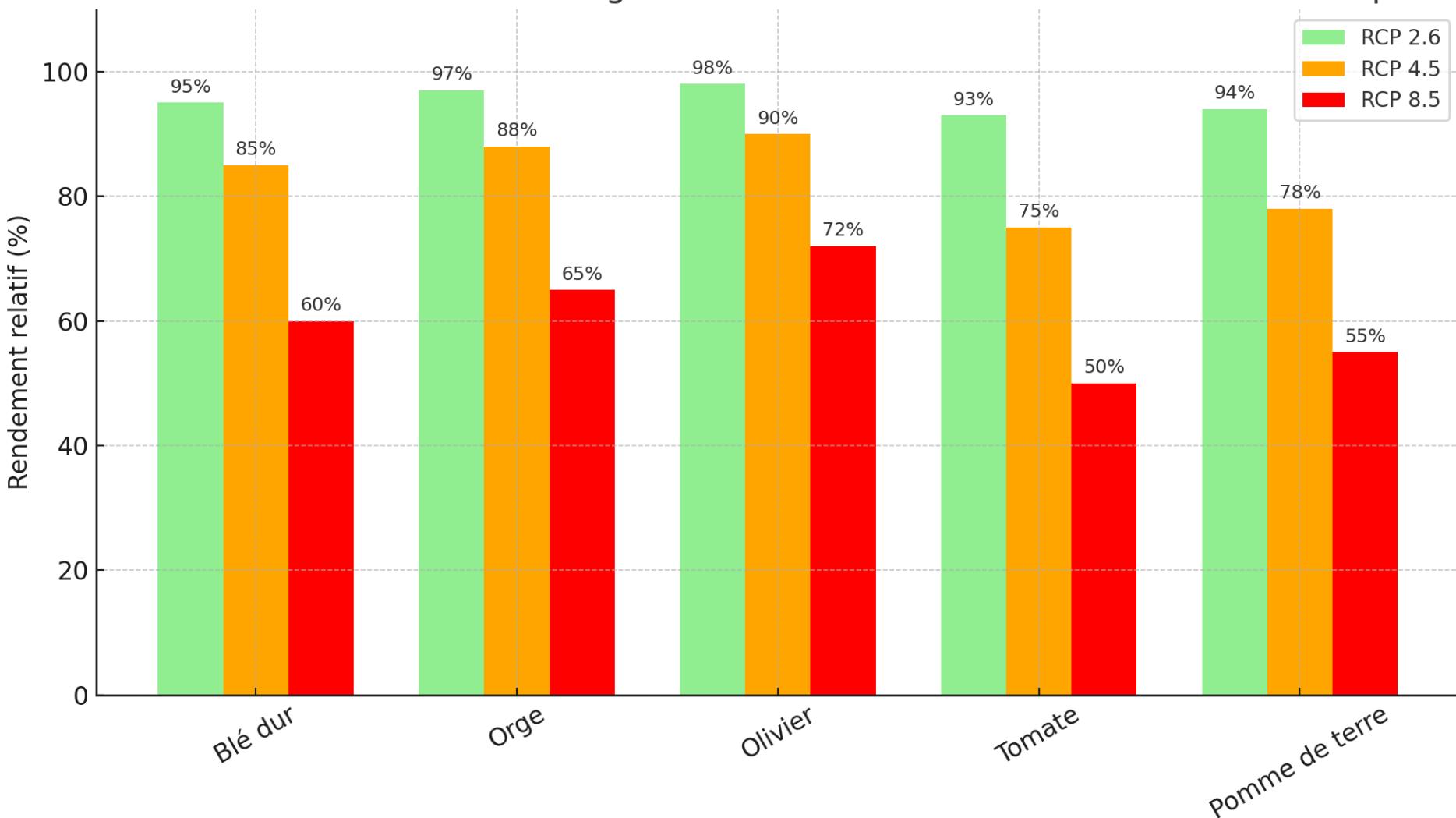
### Impact de la lutte intégrée sur la qualité de l'eau



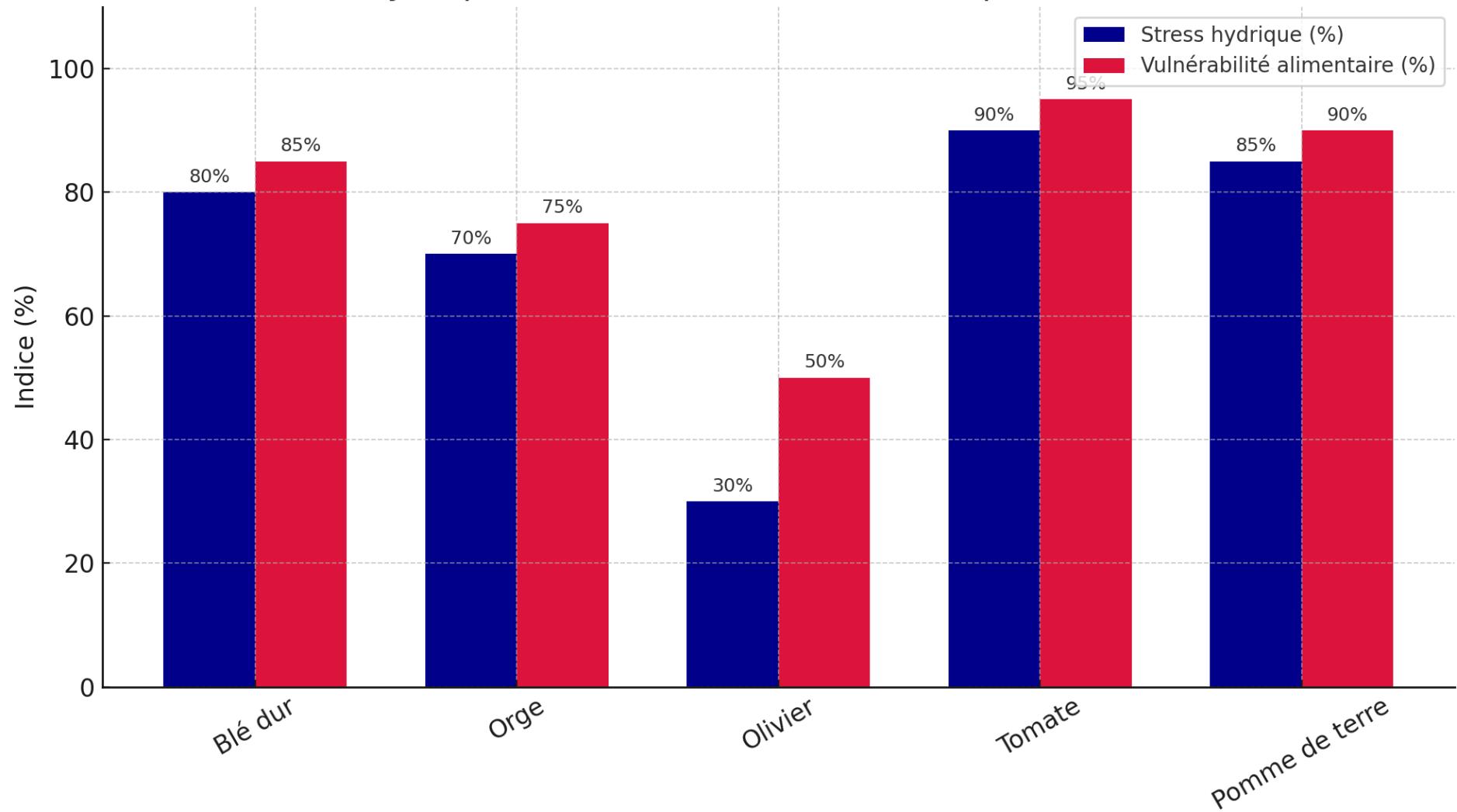
### Impact de la lutte intégrée sur les rendements agricoles



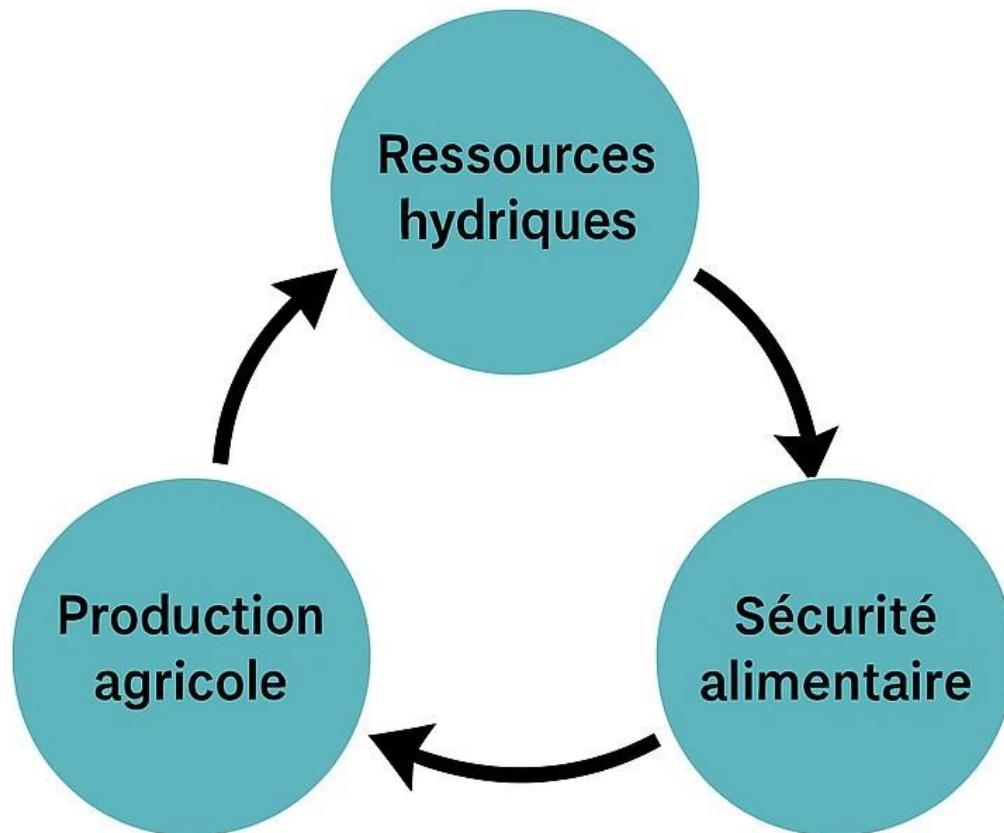
## Simulation des rendements agricoles en Tunisie selon les scénarios climatiques



## Lien entre stress hydrique et vulnérabilité alimentaire par culture (Tunisie - RCP 8.5)



# Interdépendance entre ressources hydriques, production agricole et sécurité alimentaire



**Un changement dans un pilier affecte les deux autres.**

- Gérer les compromis, éviter les transferts de vulnérabilités.

# Indice Intégré de Sécurité Hydro-Agricole et Alimentaire

$$IHAF = \alpha \cdot H + \beta \cdot A + \gamma \cdot F -$$

$$\sum_{j=1}^m \delta_j \cdot T_j$$

$H$  = Indice de sécurité hydrique (0-1)

$A$  = Indice de résilience agricole (0-1)

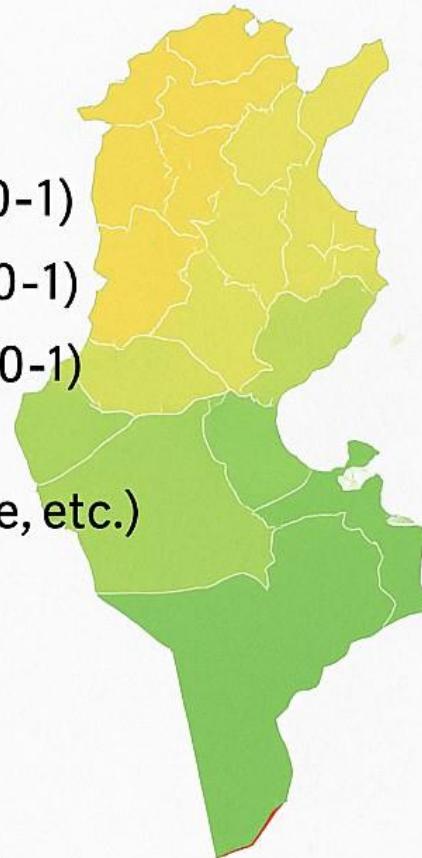
$F$  = Indice de sécurité alimentaire (0-1)

$T$  = Compromis (pollution, perte  
de biodiversité, conflits d'usage, etc.)

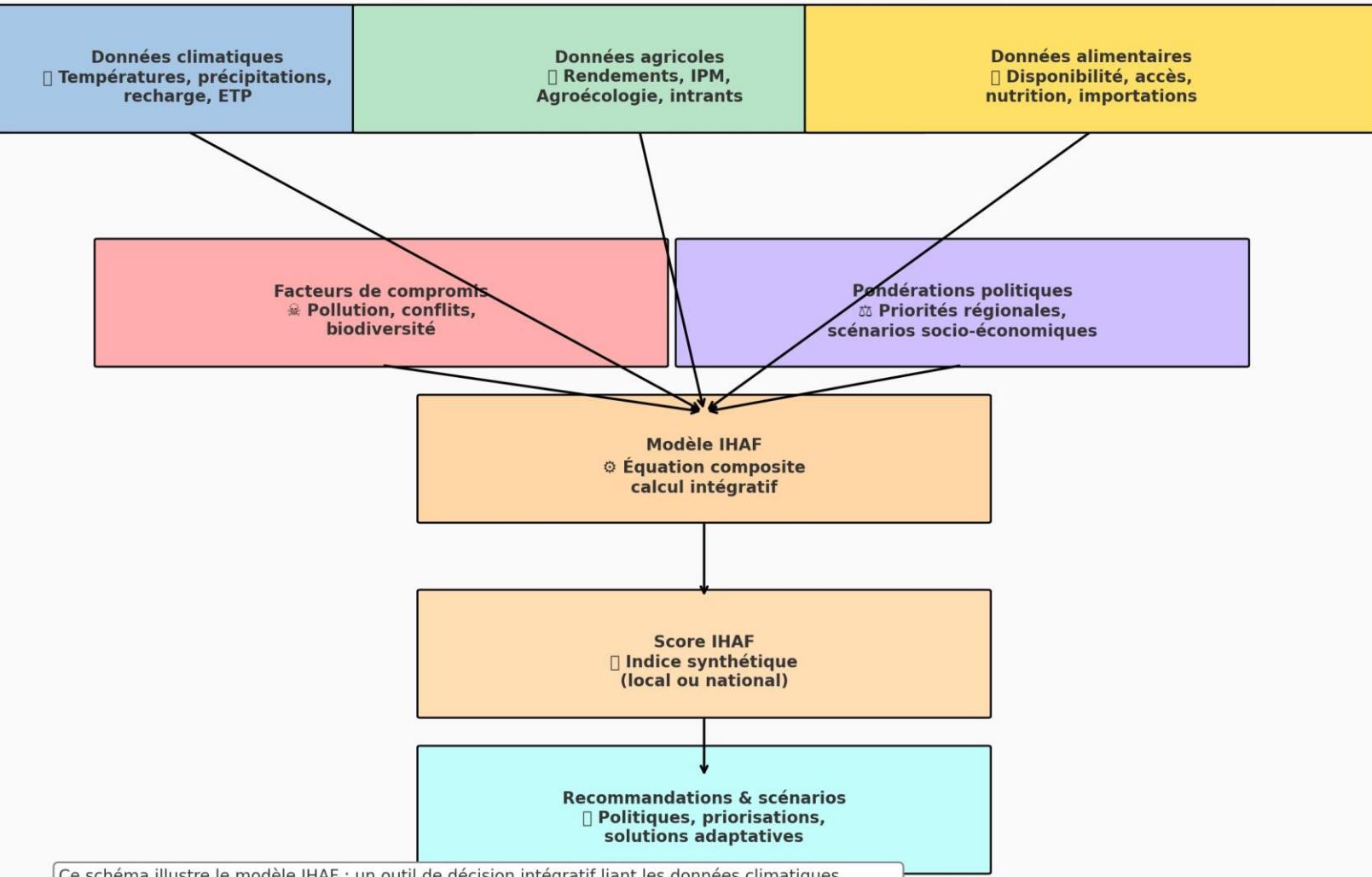
$\alpha, \beta, \gamma$ : Pondérations (somme = 1),  
selon les priorités locales

$\delta_j$ : Poids des compromis

$\alpha, \beta, \gamma$ : Pondérations (somme = 1),  
selon les priorités locales



## Flowchart du Modèle IHAF : de l'Information au Conseil Stratégique

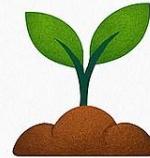


Ce schéma illustre le modèle IHAF : un outil de décision intégratif liant les données climatiques, agricoles, alimentaires et les compromis systémiques pour générer un indice de résilience stratégique et orienter les politiques agricoles et hydriques dans un contexte de stress croissant.

# Paramètres du modèle IHAF



**Climat** précipitations  
ETP, température



**Agriculture**  
intensité culturale



**Socio-économie**  
accès à l'eau  
pauvreté rurale



**Environnement**  
recharge des nappes  
qualité de l'eau

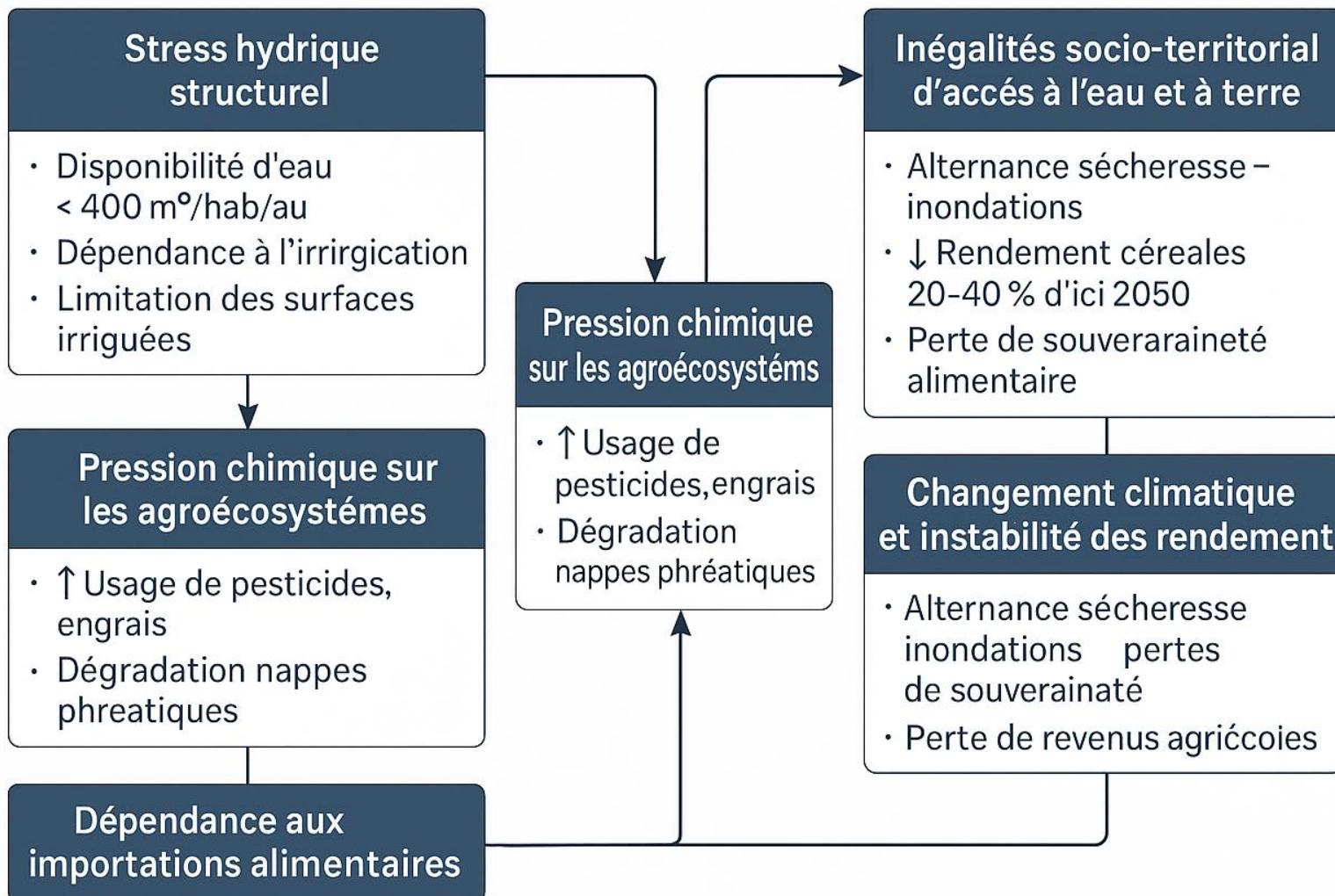
Paramètre	Intervalle	Unité
Disponibilité en eau (mm/an)	150 – 850	mm/an
Rendement agricole (kg/ha)	500 – 8000	kg/ha
Efficacité d'irrigation (%)	20 – 95	%
Taux d'accès à l'eau potable (%)	40 – 100	%
Stress environnemental (score normalisé)	0.1 – 0.9	score [0-1]
Gouvernance locale (score)	0.2 – 0.95	score [0-1]

Couleur	Signification	Implication pratique
● Rouge	<b>Faible résilience</b>	Situation critique, nécessite des interventions urgentes
● Jaune	<b>Résilience moyenne</b>	Zone d'alerte, situation à surveiller
● Vert	<b>Haute résilience</b>	Situation favorable, à maintenir ou renforcer

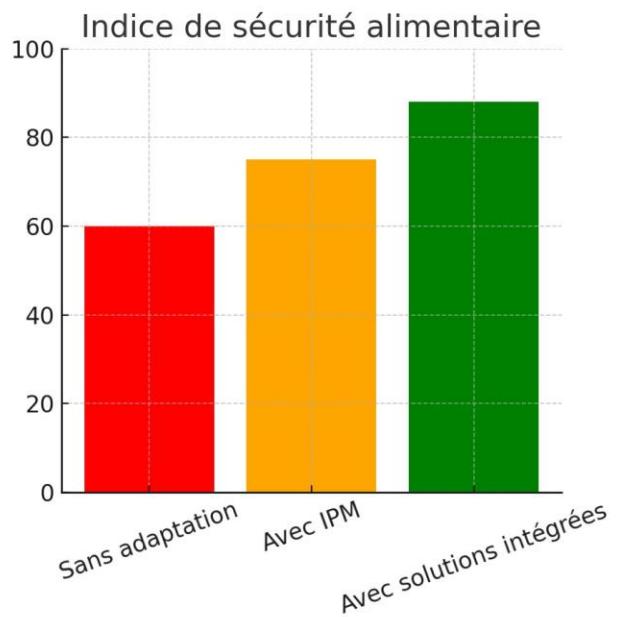
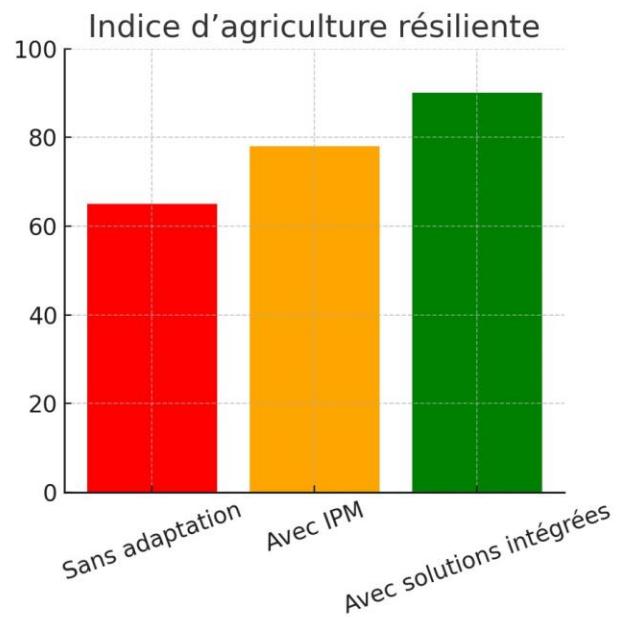
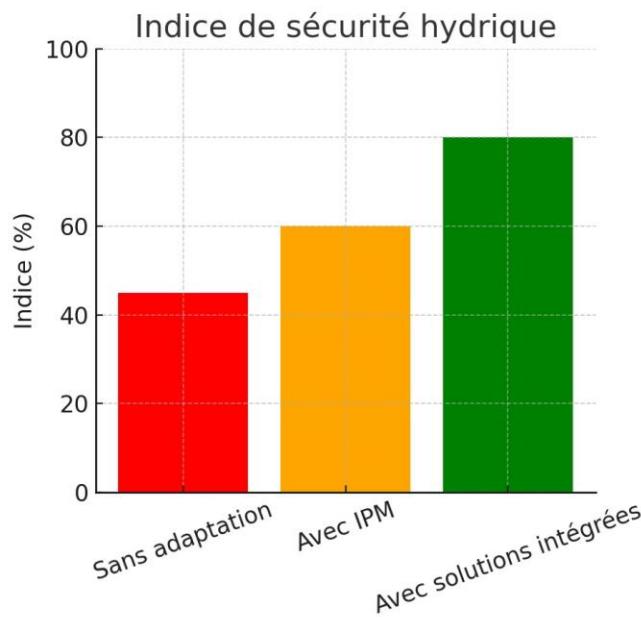
Composante	Unité / Indicateur	Intervalles visés dans la figure (échelle relative ou seuil critique)
Hydrique (H)	m <sup>3</sup> /hab/an (normalisé log-échelle)	<500 (●), 500–1000 (○), >1000 (●) – Indique la disponibilité d'eau douce renouvelable par habitant.
Agricole (A)	Indice composite [0–1] basé sur rendements, pratiques durables	<0.3 (●), 0.3–0.6 (○), >0.6 (●) – Reflète la <b>performance agroécologique</b> (IPM, rendement, diversité, intrants, etc.)
Sécurité alimentaire (F)	Indice composite [0–1] sur accès, nutrition, disponibilité	<0.4 (●), 0.4–0.7 (○), >0.7 (●) – Mesure l'accès régulier à une alimentation suffisante et saine.
Pollution (T1)	Nitrates mg/L (eau souterraine)	>50 (●), 25–50 (○), <25 (●) – Pollution par intrants azotés : un <b> compromis environnemental important</b> .
Biodiversité (T2)	Indice diversité cultivée (0–1)	<0.2 (●), 0.2–0.5 (○), >0.5 (●) – Plus la diversité est élevée, plus le système est résilient et multifonctionnel.
Conflits d'usage (T3)	Ratio demandes/ressources hydriques	>1.5 (●), 1.0–1.5 (○), <1.0 (●) – Indique une <b>soutenabilité de la gestion de l'eau</b> entre secteurs (agriculture, ville, industrie).

## ❖ Unités et Interprétation par Composante :

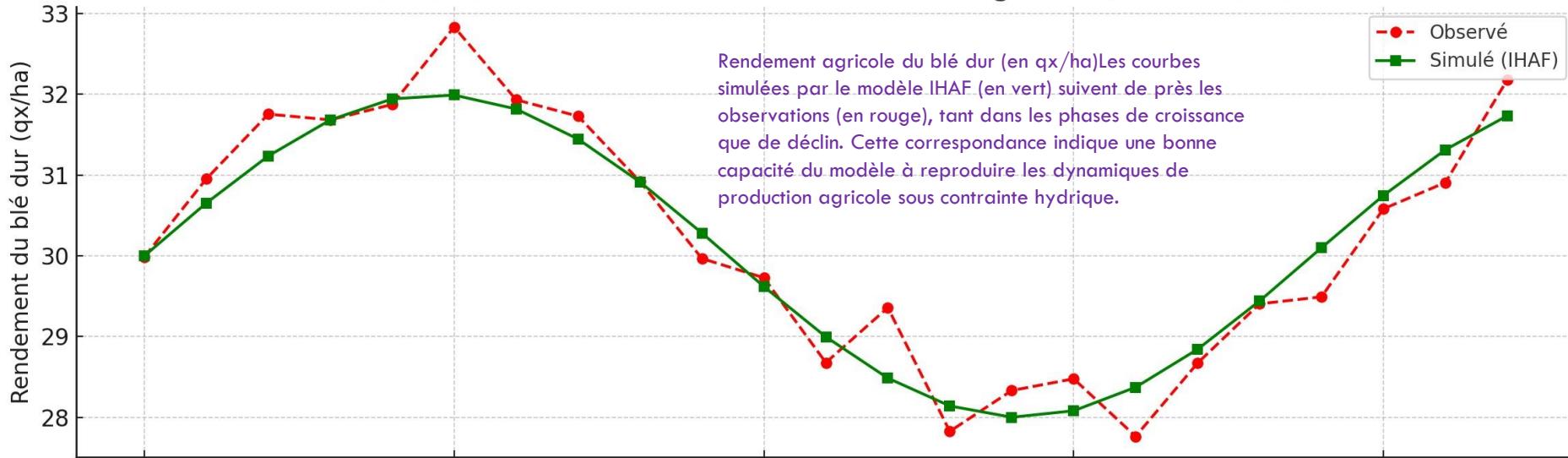
# DÉFIS MAJEURS POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE EN TUNISIE



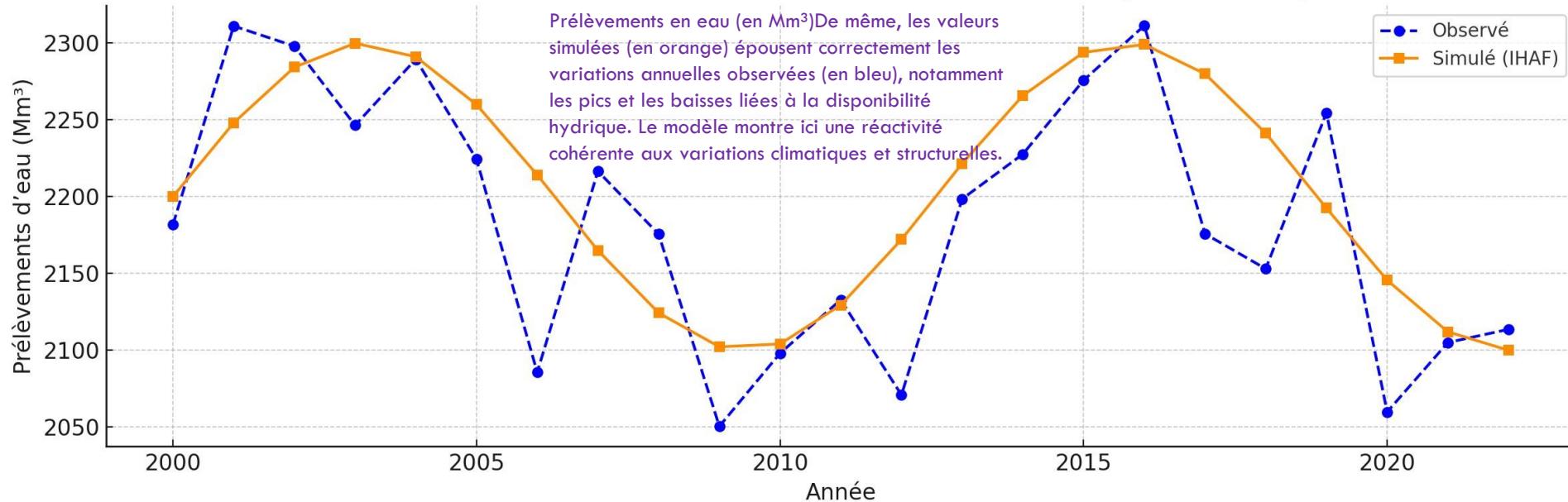
Résultats simulés du modèle IHAF en Tunisie - Horizon 2050



## Validation du modèle IHAF - Rendement agricole (2000-2022)

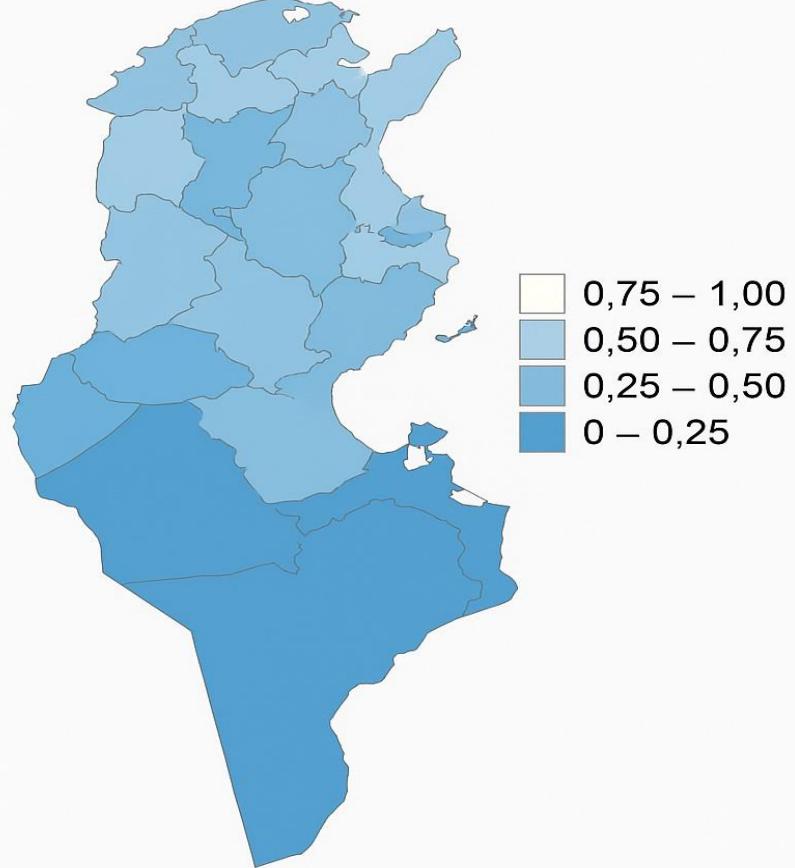


## Validation du modèle IHAF - Prélèvements en eau (2000-2022)



### **Unité et interprétation des valeurs IHAF :**

**Unité :** L'indice IHAF est **adimensionnel** (sans unité), car il résulte d'une normalisation (score entre 0 et 1) de plusieurs variables hétérogènes (précipitations, rendement agricole, efficacité d'irrigation, accès à l'eau, etc.).



#### **Indice IHAF (sans unité)**

**< 0,50**

**0,50 – 0,65**

**0,65 – 0,80**

**> 0,80**

#### **Interprétation**

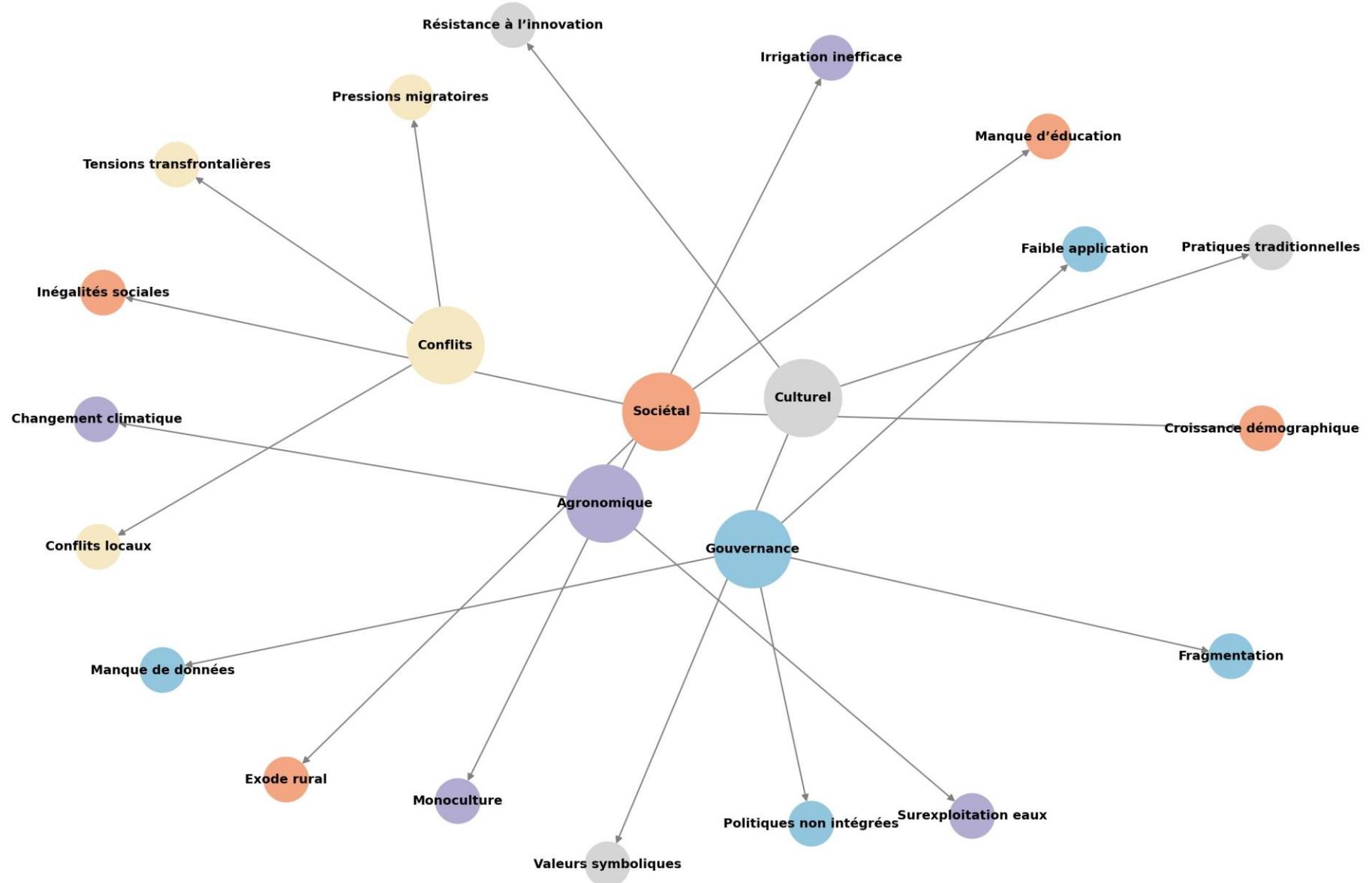
**Zone à très forte vulnérabilité**

**Zone à vulnérabilité modérée**

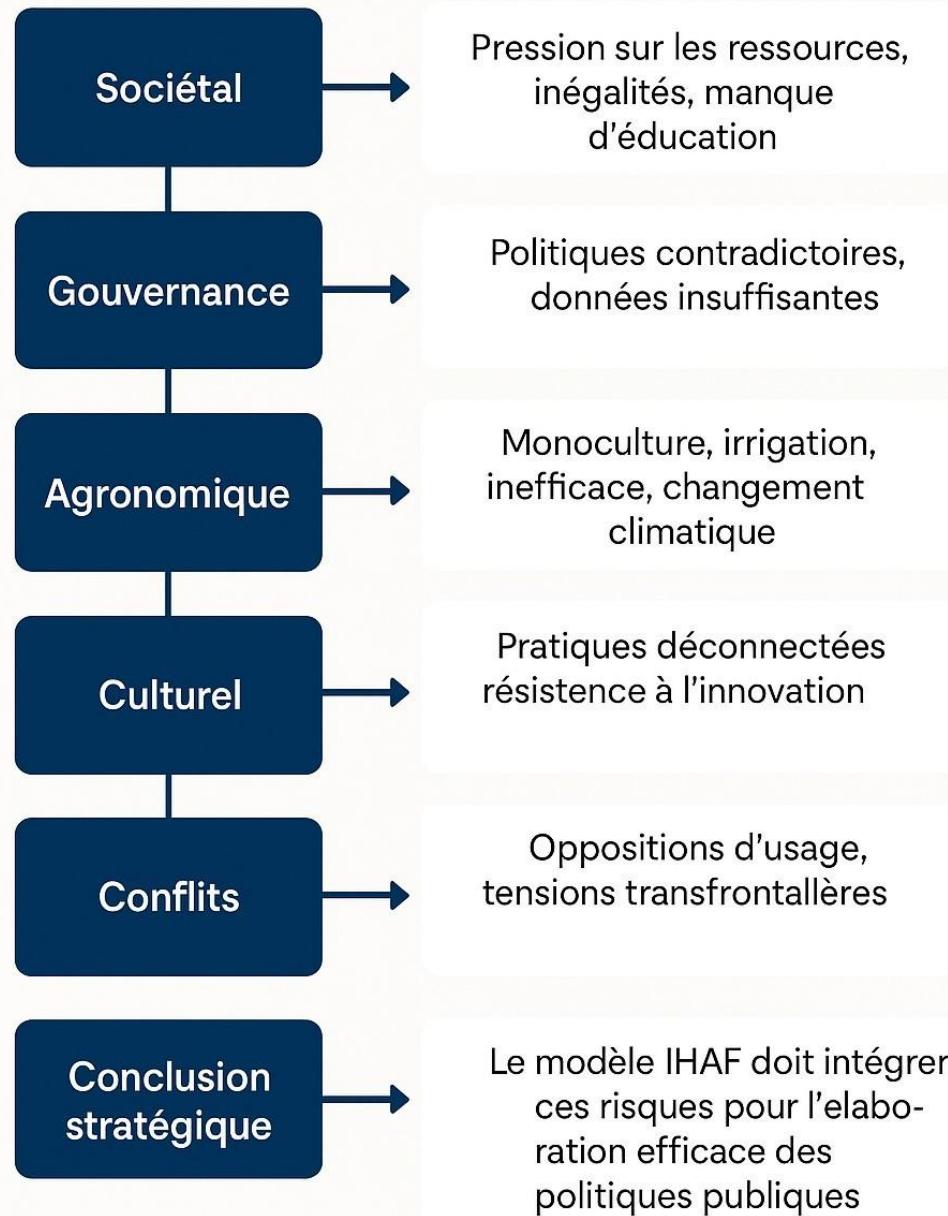
**Zone à résilience modérée à bonne**

**Zone à forte résilience**

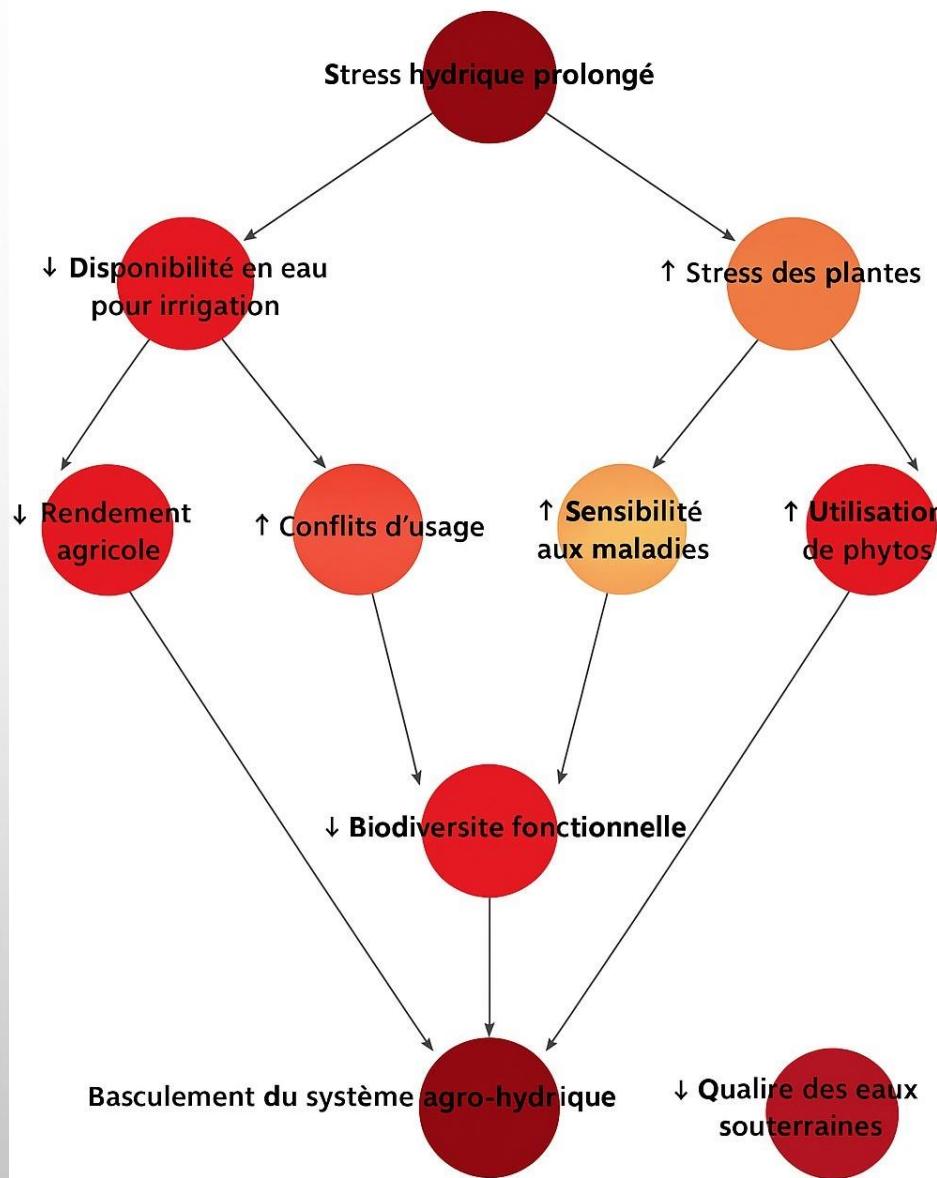
## Carte des Risques Multidimensionnels dans le Modèle IHAF



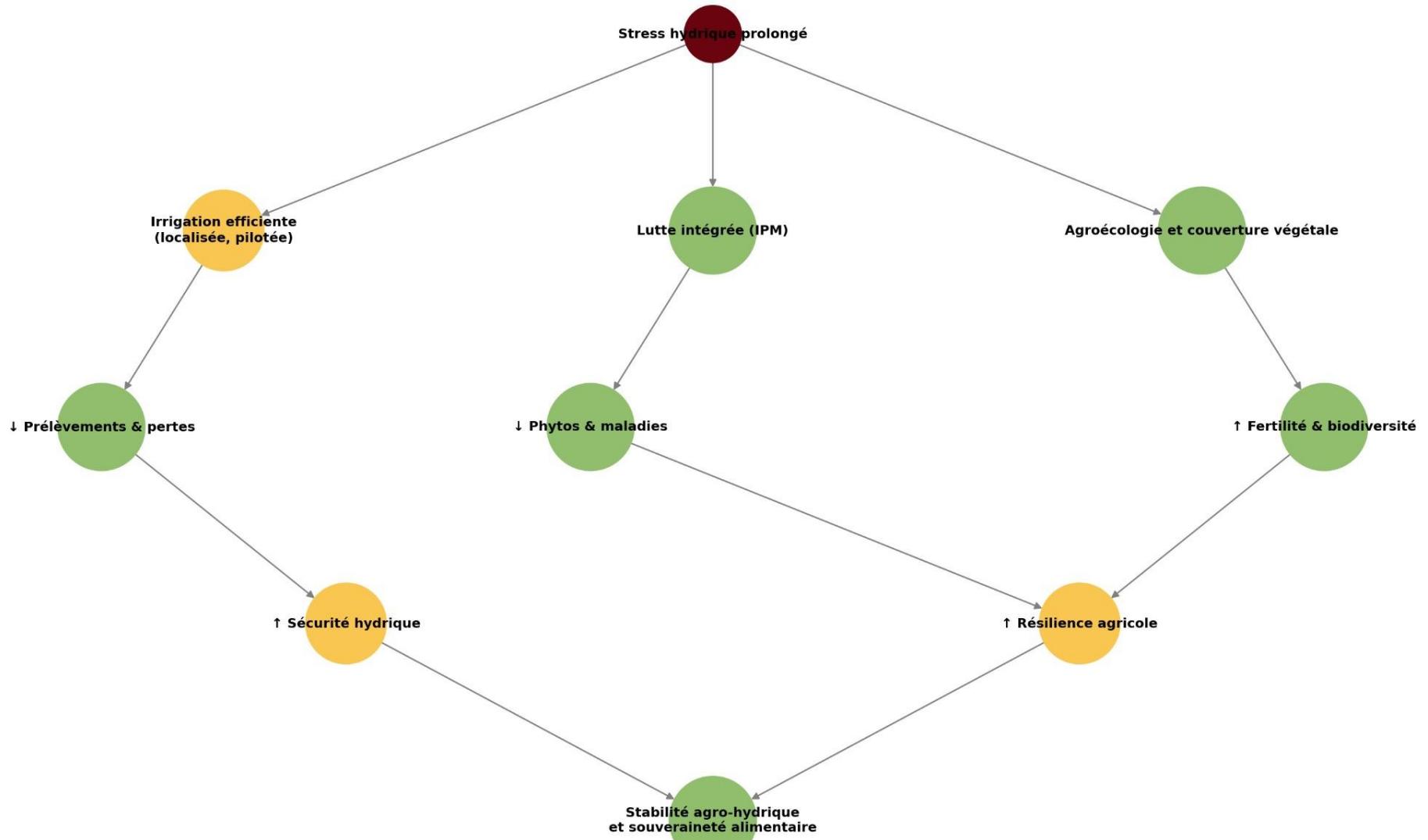
# RISQUES MULTIDIMENSIONNELS



## Arbre de Risque – Nexus Eau-Agriculture en Tunisie (Codé par Degré d Risque)



## Arbre de Décision – Solutions durables face au stress hydrique en Tunisie



# Planification territoriale basée sur IHAF



Renforcement  
de la gouvernance  
intégrée

- Renforcement dé solutions intégrées
- Adoption de systèmes culturaux économies en eau
- Coopération régionale sur les aquifères



Adoption de systèmes  
cultaux économies  
en eau



Coopération  
régionale sur les  
aquifères

# SCÉNARIO DE TRANSITION DURABLE

IHAF + agroécologie +  
irrigation goutte-à-  
goutte = +25%  
efficience

→ Réduction du stress  
hydrique +  
amélioration rendement  
alimentaire

→ Résilience locale  
accrue face aux chocs  
climatiques



# CONCLUSION

- LE MODÈLE IHAF PERMET UNE TRANSITION VERS UNE AGRICULTURE DURABLE ET RÉSILIENTE EN TUNISIE.
- IL EST UN OUTIL CLÉ POUR LA PLANIFICATION, L'ÉQUITÉ HYDRIQUE ET LA SOUVERAINETÉ ALIMENTAIRE.
- → PLAIDOYER POUR SON ADOPTION AUX NIVEAUX NATIONAL ET RÉGIONAL.